



GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE
EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS: UMA CONTRIBUIÇÃO DA ECOLOGIA
INDUSTRIAL

Larissa Akemi Rosa Utiyama de Freitas

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientadora: Alessandra Magrini

Rio de Janeiro
Janeiro de 2018

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE
EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS: UMA CONTRIBUIÇÃO DA ECOLOGIA
INDUSTRIAL

Larissa Akemi Rosa Utiyama de Freitas

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof^ª. Alessandra Magrini, D. Sc.

Prof. Amaro Olímpio Pereira Junior, D. Sc.

Prof^ª. Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, D. Sc.

Prof. Gilson Brito Alves Lima, D. Sc.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, D. Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 2018

Freitas, Larissa Akemi Rosa Utiyama de

Gestão de Resíduos Sólidos na Construção e Montagem de Empreendimentos Industriais: uma Contribuição da Ecologia Industrial/ Larissa Akemi Rosa Utiyama de Freitas. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XI, 188 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Alessandra Magrini

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 168 -188.

1. Resíduos sólidos. 2. Ecologia Industrial. 3. Construção e montagem. I. Magrini, Alessandra. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que, nesses últimos quatro anos, ajudaram-me a transformar um sonho em realidade.

Aos meus gerentes Silvio Luiz, Cristiano Duarte, Gilson Campo e Marcos Vinicius por me concederem a oportunidade de cursar o doutorado e por valorizarem a capacitação técnica dos profissionais de suas equipes.

Aos colegas de trabalho que me estimularam nessa jornada, em especial, Stefano Burigo e Olivia Nunes.

À minha orientadora, Alessandra Magrini, pelos ensinamentos e conselhos sem os quais eu não teria conseguido chegar até aqui.

Aos funcionários do PPE, em especial, à Sandrinha e ao Paulo.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, pelo exemplo, pelas palavras de estímulo em momentos difíceis e pelo amor que tem por mim.

Ao meu irmão, pela tranquilidade e amizade.

Ao meu marido, por acreditar que isso seria possível, pela companhia e por me apoiar todos os dias com seu amor.

Ao meu filho, uma benção na minha vida.

À Deus, por estar sempre comigo, guiando meus passos.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE
EMPREENDIMENTOS INDUSTRIAIS: UMA CONTRIBUIÇÃO DA ECOLOGIA
INDUSTRIAL

Larissa Akemi Rosa Utiyama de Freitas

Janeiro/2018

Orientadora: Alessandra Magrini

Programa: Planejamento Energético

A presente tese tem por objetivo investigar como a Ecologia Industrial pode contribuir para a gestão de resíduos sólidos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais. Uma proposta metodológica para aplicação de práticas da Ecologia Industrial aos canteiros de obras industriais é apresentada, com base na análise do processo de implementação de Parques Industriais Ecológicos clássicos frente às especificidades da construção e montagem. Para validar a proposta apresentada, realiza-se estudo de caso focado na análise das estratégias de gestão de resíduos adotadas na construção de dois empreendimentos industriais na região sudeste do Brasil. A adoção de práticas que buscam aproveitar as sinergias existentes entre os atores envolvidos na construção desses empreendimentos é realizada, com base em um conjunto de três indicadores e na aplicação de análise SWOT. Os resultados obtidos revelam que as principais contribuições da Ecologia Industrial para a gestão de resíduos da construção e montagem de empreendimentos industriais consistem em redução do encaminhamento de resíduos para aterros, uniformidade nos serviços de gestão de resíduos prestados no canteiro de obras, melhoria no layout do canteiro e simplificações administrativas. A partir da análise realizada, são apresentadas recomendações para promover o crescimento e desenvolvimento de aplicações da Ecologia Industrial à construção e montagem.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

WASTE MANAGEMENT IN INDUSTRIAL CONSTRUCTION: A
CONTRIBUTION FROM INDUSTRIAL ECOLOGY

Larissa Akemi Rosa Utiyama de Freitas

January/2018

Advisor: Alessandra Magrini

Department: Energy Planning

This study aims to investigate how Industrial Ecology can contribute to waste management in industrial construction. A methodology for applying Industrial Ecology practices in industrial construction sites is proposed, based on the principles of Eco-Industrial Parks. The waste management strategies adopted in two industrial construction projects in Brazil are analyzed, in order to validate the methodology proposed. The adoption of practices based on the synergies offered by geographic proximity between contractors and other actors involved is investigated, based on a set of waste management indicators and on the application of SWOT analysis technique. Results demonstrate that industrial construction projects can benefit from synergistic practices common in Industrial Ecology place-based approaches, such as the Eco-Industrial Parks. The main benefits arising from the adoption of such practices are reduction of waste disposal in landfills, administrative simplifications, uniformity in waste management practices adopted in the construction site and reduction of space occupied by waste management infrastructure in the site (better layout). Based on the results obtained, suggestions are presented to stimulate Industrial Ecology application in the construction sector.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
1. Introdução	1
2. A construção e montagem industrial e a gestão de resíduos sólidos.....	9
2.1 Características gerais e gestão ambiental na construção	11
2.2 Gestão de resíduos de construção	15
2.2.1 Etapas do processo, legislações e normas aplicáveis	17
2.2.2 Práticas adotadas	25
3. Ecologia Industrial: conceitos, instrumentos e experiências	30
3.1 Simbiose Industrial	33
3.2 Parques Industriais Ecológicos	36
3.3 Algumas experiências da Ecologia Industrial.....	38
3.3.1 Experiências internacionais	39
3.3.1.1 Europa.....	39
3.3.1.2 América do Norte	46
3.3.1.3 Ásia.....	48
3.3.2 Experiências nacionais	55
3.3.2.1 Rio de Janeiro: Programa Rio Eco-pólo	55
3.3.2.2 Minas Gerais: Programa Mineiro de Simbiose Industrial	59
3.3.2.3 Bahia: o caso de um pólo petroquímico com algumas práticas de Ecologia Industrial.....	60
3.4 Análises das experiências da Ecologia Industrial	61
3.4.1 Dinâmica de formação das relações de Simbiose Industrial	62
3.4.2 Disseminação de práticas da Ecologia Industrial	67

4. Implantando um Parque Industrial Ecológico: de uma concepção clássica para aplicação em um canteiro de obras industriais.....	71
4.1 Parques Industriais Ecológicos clássicos: metodologia de implantação	72
4.1.1 Planejamento	73
4.1.2 Projeto e construção	77
4.1.3 Operação.....	82
4.2 Ecologia Industrial em canteiros de obras industriais	88
4.2.1 Análise de práticas frente às especificidades dos canteiros de obras	91
4.2.2 Proposta de aplicação em canteiros de obras	97
4.2.3 Etapas e ferramentas a serem aplicadas na análise dos casos	99
4.2.3.1 Projeto de estudo de caso.....	100
4.2.3.2 Coleta de dados.....	103
4.2.3.3 Ferramentas de análise.....	105
5. Estudo de caso.....	118
5.1 Características gerais dos projetos.....	118
5.2 Projeto A: gestão independente de resíduos	122
5.3 Projeto B: gestão conjunta de resíduos.....	127
5.4 Análise comparada	130
6. Contribuições da Ecologia Industrial para a construção e montagem.....	133
6.1 Análise SWOT.....	133
6.1.1 Forças	135
6.1.2 Fraquezas	136
6.1.3 Oportunidades.....	138
6.1.4 Ameaças	138
6.2 Aplicação de práticas da Ecologia Industrial na construção e montagem: contribuições.....	140
6.2.1 Engajamento dos atores	141

6.2.2 Prestação de serviços comuns de forma centralizada.....	144
6.2.3 Compartilhamento de infraestrutura e áreas comuns	145
6.2.4 Intercâmbio de resíduos.....	146
6.2.5 Sistema de gestão ambiental no canteiro.....	149
6.2.6 Sistema de informações integrado.....	149
6.2.7 Outras práticas inter-organizacionais	149
6.2.8 Síntese.....	150
6.3 Recomendações	152
7. Conclusões e recomendações	164
8. Referências	168

Lista de Figuras

Figura 1. Representação do setor de construção.....	10
Figura 2. Práticas de gestão de resíduos da construção.....	28
Figura 3. Etapas da metodologia proposta.....	72
Figura 4. Alguns elementos-chave de Parques Industriais Ecológicos.	73
Figura 5. Proposta de aplicação das práticas de gestão de resíduos, observadas em PIEs, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais.....	98
Figura 6. Representação esquemática das fases do estudo de caso.	100
Figura 7. Coleta de dados.	104
Figura 8. Diagrama representativo dos componentes da matriz SWOT e a posição estratégica das organizações.....	115
Figura 9. Estratégia de gestão independente de resíduos.	124
Figura 10. Estratégia de gestão conjunta de resíduos.....	129
Figura 11. Destinação dos resíduos gerados nos Projetos A e B.....	131
Figura 12. Aplicação das práticas de gestão de resíduos derivadas da EI nos canteiros de obras de empreendimentos industriais.....	161
Figura 13. Práticas de gestão de resíduos características dos PIEs em canteiros de obras de empreendimentos industriais: níveis de aplicação.....	162

Lista de Tabelas

Tabela 1. Fases da construção e montagem de um empreendimento industrial.....	12
Tabela 2. Resolução Conama nº 307/2002.....	22
Tabela 3. Fatores que influenciam o desenvolvimento de relações de SI.....	36
Tabela 4. Características e objetivos do programa Rio-Ecopólo.....	56
Tabela 5. Atributos e níveis de análise.....	64
Tabela 6. Dinâmicas de formação das relações de simbiose industrial.....	66
Tabela 7. Caracterização das iniciativas de EI com base nas práticas adotadas.....	68
Tabela 8. Síntese das constatações sobre a EI a partir do referencial teórico adotado...	70
Tabela 9. Principais atividades contempladas em cada um dos processos.....	87
Tabela 10. Projeto de estudo de caso.....	103
Tabela 11. Níveis de indicadores de desempenho ambiental.....	108
Tabela 12. Indicadores adotadas.....	113
Tabela 13. Características dos projetos de empreendimentos industriais selecionados para o estudo de caso.....	119
Tabela 14. Indicadores do Projeto A.....	125
Tabela 15. Análise SWOT da estratégia de gestão conjunta de resíduos.....	134
Tabela 16. Práticas dos PIEs X Análise SWOT.....	141
Tabela 17. Matriz de sinergia de resíduos de construção e montagem.....	148
Tabela 18. Síntese das contribuições da aplicação de práticas da EI à construção e montagem industrial.....	151
Tabela 19. Recomendações apresentadas com base na análise SWOT.....	159

1. Introdução

A construção civil é uma das atividades produtivas com maior interação com os demais setores econômicos, desempenhando importante papel para o desenvolvimento da infraestrutura de um país (SOUZA, 2005; LU e YUAN, 2011). Entretanto, apesar de sua relevância para a sociedade, a indústria da construção gera impactos adversos sobre o meio ambiente (FUERTES *et al.*, 2013), dentre os quais destacam-se os impactos decorrentes da geração de grandes volumes de resíduos sólidos (LI e ZHANG, 2013) como, por exemplo, a poluição do ar, das águas superficiais e subterrâneas, a depleção acelerada da capacidade dos aterros, além da geração de riscos à saúde pública.

Resíduos de atividades de construção e demolição constituem cerca de 35% dos resíduos sólidos gerados no mundo (SOLÍZ-GUSMÁN *et al.*, 2009), representando uma das correntes de resíduos com maior geração em alguns países (LLATAS, 2011). No Brasil, por exemplo, estima-se que sejam geradas 91 milhões de toneladas de resíduos de construção ao ano (IPEA, 2012), quantidade que pode ser considerada significativa se comparada à geração de outros tipos de resíduos no país. Contudo, devido à sua natureza predominantemente inerte, as pesquisas sobre resíduos da construção se intensificaram apenas nas últimas décadas, após um período no qual predominaram estudos focados em resíduos industriais e domiciliares (COCHRAN *et al.*, 2007).

Datam também das últimas décadas, as regulamentações referentes à gestão e disposição final de resíduos da construção. Face à necessidade de prevenir e minimizar os impactos decorrentes da geração de tais resíduos, em diversos países, foram promulgadas regulamentações ambientais que estabelecem metas de reciclagem, alternativas de destinação final a serem adotadas para cada tipo de resíduos da construção gerado, além da obrigatoriedade de implementação de instrumentos de gestão pelos grandes geradores como, por exemplo, os planos de gestão de resíduos da construção (TAM, 2008; SOLÍZ-GUSMÁN *et al.*, 2009; AJAYI e OYEDELE, 2017).

Nesse contexto, marcado pela geração de grandes volumes de resíduos da construção, pela clara percepção dos impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada desses resíduos e pela promulgação de legislações ambientais focadas na redução de tais impactos (YEHEYIS, 2013), as empresas do setor de construção (empreiteiras) tem se deparado com a necessidade de adotar práticas que assegurem a correta gestão dos

resíduos gerados durante a execução de suas atividades (LI e ZHANG, 2013; SOBOTKA e SAGAN, 2016). No Brasil, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada pela Lei nº 12.305/2010, tais práticas devem visar à destinação de resíduos prioritariamente para reuso, reciclagem e outras formas de tratamento que evitem sua disposição em aterros.

A indústria da construção pode ser subdividida em dois segmentos: edificações e construção pesada. A construção e montagem de empreendimentos industriais está inserida no segmento da construção pesada e engloba as atividades de projeto, construção e manutenção dos componentes estruturais e mecânicos de fábricas, indústrias químicas e petroquímicas, plantas de mineração, plantas de geração de energia, dentre outros empreendimentos.

Projetos de construção e montagem de empreendimentos industriais típicos requerem investimentos substanciais, envolvem diversas disciplinas e apresentam elevada quantidade de atividades de engenharia, interconectadas umas às outras, aumentando sua complexidade técnica e gerencial (HU e MOHAMED, 2014). Adicionalmente, devido à sua natureza e às suas dimensões, as questões ambientais costumam assumir grande relevância em projetos desse tipo, os quais costumam estar sujeitos a complexos processos de licenciamento ambiental. No Brasil, ao longo do processo de licenciamento, um plano de gestão de resíduos deve se apresentado ao órgão ambiental competente, contemplando a estimativa de geração de resíduos no empreendimento, bem como todos os procedimentos a serem adotados para a sua gestão, conforme estabelecido pela PNRS.

Em geral, durante a construção de empreendimentos industriais de grande porte, são geradas quantidades expressivas de resíduos sólidos, tais como sobras de cimento, argamassa, concreto, madeira e sucata. Por vezes, a geração de resíduos em uma obra industrial de grande porte chega a ser comparável àquela observada em pequenos municípios (PÖIRY, 2011), revelando a importância de se adotar, em obras dessa natureza, práticas de gestão de resíduos capazes de reduzir os impactos ambientais associados aos mesmos.

Os diversos estudos relacionados às práticas de gestão de resíduos da construção adotadas desde a fase de projeto até a fase de construção propriamente dita (OYEDELE *et al.*, 2013; GANGOLLELS *et al.*, 2014; AJAYI *et al.*, 2017) não tem explorado a

aplicação de práticas de gestão inter-organizacionais baseadas no aproveitamento de sinergias entre os envolvidos na fase de construção de empreendimentos.

O aproveitamento de potenciais sinergias entre empresas, localizadas em uma mesma área industrial ou região geográfica, é apontado pela literatura como uma oportunidade que, se bem explorada, pode gerar benefícios significativos (TIAN *et al.*, 2012; TIAN *et al.*, 2014; SIMBOLI *et al.*, 2015; TADDEO, 2016; TSENG e BUI, 2017). Como exemplos de práticas que buscam aproveitar tais sinergias pode-se citar o compartilhamento da infraestrutura de armazenamento, transporte e tratamento de resíduos, bem como o reaproveitamento de resíduos gerados por uma dada empresa no processo produtivo de outras empresas (TSENG e BUI, 2017). Tratam-se, portanto, de práticas caracterizadas por envolver duas ou mais empresas co-localizadas numa dada área, tendo como foco um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (TADDEO, 2016). Práticas dessa natureza tem sido objeto de estudo do campo de pesquisa da Ecologia Industrial (EI).

A EI emergiu nas últimas décadas como um guia potencial para a reestruturação dos sistemas industriais (VEIGA e MAGRINI, 2009) baseado em um conjunto de princípios e ferramentas derivadas da Ecologia (ARDENTE *et al.*, 2009). Instrumentos e modelos da EI difundiram-se pelo mundo, sendo possível observar experiências que se estendem desde o icônico exemplo de simbiose espontânea de Kalundborg (VALENTINE, 2016), passando por desenvolvimentos planejados como os Parques Industriais Ecológicos (PIEs) derivados de programas governamentais como os programas chinês e coreano (ZHANG *et al.*, 2010; BAIN *et al.*, 2010; BAI *et al.*, 2014; TIAN *et al.*, 2014), até iniciativas que vão além dos sistemas industriais como o programa de simbiose urbana japonês (VAN BERKEL *et al.*, 2009) e os modelos de produção circulares (SILVA *et al.*, 2017). Experiências como essas revelam o potencial de aplicação da EI em diferentes contextos socioeconômicos.

Entretanto, apesar dos numerosos estudos referentes às aplicações práticas da EI (SCHWARZ e STEININGER, 1997; KORHONEN, 2001; MILCHRAHM e HASLER, 2002; BAAS e BOONS, 2004; GIBBS e DEUTZ, 2004; HEERES *et al.*, 2004; MIRATA, 2004; TANIMOTO, 2004; ZHU e COTE, 2004; FRAGOMENI, 2005; MAGRINI e MASSON, 2005; SAIKKU, 2006; FANG *et al.*, 2007; GIBBS e DEUTZ, 2007; VEIGA, 2007; PARK *et al.*, 2008; BAAS e HUISINGH, 2008; LAYBOURN e MORRISSEY, 2009; LIWARSKA-BIZUKOJC *et al.*, 2009; VAN BERKEL, 2009; VEIGA e

MAGRINI, 2009; COSTA *et al.*, 2010; SHI *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2010; DESPEISSE *et al.*, 2012; RUIZ, 2013; BAI *et al.*, 2014; QU *et al.*, 2014; TIAN *et al.*, 2014; BAYULKEN e HUISINGH, 2015; CAROLI *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2016; OHNISHI *et al.*, 2016; TADDEO, 2016; TRAMA, 2016; VALENTINE, 2016; LI *et al.*, 2017) e também a seus aspectos teóricos (BAAS e BOONS, 2004; CHERTOW, 2007; ASHTON, 2008; ASHTON, 2009; BOONS *et al.*, 2011; BOONS *et al.*, 2016), o foco das análises tem sido predominantemente os distritos industriais, revelando oportunidade para mudar o objeto de investigação para aplicações em canteiros de obras de diferentes empreendimentos.

Embora observe-se que em canteiros de obras de empreendimentos industriais diversas empresas encontram-se co-localizadas (empreiteiras, sub-contratados, futuro operador do empreendimento, fornecedores, dentre outros), permitindo a aplicação de práticas inter-organizacionais, as contribuições da aplicação de tais práticas para a gestão de resíduos nesses canteiros não foram ainda investigadas.

Considerando o contexto apresentado, a presente tese tem por objetivo geral investigar como a EI pode contribuir para a gestão de resíduos sólidos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais. Para tal, apresenta-se uma proposta de aplicação de práticas da EI à construção e montagem de empreendimentos industriais e, em seguida, realiza-se estudo de caso, visando validar a proposta apresentada, por meio da investigação da aplicação de práticas similares às observadas na EI, no âmbito de dois canteiros de obras de empreendimentos do setor de óleo e gás. Um conjunto de três indicadores é adotado para avaliar a destinação dada aos resíduos gerados em tais canteiros, à luz da PNRS, e aplica-se a análise SWOT para gerar subsídios para discutir as principais contribuições geradas pela aplicação de práticas da EI à construção e montagem de empreendimentos.

Ao propor a aplicação de práticas e soluções provenientes da EI à gestão de resíduos da construção, visando à execução de obras mais sustentáveis, o presente trabalho busca trazer inovação à essa área, uma vez que, na revisão da literatura realizada para o presente trabalho, não foram identificados trabalhos anteriores que apresentassem tal proposta. O desenvolvimento de uma proposta para aplicação de práticas derivadas da EI aos canteiros de obras industriais, bem como a identificação e discussão dos benefícios gerados pelas mesmas, consistem na principal contribuição do presente trabalho para a gestão de resíduos da construção.

Os PIEs são reconhecidos como um modelo referencial para a aplicação de práticas da EI no nível inter-organizacional (TADDEO, 2016), em especial, em áreas onde um conjunto de empresas encontram-se co-localizadas. Assim, partindo da hipótese de que práticas comumente observadas em PIEs podem contribuir para a gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras de empreendimentos industriais, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- i) Desenvolver proposta para aplicação de práticas de gestão de resíduos, comumente observadas em PIEs, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais;
- ii) Realizar estudo de caso para analisar diferentes estratégias de gestão de resíduos, adotadas em canteiros de obras de empreendimentos industriais, marcadas pela adoção de práticas que buscam aproveitar sinergias existentes entre os atores envolvidos, de forma similar ao que se observa em PIEs;
- iii) Identificar e discutir as contribuições da aplicação de práticas oriundas da EI para a gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras de empreendimentos industriais.

Para atingir os objetivos propostos, inicialmente, realiza-se revisão bibliográfica sobre a gestão de resíduos da construção, com base em consulta a livros, legislações, normas técnicas, planos e relatórios de órgãos governamentais (Ministério do Meio Ambiente – MMA, Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada – IPEA, etc), bem como periódicos internacionais (*Waste Management, Waste Management and Research, Sustainability, etc*).

Em seguida, revisão bibliográfica sobre o referencial teórico empregado na presente tese, isto é, a EI, é apresentada. Esta revisão foi realizada por meio de consultas a livros, trabalhos universitários (dissertações de mestrado e teses de doutorado), relatórios, guias de instituições de pesquisa (*United Nation Environment Program, Indigo Development Institute, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, por exemplo*) e periódicos internacionais (*Journal of Cleaner Production, Journal of Industrial Ecology, Resources, Conservation and Recycling, dentre outros*).

Com base no referencial teórico mencionado, o processo de implantação de PIEs é analisado e as práticas relacionadas à gestão de resíduos comumente adotadas nos

mesmos são discutidas frente às especificidades dos canteiros de obras de empreendimentos industriais, apresentando-se uma proposta de aplicação de tais práticas a esses canteiros. Para investigar a aplicação das práticas consideradas na proposta em canteiros de obras industriais e discutir as suas contribuições para a gestão de resíduos nos mesmos, adota-se o estudo de caso como método de pesquisa.

O estudo de caso, enquanto método de pesquisa, é recomendado quando o foco da análise se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em um contexto da vida real (YIN, 2001). A geração expressiva de resíduos sólidos no setor da construção é um fenômeno contemporâneo inserido em contexto marcado pela necessidade de aplicação de práticas de gestão de resíduos capazes de racionalizar o uso de recursos durante a realização das obras desse setor. Práticas de gestão de resíduos efetivas podem ser consideradas como a melhor estratégia para promover a redução da quantidade de resíduos gerados nas obras e a destinação final adequada dos mesmos (GANGOLLELS *et al.*, 2014).

Para compor o estudo de caso, dois projetos de empreendimentos industriais do setor de óleo e gás foram selecionados, a partir de um levantamento dos projetos de empreendimentos industriais desse setor, com fase de construção e montagem iniciada no Brasil na primeira década dos anos 2000. O setor de óleo e gás apresentou uma carteira expressiva de projetos de empreendimentos industriais em construção no período mencionado, proporcionando uma oportunidade para análise das estratégias de gestão de resíduos adotadas nos mesmos. A seleção dos projetos de empreendimentos para o estudo de caso baseou-se em informações preliminares fornecidas pelo futuro operador de tais empreendimentos. Foram selecionados projetos que apresentam estratégias de gestão de resíduos caracterizadas pela adoção de uma ou mais práticas, comumente observadas em PIEs, consideradas na proposta apresentada, sendo adequados ao propósito da presente tese.

As fontes de informações empregadas no estudo de caso, referentes aos aspectos quantitativos e qualitativos das estratégias de gestão de resíduos adotadas na fase de construção e montagem dos dois empreendimentos selecionados, consistem em consulta a documentos, análise de registros quantitativos sobre a geração e destinação de resíduos nos empreendimentos em estudo, visitas técnicas aos canteiros de obras e *workshops* com analistas ambientais envolvidos na gestão de resíduos de tais empreendimentos.

Como ferramenta de análise, para os dados quantitativos, adota-se um conjunto de indicadores que tem por objetivo avaliar o desempenho das diferentes estratégias de gestão de resíduos adotadas na fase de construção e montagem dos empreendimentos industriais em questão. Os indicadores foram selecionados a partir de estudos anteriores sobre análise de sistemas de gestão de resíduos sólidos (DESMOND, 2006; ZAMAN, 2014; GREENE e TONJES, 2014; SANJEEVI e SHAHABUDEEN, 2015) e sobre monitoramento de iniciativas na área da EI (BAIN *et al.*, 2010; PATRÍCIO *et al.*, 2015), sendo eles: taxa de reciclagem, taxa de resíduos recuperados por simbiose industrial (SI) e taxa de resíduos desviados de aterros.

Para a análise dos aspectos qualitativos referentes às estratégias de gestão de resíduos em estudo, é adotada a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), que permite identificar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do objeto em análise, nesse caso as práticas de gestão de resíduos adotadas. Apesar de ter origem na disciplina de administração de empresas, a análise SWOT tem sido empregada em outros campos como, por exemplo, na área de gestão de resíduos sólidos, em que vem sendo utilizada para diagnosticar a situação da gestão de resíduos em determinadas cidades, regiões ou países e traçar estratégias para sua melhoria (SRIVASTA, 2005; EHEKIYAGODA, 2016).

Com relação à estrutura da tese, após o presente Capítulo de Introdução, o Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica a cerca de práticas de gestão de resíduos da construção. Inicialmente, são apresentadas informações sobre o setor da construção, seus segmentos e sobre características dos projetos de construção e montagem de empreendimentos industriais. Em seguida, apresentam-se o conceito de gestão de resíduos sólidos, legislações aplicáveis e etapas do processo, destacando aspectos específicos da gestão de resíduos da construção. Por fim, são apresentadas práticas de gestão de resíduos da construção capazes de contribuir para redução da geração e para a destinação adequada de tais resíduos. Algumas tendências, lacunas e desafios são discutidos.

No Capítulo 3, é apresentado o conceito de EI, seus princípios e ferramentas, detalhando-se a Simbiose Industrial e os Parques Industriais Ecológicos. Experiências relacionadas à aplicação dessas ferramentas na Europa, América do Norte, Ásia e Brasil são apresentadas e aspectos referentes à sua dinâmica de implementação e disseminação são discutidos.

No Capítulo 4, uma proposta para aplicação de práticas da EI a canteiros de obras de empreendimentos industriais é apresentada. Em seguida, são detalhadas as etapas e as ferramentas de análise a serem empregadas no desenvolvimento de estudo de caso para investigar a aplicação de tais práticas aos canteiros de obras industriais.

O Capítulo 5 apresenta o estudo de caso desenvolvido com os dois projetos de empreendimentos do setor de óleo e gás selecionados. São apresentadas as características gerais de ambos projetos e são detalhadas as estratégias de gestão de resíduos sólidos adotadas na fase de construção e montagem de cada um desses. É apresentada análise comparada dos resultados alcançados e dos tipos de práticas adotadas nos projetos.

Em seguida, no Capítulo 6, apresenta-se a análise SWOT realizada para identificar as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades associadas à aplicação de práticas da EI à fase de construção e montagem. Ao final do capítulo, as contribuições da EI para a construção e montagem de empreendimentos industriais são discutidas à luz das forças identificadas na análise SWOT; recomendações quanto à aplicação de tais práticas ao contexto dos canteiros de obras de empreendimentos industriais são apresentadas com base nas fraquezas, ameaças e oportunidades identificadas; e a proposta de aplicação da EI à construção e montagem industrial é aprimorada.

No capítulo final, são apresentadas as principais conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões para estudos futuros.

2. A construção e montagem industrial e a gestão de resíduos sólidos

O setor da construção permeia a maior parte dos setores econômicos na medida em que, por meio de suas atividades, são construídos os meios de produção necessários para o desenvolvimento dos mesmos. Ao transformar o ambiente natural em ambiente construído (JOHN, 2000), a indústria da construção propicia a ampliação de setores industriais e de equipamentos urbanos, exercendo influência direta sobre a infraestrutura de um país e sobre a qualidade de vida de sua população.

No Brasil, a indústria da construção ocupa uma posição de destaque na economia, considerando que os investimentos em construção representam cerca de 10% do PIB nacional e que a cadeia produtiva da construção reúne um conjunto de atividades que somam mais de 12 milhões de pessoas, cerca de 13% da força de trabalho ocupada no país (FIESP, 2017).

A cadeia produtiva da construção é composta por uma gama de atividades econômicas que abrangem desde a extração de insumos até as atividades de construção propriamente ditas, além de atividades relacionadas à comercialização e prestação de serviços técnicos especializados (DA SILVA *et al.*, 2015). Essa cadeia pode ser organizada em três grandes blocos (SEBRAE, 2008). No centro da cadeia (bloco central), encontram-se as atividades de projeto e construção. As atividades à montante compreendem os setores que geram os insumos (ferragens, brita, areia, cimento, cerâmica, dentre outros), equipamentos (tratores, britadeiras, caminhões, etc), ferramentas (pás, enxadas, pincéis, lixas, dentre outros) e serviços técnicos especializados (terraplanagem, topografia, demolição, etc) indispensáveis à execução das obras. Por fim, as atividades à jusante envolvem a comercialização de imóveis e os serviços de manutenção de imóveis e de infraestrutura de modo geral.

Cabe destacar que, apesar de sua participação expressiva na economia brasileira e de seu impacto sobre os demais setores, a indústria da construção apresenta baixa produtividade quando comparada a outros setores industriais, devido a fatores como baixa qualificação da mão-de-obra, baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento, baixo investimento em técnicas de pré-fabricação, modularização, gerenciamento e implantação de sistemas e ferramentas de TI, além de altas taxas de desperdício de materiais e

retrabalho (CGEE, 2009). Esses fatores influenciam o desempenho do setor e representam desafios a serem superados pelo mesmo.

Comumente, o setor da construção é dividido em dois segmentos principais: edificações e construção pesada (MAZUR, 2015). O segmento de edificações abrange as atividades de construção de edificações comerciais e residenciais. Por sua vez, o segmento de construção pesada engloba as atividades de construção de obras rodoviárias, ferroviárias, aeroportuárias, subterrâneas, aquáticas, metroviárias, de telecomunicações, de saneamento, lineares (oleodutos, gasodutos, linhas de transmissão de energia), obras de arte (pontes, viadutos, dentre outros) e obras industriais (usinas de geração de energia, plantas químicas e petroquímicas, plantas do setor de óleo e gás, dentre outros). Por vezes, as obras abrangidas por esse segmento são agrupadas em obras de infraestrutura urbana, de infraestrutura de transporte e de construção e montagem de empreendimentos industriais. A Figura 1 representa esquematicamente o setor da construção, distinguindo seus dois segmentos e relacionando-os com os blocos à jusante e à montante na cadeia.

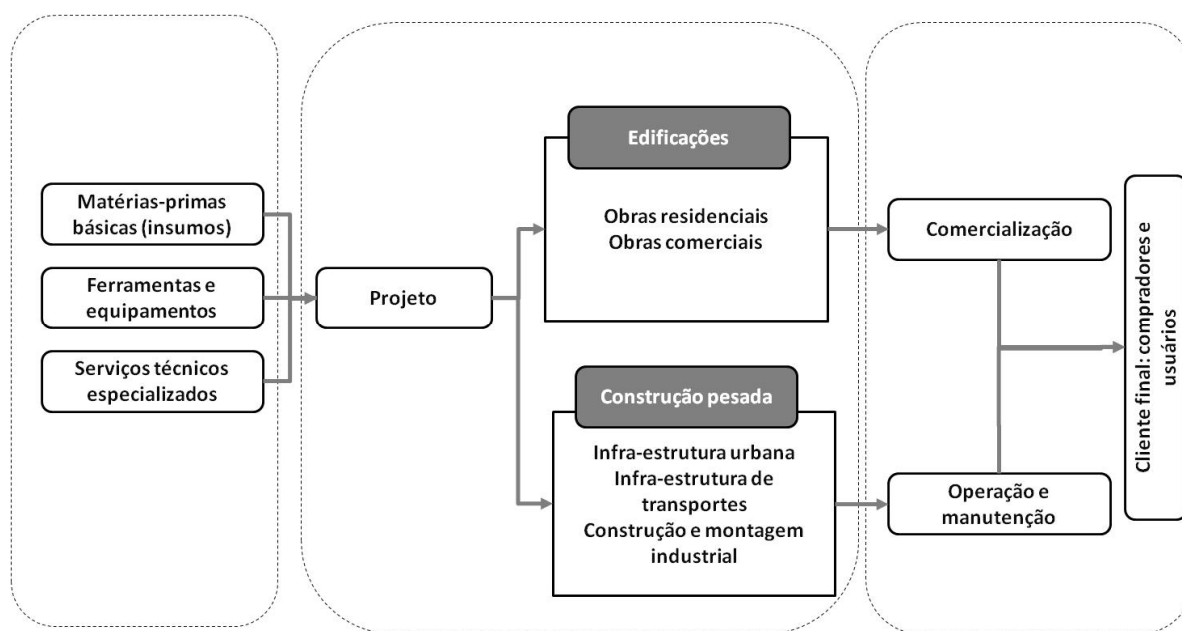


Figura 1. Representação do setor de construção.

Fonte: Adaptado de CGEE (2009).

A construção e montagem industrial abrange o projeto, construção e manutenção de todos os componentes estruturais e mecânicos de fábricas, plantas de geração de energia, refinarias, minas, dentre outros empreendimentos industriais. Trata-se de segmento altamente especializado da construção pesada, conforme detalhado a seguir.

2.1 Características gerais e gestão ambiental na construção

Projetos de empreendimentos industriais típicos requerem investimentos substanciais, apresentam longos períodos de execução, envolvem diversas disciplinas e elevada quantidade de atividades de engenharia, de construção e de montagem, altamente interconectadas, o que aumenta sua complexidade técnica e gerencial (HU e MOHAMED, 2014). Além disso, projetos dessa natureza são, geralmente, executados por diversas empresas simultaneamente. Cada empresa é responsável pela execução de parte do escopo do projeto, de forma que gerenciar os conflitos de cronograma, recursos e mão-de-obra representa um dos desafios de tais projetos (SUN e ZHANG, 2011).

O processo de construção e montagem de empreendimentos industriais é caracterizado por uma sequência típica de fases, conforme apresentado na Tabela 1. De forma geral, após uma fase inicial de planejamento, contratação, mobilização de recursos e instalação de canteiro, segue-se uma etapa de obras civis e, por fim, uma etapa de montagem eletro-mecânica. Ao longo de todo o processo, pessoas e equipamentos vão sendo desmobilizados à medida que as atividades vão sendo encerradas e, por fim, tem-se a desmobilização do canteiro de obras.

Devido às suas características, no que se refere ao licenciamento ambiental, observa-se que os empreendimentos construídos pelo segmento da construção pesada, incluindo a construção e montagem industrial, constam na relação de empreendimentos sujeitos ao processo de licenciamento ambiental e, em sua maioria, à elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental. Os impactos ambientais associados às atividades típicas da construção pesada e, também da construção e montagem de empreendimentos industriais, variam em natureza, magnitude e importância, devido à diversidade de empreendimentos construídos e aos diferentes ambientes nos quais esses são instalados. Os impactos ambientais vão desde o consumo de recursos naturais, alterações da qualidade da água, do solo e do ar, até os impactos indiretos relacionados aos benefícios trazidos pela ampliação da infraestrutura produtiva.

Uma das funções da avaliação de impactos ambientais consiste em servir como ferramenta para planejar a gestão ambiental de um novo empreendimento, visando assegurar que o empreendimento seja implantado, operado e desativado em conformidade com a legislação ambiental e de forma a minimizar os riscos ambientais e impactos

negativos, além de maximizar os impactos positivos, por meio da adoção de medidas mitigadoras, ações de monitoramento e medidas compensatórias (SANCHES, 2008).

Tabela 1. Fases da construção e montagem de um empreendimento industrial.

Atividade	Descrição
Planejamento	Fase de definição das atividades a serem executadas, recursos humanos e materiais necessários.
Contratação dos prestadores de serviços (empreiteiras)	Execução dos processos de contratação dos prestadores de serviços. No contrato de construção e montagem, são inseridos os anexos contratuais que definem as diretrizes para garantia da qualidade e do desempenho ambiental e da saúde e segurança dos trabalhadores. No contrato, também são anexados procedimentos e memoriais descritivos relacionados ao empreendimento a ser construído, bem como os critérios de pagamento.
Mobilização das equipes de construção e montagem	Após a assinatura da autorização para execução dos serviços, os prestadores de serviços alocam seu pessoal e os equipamentos. A alocação de pessoal abrange mão-de-obra de níveis superior, médio e de apoio que constituirão as equipes de gerentes, encarregados e os operários para a construção. Os equipamentos são então alocados, entre eles: tratores, moto-serras, caminhões, máquinas de elevação de carga, máquinas de soldagem, equipamento de inspeção, equipamento de concretagem, máquinas de compactação, caçambas, entre outros.
Instalação de canteiros de obras	Instalação de escritórios, alojamentos, cantinas, oficinas, áreas de lazer, estacionamento, posto médico, almoxarifado, laboratórios, paiol de explosivos, central de concreto, área de armazenamento de resíduos, tratamento de efluentes, entre outros.
Instalação de parques de armazenamento de materiais	Consiste na alocação de áreas para armazenar as tubulações, chapas de aço e equipamentos que serão utilizados.
Terraplanagem	Nesta fase, o solo é nivelado com técnicas de terraplanagem.
Obra civil	Nesta fase, são construídas as edificações e estrutura de suporte para equipamentos e instalações.
Montagem mecânica e soldagem	São executados os serviços de corte, dobra, solda, fixação e montagem das peças metálicas e equipamentos que comporão a instalação.
Montagem elétrica	São montados os equipamentos elétricos e eletrônicos, passando-se a fiação de controle e instalando-se painéis de controle e sistemas de energia.
Proteção e pintura	São realizados os tratamentos das superfícies e a posterior pintura ou revestimento dos equipamentos, instalações e obras civis.
Desmobilização	Esta é uma fase que ocorre durante toda a obra, a partir do momento que as atividades forem sendo concluídas e não somente no final da obra. Assim, os trabalhadores vão sendo gradativamente dispensados, as máquinas e equipamentos vão sendo retirados e no final os canteiros de obras são desmontados.

Fonte: Adaptado de AFFONSO (2001).

Nesse contexto, comumente, no âmbito dos processos de licenciamento ambiental, é exigida a apresentação do Plano de Controle Ambiental (PCA) para a fase de instalação de novos empreendimentos. A execução das ações propostas no PCA em conjunto com as demais medidas necessárias para o atendimento às condicionantes da licença ambiental e aos requisitos legais aplicáveis instituídos pela legislação ambiental costuma ser um dos principais focos da gestão ambiental na fase de instalação (construção) de novos empreendimentos. Cabe mencionar que, na maioria dos casos, a responsabilidade pelo licenciamento ambiental é do empreendedor, isto é, do futuro operador do empreendimento, cabendo às empreiteiras o atendimento das condicionantes da Licença de Instalação e de parte dos programas do Plano de Controle Ambiental.

Nas últimas décadas, tem sido comum a adoção de sistemas de gestão ambiental pelas empresas de acordo com normas internacionais. A primeira norma de sistemas de gestão ambiental foi a BS7750, desenvolvida pela *British Standards* em 1992, que buscou ordenar os procedimentos de gestão ambiental existentes e, ao mesmo tempo, permitir a certificação desses sistemas (FGV, 2012). Essa norma se tornou o protótipo para a elaboração de normas voluntárias em outros países e para as normas da família ISO 14.000.

Em 1993, as normas que integram a família ISO 14.000 começaram a ser elaboradas. Essa família de normas é constituída por dois grandes grupos. O primeiro grupo contempla normas com foco nas organizações e em seus processos. Tratam-se das normas referentes à implantação de sistema de gestão ambiental (ISO 14.001:2015), à auditoria ambiental (ISO 19.011:2012) e à avaliação de desempenho ambiental (ISO 14.031:2004). O segundo grupo é composto por normas com foco em produtos. Tratam-se das normas referentes à rotulagem ambiental (série ISO 14.020), avaliação do ciclo de vida (série ISO 14.040) e à inserção de aspectos ambientais em normas de produtos (ISO 14.062:2004). No Brasil, as normas da série ISO 14.000 foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e integram o conjunto de normas NBR ISO.

No cenário internacional, um número significativo de empresas tem implementado instrumentos voluntários de gestão como a norma ISO 14.001. Segundo pesquisa publicada pela *International Standard Organization* (ISO, 2012), 285.844 certificados na norma ISO 14.001 foram emitidos em 167 países até o final de 2012. Os cinco setores da economia com maior número de empresas certificadas nessa norma foram: o setor de serviços (54.161 certificados); o setor de construção (22.414); o setor de siderurgia e

metalurgia (17.171); o setor de equipamentos óticos e elétricos (15.039); e o setor vendas e reparos de veículos (10.091).

Segundo levantamento realizado por ZUTSHI e CREED (2014) a cerca das características das empresas do setor da construção no mundo, com foco nas iniciativas que estão sendo implantadas para reduzir seus impactos no meio ambiente, a base do sistema de gestão ambiental das empresas do setor da construção dos países pesquisados está calcada nos padrões da ISO.

CAMPOS *et al.* (2013), em sua revisão bibliográfica sobre a gestão ambiental no setor da construção, buscaram identificar os principais benefícios e dificuldades na implantação da ISO 14.001. Os autores constataram que a maioria dos trabalhos desenvolvidos nessa área citam os altos custos envolvidos como uma das barreiras à implantação de sistemas de gestão ambiental em empresas do setor de construção. A necessidade de recursos humanos especializados para implantar os sistemas de gestão ambiental e o tempo despendido nesse processo também são apontados como fatores que desestimulam as empresas (TAN *et al.*, 2011).

Por outro lado, TURK (2009) em suas pesquisas comparou empresas do setor da construção certificadas e não certificadas pela ISO 14.001, identificando os seguintes benefícios gerados pela certificação: melhoria da consciência ambiental da companhia, diminuição dos impactos adversos ao meio ambiente, melhoria na padronização da gestão ambiental, diminuição de reclamações com relação às questões ambientais, melhoria da imagem, do reconhecimento social e da autoestima da empresa, aumento da fatia de mercado da empresa e da satisfação do cliente e controle mais rigoroso sobre as empresas subcontratadas. Além disso, um dos principais benefícios apontados é a abertura que a certificação concede às empresas para competir internacionalmente.

Outro aspecto a ser considerado quanto à gestão ambiental na indústria da construção diz respeito às suas especificidades. Conforme apontado por alguns autores (ZHAO *et al.*, 2012; CAMPOS *et al.*, 2013; AFFONSO, 2001), empresas de construção operam em dois níveis distintos: nível corporativo e nível de projeto. Trata-se de uma indústria fundamentalmente baseada em projetos caracterizados por uma duração determinada, equipes constituídas especificamente para cada projeto, aspectos locacionais particulares do projeto, além de outras especificidades que tornam cada projeto único. Essas características fazem com que as empresas de construção necessitem de uma gestão

ambiental aplicada em nível de projeto e de organização. Faz-se necessária a existência de um sistema de gestão em nível de organização, contemplando a política ambiental, os recursos, funções, responsabilidades, autoridades, procedimentos gerais e sistemas de informação, capaz de apoiar a implantação do sistema em nível de projeto com a agilidade adequada aos prazos do projeto e com a qualidade necessária ao atendimento aos requisitos legais aplicáveis, mantendo a uniformidade na organização.

2.2 Gestão de resíduos de construção

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, resíduos sólidos são definidos, como:

Materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A definição apresentada traz dois aspectos essenciais à discussão sobre resíduos sólidos. Primeiramente, resíduos são gerados pelas atividades humanas. Sendo assim, dada a grande diversidade de atividades realizadas em sociedade empregando diferentes insumos e processos, infere-se que há também grande variedade de resíduos. Um segundo ponto consiste no fato de que a definição estabelece a obrigatoriedade de se proceder a destinação dos resíduos, o que traz a necessidade de promover a sua gestão, desde o momento em que os mesmos são gerados.

A construção e montagem de empreendimentos industriais, enquanto atividade humana, gera resíduos comumente denominados de resíduos de construção. Tais resíduos são definidos pela Resolução Conama nº 307, de 05 de julho de 2002, como:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto

em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Conforme mencionado no item 2.1, a construção e montagem caracteriza-se por uma primeira etapa, de obras civis, seguida por uma etapa de montagem eletro-mecânica (AFFONSO, 2001). A primeira etapa abrange atividades como limpeza de terreno e terraplanagem, escavações e movimentação de solos, construção de estruturas de sustentação de equipamentos e de edificações (fundações), dentre outras. Já a etapa de montagem industrial é composta por atividades de montagem de peças metálicas e equipamentos que compõem a instalação, montagem de equipamentos elétricos e eletrônicos, instalação de painéis de controle e sistemas de energia, isolamento e tratamento térmico, gamagrafia, jateamento, pintura, testes hidrostáticos, etc..

Os resíduos gerados na primeira etapa são, em sua maioria, entulho (resíduos de concreto, cimento, argamassa), madeira, sucata metálica, plásticos, papelão, resíduos provenientes do gesso, óleo lubrificante proveniente da manutenção de máquinas e resíduos contaminados com óleo (luvas e trapos, por exemplo). Por sua vez, os resíduos gerados na fase de montagem industrial abrangem, principalmente, discos abrasivos usados, pontas de eletrodo, sobras de tintas e solventes, silicatos, lã de vidro e resíduos oleosos.

Sabe-se que a quantidade de resíduos gerados pela indústria da construção é bastante expressiva, chegando a corresponder a uma das tipologias de resíduos com maior geração em alguns países (LLATAS, 2011). No Brasil, estima-se que sejam coletados diariamente 99.354 toneladas de resíduos de construção civil, sendo que a geração anual média por habitante chega a 0,5 t em algumas cidades brasileiras (MMA, 2011).

Nesse contexto, nas últimas décadas, a gestão de resíduos de construção e o uso eficiente de materiais em canteiros de obras tem recebido mais atenção, devido ao seu potencial para redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades construtivas (SOUZA, 2005). Os sistemas de gestão de resíduos visam reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

Pesquisas tem sido desenvolvidas com o objetivo de identificar práticas de gestão de resíduos e de gestão do consumo de materiais em canteiros de obras capazes de gerar benefícios sociais, econômicos e ambientais que estimulem os atores envolvidos a se comprometer com essa questão. De acordo com LU e YUAN (2011), pesquisas sobre a gestão de resíduos de construção, realizadas no período de 1996 a 2010, dedicaram-se à investigação de questões relacionadas à redução da geração de resíduos dessa natureza (42,2%) e à promoção da reciclagem (23,8%), enquanto menos atenção tem sido dedicada ao reuso de tais resíduos (4,1%). A redução da geração de resíduos é considerada como a prática mais efetiva de gestão de resíduos, razão pela qual soluções que promovam a redução tem sido amplamente investigada por pesquisadores como, por exemplo, o emprego de tecnologias construtivas que geram menor quantidade de resíduos. O reuso, por sua vez, corresponde ao uso de um dado material mais de uma vez, abrangendo tanto o uso para a mesma função (reuso de fôrmas mais de uma vez nas atividades de construção, por exemplo) quanto o uso para novas funções. Quando a redução e o reuso não são possíveis, a reciclagem torna-se a melhor alternativa, havendo duas questões com impacto direto sobre a reciclagem: sua viabilidade econômica e a aceitação dos materiais reciclados (LU e YUAN, 2011).

Nos itens a seguir, apresentam-se as etapas do processo de gestão de resíduos e as legislações e normas aplicáveis às mesmas no Brasil, com especial atenção, aos resíduos da construção. Em seguida, as práticas de gestão de resíduos, comumente, adotadas no setor da construção são discutidas.

2.2.1 Etapas do processo, legislações e normas aplicáveis

Recentemente, a gestão de resíduos passou a ser considerada como parte de uma questão mais ampla, a gestão do uso de materiais e de recursos naturais. Apesar do aumento observado na eficiência da utilização de recursos naturais em diversas nações (ETC/SCP, 2013), o crescimento econômico e a elevação do consumo das últimas décadas aumentaram a demanda pela extração de matérias-primas, pelo seu processamento, produção e distribuição, a qual foi acompanhada pelo aumento da geração de resíduos, implicando no aumento dos impactos ambientais de todas as fases do sistema linear de produção (IPEA, 2012). Isto é, a redução da quantidade de recursos empregados

por produto em várias nações não tem ocorrido em escala suficiente para compensar a elevação da demanda por recursos naturais decorrente do aumento do consumo mundial.

Nesse contexto, o aumento do tempo de circulação dos recursos naturais na economia tem sido adotado como premissa para a formulação de políticas e estratégias de gestão de resíduos em diversos países, sendo a não-geração, o reuso e a reciclagem elementos-chave para a implementação das mesmas.

Em alguns casos como, por exemplo, na União Europeia, o marco regulatório (Diretiva 2008/98/EC), baseia-se, oficialmente, em uma hierarquia, isto é, em uma ordem de prioridade a ser seguida na gestão de resíduos, na qual a não-geração e a destinação de resíduos para reuso e para reciclagem são priorizadas frente à disposição em aterros. Além disso, a estratégia de Economia Circular da União Europeia, descrita na Comunicação COM(2015)614, ao apresentar diretrizes para aumentar o tempo de circulação de materiais, recursos e produtos na economia, bem como minimizar a geração de resíduos, abrangendo as fases de projeto e produção de bens, consumo e gestão de resíduos, propõe ações baseadas no reuso e na reciclagem de materiais.

Cabe mencionar ainda que, na COM(2015)614, alguns setores são considerados como prioritários, dados os desafios e especificidades relacionados aos mesmos. Dentre esses, encontra-se o setor de construção, um dos maiores geradores de resíduos na Europa. Embora os resíduos gerados pelas atividades de tal setor sejam, em sua maioria, recicláveis ou passíveis de reuso, as taxas de reciclagem e de reuso ainda variam de forma significativa entre os países membro da União Europeia. Devido a esses aspectos, a União Europeia encoraja a adoção de metas de reciclagem de resíduos da construção por seus países membros, além de propor algumas diretrizes para segregação, reuso e reciclagem de tais resíduos, bem como ações para reduzir o impacto ambiental das edificações durante todo o seu ciclo de vida (do projeto à demolição, passando pela construção e uso).

No Brasil, durante muitos anos foram publicadas regulamentações para disciplinar as diferentes etapas da gestão de resíduos sólidos, no entanto, não havia um marco regulatório que tratasse da questão de forma integral, definindo diretrizes, prioridades e instrumentos capazes de promover a correta gestão dos resíduos no país. Após vinte e um anos tramitando no Congresso Nacional, a PNRS representou um marco para a gestão de resíduos no Brasil, trazendo como características marcantes a introdução da

responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a inclusão de grupos sociais organizados em torno da reciclagem.

A PNRS organiza a gestão de resíduos sólidos no Brasil a partir de um conjunto de diferentes planos: (i) Plano Nacional de Resíduos Sólidos; (ii) planos estaduais de resíduos sólidos; (iii) planos microrregionais de resíduos sólidos e planos de resíduos de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; (iv) planos intermunicipais de resíduos sólidos; (v) planos municipais de resíduos sólidos; e (vi) planos de gestão de resíduos demandados de grandes geradores como parte integrante de seu licenciamento ambiental. Para esse último caso, o Decreto nº 7404, de 23 de dezembro de 2010, prevê a possibilidade de implementação de soluções coletivas e integradas ao admitir que os empreendimentos sujeitos à elaboração de plano de gestão de resíduos sólidos localizados em um mesmo condomínio que exerçam atividades características de um mesmo setor produtivo e que possuam mecanismos formalizados de governança coletiva ou de cooperação possam optar pela apresentação de um único plano, contendo as ações e responsabilidades atribuídas a cada um dos geradores.

Cabe ressaltar que, independentemente da apresentação de planos individuais ou coletivos, a responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pela gestão inadequada dos resíduos permanece sendo do gerador, mesmo mediante a contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos, ou disposição final de rejeitos.

Assim como na União Europeia, a PNRS estabelece uma ordem de prioridade a ser seguida na gestão de resíduos, a saber: não-geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Ao estabelecer uma ordem de prioridade para a gestão dos resíduos, a PNRS reconheceu o valor econômico dos mesmos, uma vez que a disposição final em aterros tornou-se a última alternativa de destinação para os resíduos, sendo precedida por processos que buscam a sua re-inserção em cadeias produtivas.

Com relação especificamente à gestão de resíduos de construção, dentre as resoluções do Conama que tratam do assunto, a primeira e mais importante é a Resolução Conama nº 307/2002, já mencionada anteriormente, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (NAGALLI, 2014).

Conforme já mencionado, esta resolução apresenta a definição de resíduos da construção civil, além de contemplar a classificação dos mesmos.

Apesar de ser anterior à PNRS, a Resolução Conama nº 307/2002 apresenta elementos que, posteriormente, foram também contemplados pela PNRS. Primeiramente, a Resolução Conama nº 307/2002 baseia-se em uma ordem de prioridade a ser observada na gestão dos resíduos de construção, tal qual a PNRS (não geração de resíduos, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos). Adicionalmente, um dos instrumentos de gestão estabelecidos pela Resolução Conama nº 307/02, a ser seguido pelos grandes geradores de resíduos de construção, consiste na elaboração e implantação do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil que tem como objetivo estabelecer os procedimentos necessários à gestão e à destinação ambientalmente adequadas dos resíduos. Os planos fazem parte do processo de licenciamento ambiental, sendo analisados pelos órgãos ambientais competentes.

Com relação ao conteúdo, os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem abordar as atividades de caracterização, triagem (realizada pelo gerador na origem ou em áreas específicas para tal), acondicionamento, transporte e, por fim, a destinação, observando as legislações e normas técnicas aplicáveis a cada uma dessas etapas.

A referida resolução foi alterada pela Resolução Conama nº 348/2004 – que incluiu o amianto na classe de resíduos perigosos, pela Resolução Conama nº 431/2011 – que estabeleceu nova classificação para os resíduos do gesso, pela Resolução Conama nº 448/2012 – que trouxe nova nomenclatura para os entes do sistema de gestão de resíduos da construção e pela Resolução Conama nº 469/2015 – que definiu a classificação das embalagens vazias de tinta.

No Brasil, além da PNRS e da Resolução Conama nº 307/2002, há outros requisitos legais e normas técnicas que disciplinam as atividades realizadas nas diferentes etapas do processo de gestão de resíduos sólidos. A gestão de resíduos é um processo constituído por um conjunto de atividades que podem ser agrupadas em quatro etapas: planejamento, execução, verificação e ajustes (FIRJAN, 2006).

A fase de planejamento compreende o diagnóstico dos resíduos a serem gerados, isto é, sua identificação e estimativa dos volumes esperados. Com base no diagnóstico, são

identificados os requisitos legais a serem observados para a correta gestão dos resíduos e definidos objetivos e metas a serem perseguidos. Em seguida, é elaborado o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, são obtidas as autorizações e licenças necessárias para a gestão dos resíduos, são firmados os contratos com transportadores, aterros e demais empresas envolvidas no processo e são executados os treinamentos necessários para a força de trabalho envolvida nesse processo.

A partir do início da geração de resíduos, são executadas, rotineiramente, as atividades de segregação, acondicionamento, armazenamento temporário, transporte e destinação final.

Por fim, com certa regularidade são realizadas ações de verificação para avaliar o atendimento aos requisitos legais e normativos aplicáveis, bem como o alcance das metas estabelecidas, sendo tomadas ações corretivas para ajustar desvios identificados.

A seguir, apresenta-se um resumo das legislações e normas aplicáveis à classificação, segregação, acondicionamento, armazenamento temporário, transporte e destinação final de resíduos. Essas atividades são comumente abordadas em trabalhos do setor de construção (CARVALHO, 2008; NAGALLI, 2014; DA SILVA *et al.*, 2015), por serem citadas pela Resolução Conama nº 307/2002.

- **Classificação:** A PNRS estabelece que os resíduos sólidos devem ser classificados quanto à periculosidade. A norma técnica ABNT NBR 10.004:2004 estabelece os critérios empregados para tal classificação. Segundo essa norma, para que um resíduo seja classificado como perigoso, o mesmo deve estar listado em seus Anexos A ou B, ou apresentar uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade ou toxicidade. Os métodos de avaliação dos resíduos quanto a essas características estão descritos detalhadamente na norma ABNT NBR 10.004:2004 e em outras normas técnicas complementares. Os resíduos não perigosos, por sua vez, classificam-se em resíduos não inertes (Classe IIA) e resíduos inertes (Classe IIB). Os resíduos não inertes são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos e de resíduos inertes, podendo apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos inertes, por sua vez, são aqueles que quando amostrados de uma forma representativa, conforme norma ABNT NBR 10.007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com a

água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme norma ABNT NBR 10.006:2004, não tem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Especificamente, com relação aos resíduos de construção, de acordo com a Resolução Conama nº 307/02, os resíduos da construção civil são classificados em quatro classes (A, B, C e D). Para cada classe, a resolução estabelece as alternativas de destinação final a serem adotadas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resolução Conama nº 307/2002.

Classe	Descrição	Alternativas de tratamento
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: (a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; (b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos, argamassa e concreto; (c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas nos canteiros de obras.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterros de resíduos classe A de reservação de materiais para uso futuro
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de forma a permitir a sua reutilização ou reciclagem futura.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base na Resolução Conama nº 307/2002.

- Segregação: A segregação dos resíduos tem como objetivos principais evitar a mistura de resíduos incompatíveis, aumentar as possibilidades de reutilização e reciclagem dos resíduos e diminuir o volume de resíduos perigosos a serem tratados. A mistura de dois ou mais resíduos incompatíveis pode ocasionar reações

indesejadas ou incontroláveis. A norma ABNT NBR 12235:1992 apresenta um quadro de incompatibilidade de resíduos. Dessa forma, a segregação de resíduos deve ser realizada na fonte, utilizando coletores específicos para cada tipo de resíduo, padronizados de acordo com o código de cores estabelecido para a coleta seletiva pela Resolução Conama n° 275/2001. Além de seguir o código de cores, o acondicionamento dos resíduos deve ser realizado em recipientes construídos com materiais compatíveis com os resíduos, estanques, com resistência física a pequenos choques que ocorrem durante seu manuseio, com durabilidade e compatibilidade com o equipamento de transporte, em termos de forma, volume e peso.

- **Armazenamento temporário:** O armazenamento temporário de qualquer resíduo deve ser realizado de modo a não alterar sua quantidade e sua classificação. Para isso, devem ser seguidas as orientações das normas ABNT NBR 12235:1992 e ABNT NBR 11174:1990, que disciplinam o armazenamento de resíduos perigosos e não-perigosos, respectivamente. Ambas as normas apresentam orientações quanto à localização das áreas de armazenamento temporário de resíduos, às condições de segurança e às medidas de proteção ambiental que devem ser adotadas. Com relação à proteção ambiental, as normas estabelecem as medidas a serem adotadas quanto à impermeabilização da área, cobertura, instalação de sistema de drenagem de águas pluviais e de contenção de vazamentos. As normas técnicas citadas também trazem orientações quanto ao acondicionamento e segregação dos resíduos dentro das áreas de armazenamento temporário em tambores, contêineres, tanques ou a granel. Cabe mencionar ainda que a capacidade e quantidade dos dispositivos para o armazenamento dos vários tipos de resíduos devem ser compatíveis com a frequência de remoção dos mesmos da área de armazenamento (CARVALHO, 2008).
- **Transporte:** O transporte de resíduos perigosos deve observar as determinações das regulamentações referentes ao transporte de produtos perigosos. Dentre essas, destaca-se o Decreto n° 96.044, de 18 de maio de 1988, que aprova o Regulamento para o Transporte Terrestre de Produtos Perigosos e a Resolução ANTT n° 420, de 12 de fevereiro de 2004, que aprova as instruções complementares ao Regulamento para o Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. Segundo o Decreto n° 96.044/1998, cabe ao expedidor do resíduo perigoso, isto é, aquele que prepara uma expedição para transporte e emite a nota fiscal, acondicionar o

resíduo adequadamente, considerando os critérios de compatibilidade e entregar ao transportador os resíduos devidamente identificados. Cabe também ao expedidor avaliar antes de cada viagem as condições do veículo e exigir do transportador o uso de rótulo de risco, painel de segurança, ficha de emergência e envelope de segurança. A norma ABNT NBR 7500:2011 apresenta orientações para a elaboração do rótulo de risco e do painel de segurança. Por sua vez, a norma ABNT NBR 7503:2008 apresenta orientações quanto à ficha de emergência e envelope de segurança. Em alguns estados do Brasil, os órgãos ambientais exigem a emissão de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) para manter a rastreabilidade sobre o transporte e destinação final dos resíduos gerados. O MTR costuma possuir dados sobre o resíduo gerado, sobre o gerador, o transportador e o receptor final do resíduo. Com isso, tem-se toda a rota de destinação do resíduo registrada em um único documento.

- Destinação final: Segundo a PNRS, destinação final ambientalmente adequada dos resíduos é a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária – SNVS e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos à saúde pública e à segurança e de modo a minimizar os impactos ambientais adversos. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, por sua vez, corresponde à distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos à saúde pública e à segurança e de modo a minimizar os impactos ambientais adversos. Dessa forma, segundo a PNRS, apenas os rejeitos podem ser dispostos em aterros, devendo os resíduos ser destinados a outras formas de tratamento. Conforme já mencionado, a escolha da forma de tratamento deve observar a ordem de prioridade definida pela PNRS. Outros fatores comumente observados para a escolha do método de tratamento são: o tipo de resíduo gerado, sua classificação e quantidade, a disponibilidade dos métodos de tratamento e seus custos (FIRJAN, 2006). Há diversas legislações que disciplinam a destinação final de determinados tipos de resíduos como óleos lubrificantes (Resolução Conama nº 362/2005), pilhas e baterias (Resolução Conama nº 401/2008), resíduos da construção (Resolução Conama nº 307/2002),

bem como legislações que regulamentam determinados tipos de destinação como o co-processamento (Resolução Conama nº264/1999) e tratamento térmico (Resolução Conama nº 316/2002).

2.2.2 Práticas adotadas

Estudos tem apontado que, no setor da construção, aspectos relacionados à gestão de resíduos devem ser considerados desde as fases de projeto e de compras até a fase da obra (LINGHARD *et al.*, 2000). De acordo com a literatura, projetistas devem avaliar como reduzir a geração de resíduos por meio de projetos focados no uso eficiente de materiais (YUAN, 2017), na aplicação de materiais reciclados (GANGOLLELS *et al.*, 2014), na adoção de dimensões padronizadas que reduzam, por exemplo, o corte de materiais (cortes de pisos e azulejos costumam gerar sobras), no uso de pré-fabricados, (NAGALLI, 2014; AJAYI *et al.*, 2017), na escolha de processos construtivos que impliquem em menor geração de resíduos e na adoção de métodos de construção desmontáveis (NAGALLI, 2014)

Além disso, estimativas adequadas das quantidades de materiais necessários em cada fase da obra contribuem para reduzir a quantidade de material excedente adquirido e, conseqüentemente, sobras de materiais que, muitas vezes, acabam destinados como resíduo ao final da obra (BEGUN *et al.*, 2007). Ainda com relação à fase de compras, a elaboração de contratos que prevejam o recolhimento e redução de embalagens pelos fabricantes, isto é, incorporem práticas de logística reversa, também possui potencial para contribuir para uma melhor gestão de resíduos, uma vez que o retorno de embalagens aos fabricantes pode estimulá-los a passar a empregar embalagens que possam ser reaproveitadas, contribuindo para um uso mais eficiente de materiais.

Com relação às práticas de gestão de materiais e de resíduos adotadas nos canteiros de obras, trabalhos realizados nas últimas décadas tem evidenciado a sua importância ao levantar e discutir as perdas de materiais em canteiros de obras (SOUZA, 2005). O trabalho de SOIBELMAN (1993) levantou as perdas de materiais em cinco obras, identificando perdas médias da ordem de 19% para o aço, 82,6% para o cimento, 12,9 % para o concreto, 44,4% para a areia. Em outra pesquisa, realizada por um grupo coordenado pela Universidade de São Paulo – USP, em parceria com outras quinze

universidades, foram identificadas perdas médias, em 100 canteiros de obras, da ordem de 76% para areia e 95% para o cimento (AGOPYAN *et al.*, 1998). O conceito de perdas empregados em tais trabalhos consiste na quantidade de material consumida além da quantidade teoricamente necessária que é aquela indicada no projeto. Tal consumo excessivo pode ser dar por extravio de material, transformação de material em resíduo (por uso indevido, por armazenamento inadequado, como sobra durante a execução de uma atividade, dentre outros) ou por incorporação em quantidade superior ao indicado no projeto (ao se fazer uma laje mais espessa do que o indicado, por exemplo).

Dessa forma, a execução da obra de maneira aderente ao que foi projetado e a redução da quantidade de modificações de projeto realizadas ao longo da obra tem sido apontadas como aspectos primordiais para redução da geração de resíduos nos canteiros, uma vez que essas práticas evitam retrabalho, demolições e modificações de estruturas já construídas e, conseqüentemente, geração de resíduos (AJAYI *et al.*, 2017). A definição de procedimentos com indicação das ferramentas e técnicas construtivas a serem adotadas para determinados serviços a serem realizados na obra, o treinamento dos operários nos procedimentos a serem seguidos, o transporte adequado de materiais na obra para evitar a quebra de peças (cerâmica, por exemplo), o armazenamento adequado de materiais para evitar que se deteriorem transformando-se em resíduos e o uso das quantidades corretas de materiais em atividades de moldagem (preparo de quantidade de gesso adequada evitando que sobre material na caixa do aplicador, por exemplo) são outras práticas que, quando aplicadas em canteiros de obras, contribuem para a redução da geração de resíduos (SOUZA, 2005; NAGALLI, 2014).

Já a segregação de resíduos e a adoção de práticas de reuso interno nas obras são apontadas como práticas capazes de reduzir a quantidade de resíduos destinadas para aterros (OYEDELE *et al.*, 2013). Nesse sentido, a definição de áreas específicas para o armazenamento adequado de resíduos nos canteiros, a realização de inspeções periódicas nessas áreas para assegurar seu correto gerenciamento, a alocação adequada (em quantidade suficiente) de coletores de resíduos nas frentes de obras e a identificação de atividades nas quais possam ser reusados certos tipos de resíduos gerados na obra são soluções com potencial para assegurar a correta segregação de resíduos e o aumento do reuso interno nas obras (AJAYI *et al.*, 2017).

No que se refere à destinação de resíduos da construção para alternativas que evitem sua disposição em aterros como, por exemplo, a reciclagem, cabe mencionar que a

ausência de exigência por parte do futuro operador do empreendimento quanto à destinação para reciclagem dos resíduos gerados nas atividades construtivas de seus empreendimentos (JIN *et al.*, 2017), a falta de centrais de reciclagem de resíduos próximas às obras (JIA *et al.*, 2017), a resistência cultural à destinação de resíduos para reciclagem (ESA *et al.*, 2016) e custos de disposição final em aterros inferiores aos benefícios gerados pela reciclagem (ZHAO *et al.*, 2008; ZHAO *et al.*, 2010) são alguns dos desafios apontados para a destinação de resíduos da construção para reciclagem. Assim, estudos de viabilidade financeira para implantação de centrais de reciclagem de resíduos da construção (NUNES, 2004), elaboração de normas técnicas para o emprego de materiais reciclados em atividades de construção e a criação de incentivos à formação de um mercado para materiais de construção reciclados (TAM e TAM, 2006; JIN *et al.*, 2017) mostram-se necessários para estimular a destinação de resíduos de construção para reciclagem.

A elaboração e implementação de planos de gerenciamento de resíduos nos canteiros de obras, com definição de responsabilidades e dos procedimentos a serem adotados durante a execução das obras, é também reconhecida como prática efetiva para melhorar o processo de gestão de resíduos no setor de construção (AJAYI *et al.*, 2017). Entretanto, a divulgação dos planos de gerenciamento de resíduos para toda a força de trabalho envolvida nas atividades realizadas no canteiro de obras é uma das práticas menos disseminadas na construção (GANGOLLELS *et al.*, 2014).

Por fim, a importância da seleção de empreiteiras considerando seu desempenho quanto à gestão de resíduos em obras realizadas anteriormente, a supervisão adequada das atividades relacionadas à gestão de resíduos em canteiros de obras, assim como a importância do engajamento de todos os atores envolvidos no processo de gestão de resíduos com premissas como a não-geração, a redução e a reciclagem é destacada na literatura (UDAWATTA *et al.*, 2015).

A partir dos trabalhos citados, conforme ilustrado na Figura 2, é possível constatar que tem se buscado incorporar, desde a fase de projeto até a fase de construção de um empreendimento, práticas que visam à redução da geração de resíduos e ao seu reaproveitamento. Entretanto, embora inúmeras pesquisas relacionadas à gestão de resíduos da construção tenham evidenciado a importância do comprometimento de projetistas e empreiteiras com tais práticas, não tem se investigado práticas inter-

organizacionais que buscam aproveitar as sinergias existentes entre as diferentes empresas envolvidas na fase de construção de grandes empreendimentos.

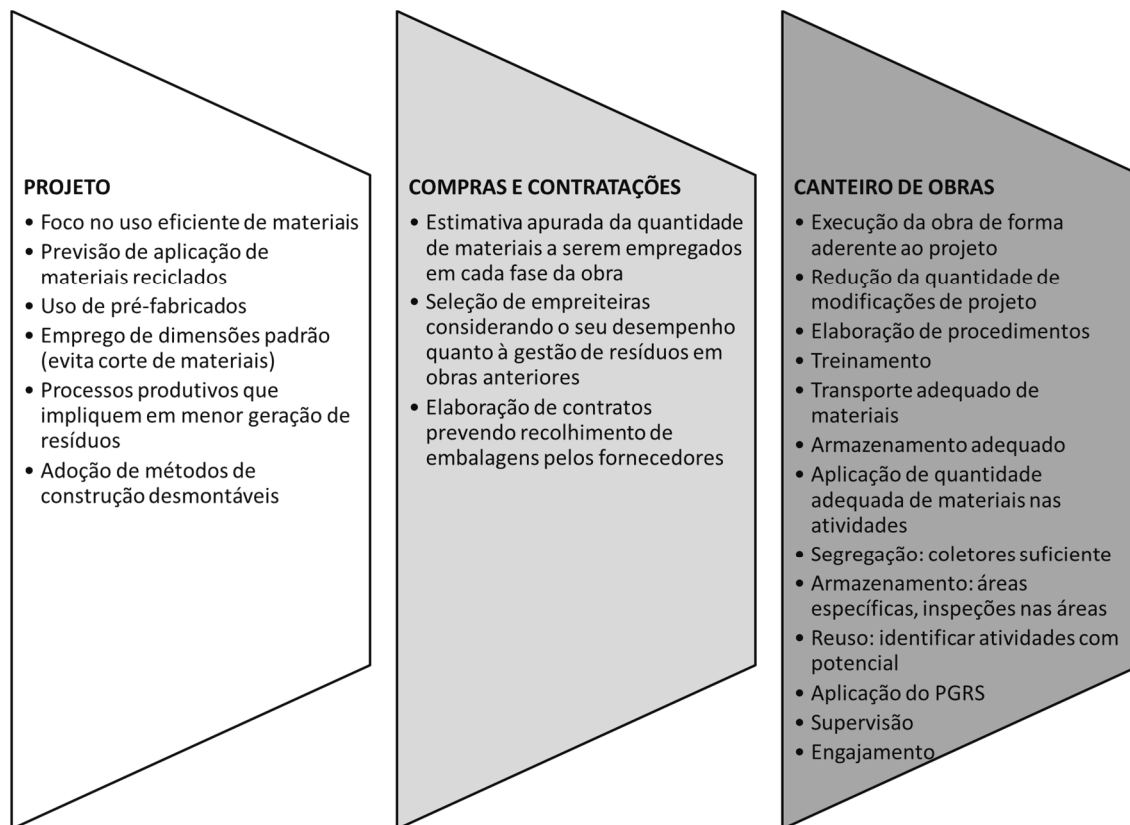


Figura 2. Práticas de gestão de resíduos da construção.

Fonte: Elaboração própria a partir de AJAYI *et al* (2017), JIN *et al* (2017), YUAN (2017), UDAWATTA *et al* (2015), GANGOLLELS *et al* (2014), NAGALLI (2014), OYEDELE *et al* (2013), BEGUN *et al* (2007), TAM e TAM (2006), SOUZA (2005), NUNES (2004).

Práticas inter-organizacionais de gestão abrangem desde o simples intercâmbio de informações e a troca de experiência entre empresas até a adoção de iniciativas conjuntas de gestão, nas quais diferentes empresas envolvidas em um dado projeto trabalham de forma integrada por meio de equipes comuns e do desenvolvimento de planos e programas conjuntos de longa duração (ELTAYEB *et al.*, 2011). A implementação de práticas dessa natureza trata-se, portanto, de processo intensivo de aprendizado (MODI e MABERT, 2007) que requer a disponibilização de recursos e o desenvolvimento de habilidades organizacionais para que os resultados almejados sejam alcançados

(GAVRONSKI *et al.*, 2011). Em contextos colaborativos, operações chegam a ser planejadas e executadas de forma conjunta entre empresas, resultando em melhoria do fluxo de comunicação, aumento da eficiência dos processos e redução de custos (PERO *et al.*, 2017; REEFKE e SUNDARAM, 2017).

Nesse contexto, a investigação de estratégias de gestão de resíduos baseadas em práticas inter-organizacionais que buscam aproveitar as sinergias existentes entre os atores envolvidos pode contribuir para reduzir os impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos. Conforme mencionado anteriormente, a EI tem se dedicado ao estudo de práticas dessa natureza em sistemas industriais.

3. Ecologia Industrial: conceitos, instrumentos e experiências

A transição para uma sociedade fundamentada no ideal do desenvolvimento sustentável passa, necessariamente, pela análise do uso que se faz dos recursos naturais, dada a necessidade de equacionar a promoção do bem-estar da geração atual com a manutenção da capacidade de satisfação das necessidades das gerações futuras.

Dada a proeminência adquirida pelas questões relacionadas ao uso sustentável dos recursos naturais, linhas de pesquisa como a Ecologia Industrial e, mais recentemente, a Economia Circular tem se dedicado à investigação de sistemas de produção focados na preservação dos recursos naturais e na redução dos impactos dos processos produtivos sobre o meio ambiente (VALENTINE, 2016; GHISELLINI *et al.*, 2016).

Historicamente, o crescimento da atividade econômica esteve associado a um aumento no uso dos recursos naturais, o qual foi acelerado pela Revolução Industrial. Como consequência, a intensificação da poluição ambiental e das preocupações relacionadas à escassez de recursos naturais impulsionaram, a partir da década de 60, o desenvolvimento de modelos econômicos que, ao considerarem os fluxos materiais existentes entre o meio ambiente e o sistema econômico, passam a buscar instrumentos para a otimização do uso dos recursos naturais, isto é, instrumentos capazes de propiciar o máximo bem-estar a partir de uma dada quantidade de recursos naturais.

Data da década de 60 também, o início da estruturação política e institucional da gestão ambiental nos países, marcado pela publicação da Política Ambiental dos Estados Unidos, em 1969, e impulsionado pela realização do primeiro evento em que países se reuniram para discutir os conflitos existentes entre a preservação ambiental e o crescimento, que foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1972, em Estocolmo.

Dentro desse contexto de desenvolvimento do ambientalismo, no início dos anos 1970, aumentam as análises das interações entre os sistemas industriais e o meio ambiente, revelando a ocorrência de impactos sobre o meio ambiente criados por uma sociedade em que as operações industriais ainda eram consideradas de forma desconectada do meio ambiente (GRAEDEL e ALLENBY, 2010).

A década de 1980 foi, então, marcada pela consolidação das políticas ambientais nos países, pela introdução do conceito de desenvolvimento sustentável e pelas primeiras ideias do que hoje se designa Ecologia Industrial (EI).

A EI surgiu como um campo de pesquisa que busca analisar os fluxos de matéria e energia nos sistemas industriais e propor reestruturações que conduzam a uma otimização do uso dos recursos naturais nos processos produtivos, tomando como base um conjunto de princípios, ferramentas e modelos derivados da ecologia (ARDENTE *et al.*, 2010).

Nos sistemas naturais, o fluxo de energia solar proporciona condições para a síntese de matéria orgânica pelos organismos produtores a partir de substâncias inorgânicas presentes no ambiente, seguido pelo seu aproveitamento e transformação pelos organismos consumidores e, por fim, pela sua decomposição e retorno ao meio através da ação dos organismos decompositores (BRAGA *et al.*, 2002). Tem-se, dessa forma, um processo cíclico, no qual a matéria é continuamente reciclada nos ecossistemas.

Já as conversões de energia nos ecossistemas envolvem dois aspectos, quantidade e qualidade, fundamentados pelo Primeiro e Segundo Princípios da Termodinâmica. Segundo esses princípios, a quantidade total de energia em um sistema se mantém durante suas transformações, enquanto sua qualidade decai. Dessa forma, em um sistema, a quantidade de energia permanece constante, mas a energia útil, isto é, que pode realizar trabalho, reduz. Nos sistemas naturais, toda a energia utilizada tem como fonte as radiações solares, sendo que na medida em que a energia passa de um nível trófico para o seguinte, sua parcela útil reduz-se, tornando-se, por fim, inteiramente inaproveitável.

O principal aspecto em que os sistemas industriais diferem dos ecossistemas biológicos encontra-se no fato de que os ciclos biogeoquímicos são fechados, enquanto, em uma visão convencional, os ciclos industriais consistem em fluxos de materiais nos quais as substâncias de entrada não são recicladas ou o são em pequena proporção (FRAGOMENI, 2005). Os sistemas industriais podem, dessa forma, inspirar-se no modelo natural de ciclagem de matéria e uso em cascata de energia para se tornarem mais sustentáveis (KORHONEN, 2004).

Em uma analogia aos sistemas biológicos, FROSCHE e GALLOPOULOS (1989), dois executivos da empresa General Motors (EUA), autores do artigo “*Strategies for Manufacturing*”, definiram ecossistema industrial como uma comunidade de indústrias co-localizadas ou localizadas em uma mesma região que interagem permutando e fazendo

uso de resíduos, ou seja, uma transformação do modelo tradicional de atividade industrial, no qual a produção é baseada na gestão individual de matérias primas, produtos e resíduos; para um sistema integrado, no qual busca-se a redução do consumo de recursos naturais por meio de sua ciclagem no sistema produtivo, isto é, por meio do aproveitamento dos resíduos e sub-produtos gerados por uma indústria como insumos em outro processo produtivo.

Portanto, tomando como base os sistemas biológicos, a EI concebe os ecossistemas industriais como um conjunto de unidades de produção e consumo no qual os fluxos energéticos e materiais perpassam as unidades tal como nos níveis tróficos de um ecossistema natural (GRAEDEL, 1996). O ecossistema industrial é caracterizado, portanto, como uma cadeia de extratores de matérias-primas do ambiente, transformadores de materiais primários, fabricantes de componentes, montadores de produtos, consumidores de bens e serviços e recicladores (COSTA, 2002), podendo-se estabelecer uma analogia com o sistema produtor-consumidor-decompositor dos ecossistemas naturais que garante que a matéria seja continuamente reciclada nos mesmos.

Assim, sob a ótica da EI, os novos modelos de desenvolvimento industrial devem proporcionar uma visão sistêmica em que as unidades de produção são entendidas como sistemas integrados que buscam promover o fechamento dos ciclos materiais nos sistemas produtivos.

Há três modelos comumente citados na literatura que sintetizam os possíveis estágios de fechamento do ciclo de materiais de um sistema industrial: linear, quase-cíclico e cíclico (GRAEDEL, 1994). No modelo linear, assume-se que o ecossistema possui capacidade ilimitada de produção de recursos e absorção de resíduos. O sistema industrial apresenta forte dependência dos ecossistemas e não são observadas iniciativas para reinserção de resíduos e sub-produtos no sistema produtivo. No modelo quase-cíclico, há um certo grau de reciclagem no sistema industrial, reduzindo o consumo de matéria-prima e a disposição de resíduos. O modelo cíclico, por sua vez, consiste no fechamento do ciclo de materiais no sistema industrial, havendo somente a entrada de energia para sustentar o sistema.

Entretanto, enquanto em um ecossistema natural o processo de fechamento do ciclo de materiais ocorre de forma espontânea, no sistema industrial é necessário gerenciar as atividades das indústrias, alterando-se o processo industrial para que seu funcionamento

seja semelhante ao de um ecossistema natural (VEIGA, 2007). Faz-se necessário identificar formas de integrar diferentes indústrias e processos para promover a ciclagem de materiais no ecossistema industrial (GIBBS e DEUTZ, 2007). Para tal, os conceitos e ferramentas da EI podem ser aplicados em três diferentes níveis: dentro da própria indústria, entre indústrias e em nível regional ou global (CHERTOW, 2000).

Apesar da relevância do nível intra-organizacional, caracterizado pela aplicação de ferramentas voltadas à ecoeficiência dos processos produtivos e à aplicação de princípios de eco-design no projeto dos produtos, boa parte dos esforços da EI são focados no nível inter-organizacional, uma vez que uma perspectiva sistêmica é capaz de revelar ganhos ambientais que não seriam identificados a partir de análises focadas na gestão ambiental individual de uma empresa (LIFSET e GRAEDEL, 2001). No nível inter-organizacional, a SI e os PEI são as ferramentas mais proeminentes, estando baseadas no aproveitamento das sinergias oferecidas pela proximidade geográfica entre empresas (CHERTOW e EHRENFELD, 2012).

O presente capítulo tem por objetivo apresentar uma revisão acerca das principais ferramentas inter-organizacionais da EI. Inicialmente, os conceitos de SI e de PIE são apresentados. Em seguida, algumas experiências internacionais e nacionais de aplicação da EI são descritas. Por fim, a última seção do presente capítulo destina-se à apresentação de análises de caráter mais abrangente que vem sendo realizadas no campo da EI. Recentemente, as pesquisas na área da EI evoluíram de estudos de caso individuais para análises integradas das experiências observadas em diferentes países (BELLANTUONO, 2017), revelando aspectos mais amplos das iniciativas de EI como questões relacionadas à dinâmica de formação das relações de SI, bem como à difusão de diferentes práticas de EI nas experiências observadas ao redor do mundo.

3.1 Simbiose Industrial

A expressão simbiose refere-se à associação entre seres na natureza, que não se relacionavam anteriormente, e passam a permutar materiais, energia ou informações de forma a gerar benefícios mútuos (GRAEDEL e ALLENBY, 2010).

Esse conceito pode ser aplicado a sistemas industriais. Segundo CHERTOW (2000), a SI pode ser definida como o engajamento de diferentes indústrias em uma rede coletiva

na qual a cooperação e o intercâmbio físico de matéria, resíduos, água e energia resultam em vantagens competitivas para os envolvidos.

Ao trabalhar de forma coletiva, as indústrias buscam benefícios maiores do que aqueles que seriam alcançados individualmente. Neste sentido, a SI tem como objetivo central o aumento do desempenho econômico das indústrias, a proteção do meio ambiente e o bem estar da comunidade, uma vez que busca reduzir os danos resultantes dos processos industriais causados ao meio ambiente e à população, além da diminuição dos custos operacionais das indústrias integrantes, por meio do intercâmbio de matéria-prima, água, energia e resíduos (TRAMA, 2014).

Diversas agências governamentais e empresas tem buscado criar sistemas industriais nos quais seja possível negociar sub-produtos entre empresas localizadas em um mesmo parque industrial, em uma mesma vizinhança ou região (BAI *et al.*, 2014; CAROLI *et al.*, 2015; VALENTINE, 2016; KIM, 2017). As empresas participantes esperam negociar recursos anteriormente descartados, reduzindo custos de disposição e potenciais impactos ambientais, além de obter nova fonte de receita. Entretanto, em alguns casos, as empresas temem aderir a esse tipo de projeto devido aos múltiplos contratos requeridos, aos custos transacionais envolvidos e a criação de diversas relações comerciais não associadas ao seu negócio principal.

O conceito de SI tem passado por modificações, nos últimos anos. Além do intercâmbio de resíduos, materiais, água, energia e subprodutos entre diferentes indústrias, a SI passou a contemplar o compartilhamento de utilidades e infra-estrutura (tratamento de efluentes, compartilhamento de armazéns, ambulatorios, auditórios, dentre outros), bem como a provisão conjunta de serviços como poda de vegetação, segurança, limpeza e gerenciamento de resíduos (CHERTOW *et al.*, 2008). Portanto, diferentes tipos de arranjos colaborativos passaram a integrar o escopo da SI: (1) intercâmbio de matéria e energia, (2) compartilhamento de utilidades e infra-estrutura, (3) provisão conjunta de serviços (BOONS *et al.*, 2016).

Cabe ressaltar que a SI pode ocorrer em dois tipos de sistemas indústrias: distritos dominados por um único setor industrial e distritos multi-setoriais (CHERTOW *et al.*, 2008). Empresas de um mesmo setor industrial ou de setores relacionados, frequentemente, necessitam do mesmo tipo de infra-estrutura e serviços, podendo, portanto, se beneficiar de arranjos colaborativos focados na provisão conjunta de

utilidades e serviços. Por sua vez, distritos multi-setoriais, podem se beneficiar do compartilhamento de utilidades e infra-estrutura que não sejam específicos de um setor industrial e, adicionalmente, sua diversidade gera mais oportunidades de intercâmbio de matéria e energia entre as indústrias que o compõem (JENSEN, 2016).

Além desses fatores, há diversos outros aspectos que exercem influência sobre o desenvolvimento de relações de SI, conforme levantamento realizado por MIRATA (2004), apresentado na Tabela 3 a seguir. Os fatores listados evidenciam que a formação de relações de SI é um processo complexo e que depende, fortemente, do contexto em que as indústrias se encontram instaladas (proximidade geográfica, legislação aplicável, políticas governamentais, subsídios, relações prévias de confiança entre as empresas, dentre outros).

Por fim, cabe ressaltar que as relações de SI podem se formar de maneira planejada ou espontânea (CHERTOW, 2007). Para a formação de relações planejadas, caso tipicamente observado em PIES, são realizados esforços para identificar empresas de diferentes setores e para estimulá-las a se instalar em uma mesma área industrial, de forma a facilitar o estabelecimento de relações de simbiose industrial entre as mesmas. Trata-se de modelo baseado no planejamento e na atuação, muitas vezes, de um agente central constituído por atores responsáveis por coordenar o processo. No caso espontâneo, as relações de simbiose industrial emergem naturalmente entre atores do setor privado motivados por objetivos como redução de custos, aumento do lucro ou expansão dos negócios. Nos estágios iniciais, as empresas envolvidas na SI, muitas vezes, não têm consciência de estarem participando de relações dessa natureza, tão pouco de que fazem parte de um ecossistema industrial. Entretanto, essa consciência pode surgir com o passar do tempo e com o estabelecimento de novas relações, a partir do momento em que se obtém sucesso com as primeiras iniciativas. Estudos recentes têm investigado a dinâmica de formação de relações de SI, a partir da análise de diferentes experiências observadas no mundo, conforme será detalhado no item 3.4.

Tabela 3. Fatores que influenciam o desenvolvimento de relações de SI.

Dimensão	Características do fator
Técnica	<ul style="list-style-type: none">• Atributos físicos, químicos e locacionais dos insumos e dos resíduos gerados pelas empresas;• Necessidades das indústrias relacionadas a utilidades e serviços (água, efluentes, gerenciamento de resíduos, etc);• Disponibilidade de tecnologias confiáveis e viáveis para o aproveitamento de sinergias existentes entre empresas;• Número e diversidade de oportunidades de simbiose.
Política	<ul style="list-style-type: none">• Políticas ambientais que encorajem iniciativas de simbiose industrial;• Leis e regulamentos;• Subsídios, taxas, crédito.
Econômica	<ul style="list-style-type: none">• Custos dos insumos e valor dos resíduos e sub-produtos (fatores com impacto direto sobre a potencial vantagem competitiva a ser adquirida com a SI);• Custos evitados, potenciais rendimentos, investimento necessário, tempo de retorno do investimento, valor presente líquido e outros parâmetros que influenciam o processo de tomada de decisão das empresas quanto à implementação de projetos de SI;• Ganhos sociais, econômicos e ambientais que as sinergias podem gerar.
Informação	<ul style="list-style-type: none">• Resistência ao compartilhamento de informações necessárias para a criação de projetos de SI;• Disponibilidade de informações confiáveis.
Organizacional e motivacional	<ul style="list-style-type: none">• Confiança;• Abertura a novas idéias;• Percepção de risco;• Nível de interação pré-existente entre as indústrias e natureza das relações existentes;• Poder de decisão do corpo gerencial local;• Histórico organizacional.

Fonte: Adaptado de MIRATA (2004).

3.2 Parques Industriais Ecológicos

Em 1993, o termo “Eco Parque Industrial” foi utilizado oficialmente, pela primeira vez, em nível internacional, por uma equipe de especialistas denominada *Indigo Development*, da Universidade de Dalhousie, no Canadá, e da Universidade de Cornell, nos EUA (TRAMA, 2014). O conceito passou a ser difundido a partir de uma parceria estabelecida com a *US Environmental Protection Agency* (USEPA), agência de controle ambiental americana, e com o *Research Triangle Institute* (LOWE, 2001).

Segundo a USEPA (1996) apud VEIGA (2007), o PIE consiste em uma comunidade de empresas de serviço e manufatura que buscam um melhor desempenho ambiental, econômico e social através de parcerias, cooperação e integração entre os atores envolvidos. A cooperação pode ocorrer na gestão integrada de resíduos, co-geração de energia, intercâmbio de tecnologias, intercâmbio de infraestrutura, intercâmbio de serviços, entre outros. A integração ocorre entre as indústrias, entre estas e a comunidade e entre as indústrias, comunidade e o meio-ambiente.

A literatura internacional apresenta diferentes tipologias de PIE. LOWE (2001) distingue os PIEs virtuais e os PIEs co-localizados. No PIE virtual, as sinergias podem ocorrer entre indústrias independentes, que existem isoladamente, entre indústrias localizadas em distritos industriais ou mesmo entre indústrias localizadas em diferentes PIEs. Neste sentido, o PIE virtual oferece grande possibilidade de sinergias entre as indústrias, pois a área de abrangência é extensa e há diversos atores envolvidos. O PIE co-localizado é caracterizado por indústrias localizadas em agrupamentos industriais numa determinada área geográfica, onde a maior proximidade entre as indústrias permite o aproveitamento de sinergias e aumenta as oportunidades de integração e a cooperação entre os envolvidos. Esse tipo de PIE pode ser desenvolvido em *brownfield*, ou seja, em um distrito industrial abandonado, ou mesmo, em um distrito industrial em funcionamento, onde as indústrias estão em operação e algum tipo de relação já existe entre elas; ou ser planejado em um *greenfield*, área onde não existe qualquer intervenção econômica e, por isso, o PIE é implementado do zero.

A literatura aponta a reutilização de uma área já degradada como uma das vantagens da implantação de um PIE em *brownfield* (GERTLER, 1995), sendo que esta representa, muitas vezes, uma solução para a revitalização de tais áreas, atração de novos negócios e criação de comunidades saudáveis (VEIGA e MAGRINI, 2010). Por sua vez, a possibilidade de planejar desde o início os possíveis intercâmbios entre as indústrias, posicioná-las em um arranjo que otimize o fluxo de materiais e energia, bem como a maior pré-disposição das indústrias que ali se instalam a cooperar e agir de forma integrada, uma vez que as diretrizes e princípios do PIE já foram consideradas na tomada de decisão quanto à alternativa locacional da indústria, são algumas das vantagens apontadas quanto à implantação de um PIE em *greenfield*.

Atualmente, os PIE são reconhecidos como o modelo referencial para implementação de ferramentas e conceitos da EI em nível local (TADDEO, 2016), sendo o aumento do

número de PIEs no mundo reconhecido como uma tendência da nova realidade industrial (SHI *et al.*, 2010). A implementação de PIEs almeja o alcance de benefícios, dentre os quais pode-se destacar, no âmbito industrial, a redução dos custos de produção por meio do maior fluxo de materiais, da melhor eficiência energética e da reciclagem de resíduos, o que possibilita que os empreendimentos que formam o PIE fabriquem produtos mais competitivos devido ao aumento de eficiência do processo produtivo (TRAMA, 2014). Além disso, os custos incorridos com infraestrutura, pesquisa e desenvolvimento, bem como com a manutenção de sofisticados sistemas de informação podem ser divididos entre as empresas que integram o PIE, resultando também em maior eficiência econômica. Na esfera ambiental, além da redução da poluição e da minimização da demanda por recursos naturais, tem-se a possibilidade de aplicação de abordagens inovadoras de gestão ambiental cooperativa, bem como a possibilidade de desenvolvimento de programas ambientais integrados. No campo social, as comunidades podem beneficiar-se com a criação de novos empregos em plantas industriais mais limpas, com o surgimento de novos negócios e com a capacitação de recursos humanos locais.

No entanto, apesar do grande número de benefícios identificados, também se tem apontado diversos riscos e limitações relacionados à implementação e operação dos PIEs, indo desde potenciais vulnerabilidades do sistema a flutuações relacionadas à demanda por materiais até dificuldades associadas ao engajamento dos diferentes atores envolvidos e falhas de comunicação (TUDOR *et al.*, 2007; LI *et al.*, 2017).

3.3 Algumas experiências da Ecologia Industrial

Desde o artigo de FROSCHE e GALLOPOULOS (1989) que enunciou o conceito de ecossistema industrial, inúmeras iniciativas com o intuito de formar sistemas industriais alinhados a tal conceito foram implantadas no mundo, de forma planejada ou espontaneamente.

A Europa revelou-se como berço de iniciativas que vão desde relações de SI espontâneas, como o icônico caso de Kalundborg, tido como um dos casos de aplicação da EI mais bem sucedidos no mundo, até modelos planejados por associações industriais, como o caso do Porto de Rotterdam e complexo industrial associado, ou por governos, como se observa no Reino Unido.

Na Ásia, as aplicações da EI tem surgido, principalmente, a partir de programas governamentais como o Programa Eco-Town, no Japão, e os Programas Nacionais de Parques Industriais Ecológicos chinês e coreano. Apesar de possuírem características distintas, todos apresentam forte participação governamental, tanto no financiamento de projetos de SI pré-selecionados, como na escolha de antigos distritos industriais para serem pilotos de PIEs.

Na América, os Estados Unidos também tem apresentado iniciativas derivadas de programas governamentais, muitas das quais não alcançaram os resultados almejados. Ainda assim, há PIEs bem sucedidos nos Estados Unidos, assim como no Canadá. No Brasil, algumas iniciativas tem enfrentado inúmeras dificuldades, principalmente, com o fim de programas governamentais de incentivo.

Na sequência, são apresentadas algumas experiências internacionais e nacionais de aplicação da EI no mundo.

3.3.1 Experiências internacionais

Em âmbito internacional, há experiências de aplicação de conceitos e instrumentos da EI em diversos países, nos diferentes continentes. Devido a questões contextuais, tais aplicações foram motivadas por diferentes fatores, que levaram a diferentes configurações e alcançaram diferentes resultados. Um panorama geral da diversidade das aplicações da EI é apresentado a seguir, por meio da discussão de algumas experiências na Europa, na América do Norte e na Ásia.

3.3.1.1 Europa

Iniciativas de SI podem ser observadas em diversos países europeus. Os processos que levaram à formação de tais iniciativas, as características das relações formadas e os resultados alcançados variam caso-a-caso.

A rede de SI observada em Kalundborg, Dinamarca, por exemplo, consiste em um exemplo concreto do conceito de ecossistema industrial proposto por FROSCH e GALLOPOULOS (1989). Caracterizada por intensa troca de sub-produtos, resíduos, água

e energia entre diversas empresas co-localizadas no mesmo município, a rede de simbiose industrial de Kalundborg evoluiu ao longo de décadas aproximando-se do modelo teórico proposto por esses autores.

Kalundborg é reconhecida, mundialmente, pelos resultados alcançados, pela durabilidade das relações estabelecidas e pela sua dinâmica de formação, marcada pela auto-organização e pela constante expansão. Durante décadas as relações de simbiose foram estabelecidas espontaneamente entre os atores industriais sem a existência de um plano ou programa para a formação de uma rede de simbiose (BOONS *et al.*, 2016).

O primeiro projeto de cooperação na região ocorreu em 1961, quando a partir de um acordo firmado entre o governo municipal e uma refinaria de petróleo, foi construído um duto para transportar água do Lago Tisso para a refinaria. Uma década depois, em 1972, uma parceria entre a refinaria de petróleo e uma empresa de gesso resultou na construção de um duto para levar o gás, até então queimado na tocha da refinaria, para a empresa de gesso, onde este passou a ser empregado para secar as placas de gesso produzidas (VALENTINE, 2016). Posteriormente, o duto de água que abastecia a refinaria de petróleo, a partir do Lago Tisso, foi estendido até uma planta de geração de energia à carvão, permitindo que a mesma passasse a reutilizar a água de resfriamento da refinaria em seus processos. As parcerias continuaram a se formar ao longo dos anos, de forma que, ao final da década de 80, quando a rede de simbiose industrial de Kalundborg foi reconhecida e descrita internacionalmente (CHERTOW, 2007; VALENTINE, 2016), já existiam 12 relações de intercâmbio de matéria ou energia entre empresas instaladas na região.

Em 1996, a câmara de comércio de Kalundborg coordenou a formação do *Kalundborg Symbiosis Center*, projeto financiado pelas empresas envolvidas nas relações de simbiose, no qual um comitê composto por representantes das empresas foi formado com objetivo de estimular o desenvolvimento de novas relações de simbiose (SAIKKU, 2006).

Atualmente, após quatro décadas do início das iniciativas de simbiose em Kalundborg, aproximadamente, 30 relações de troca de matéria e energia encontram-se estabelecidas na região (KALUNDBORG SYMBIOSIS, 2017). As relações de cooperação envolvem não apenas indústrias, mas também o governo municipal.

Anualmente, aproximadamente, 2,9 milhões de toneladas de resíduos e sub-produtos gerados em Kalundborg são empregados como insumos em processos produtivos de empresas da região (SAIKKU, 2006). Dentre os resultados alcançados, destaca-se também a redução em cerca de 25% do consumo de água pelas indústrias instaladas (CAROLI *et al.*, 2015).

Kalundborg foi uma das primeiras redes de SI espontânea identificada na Europa. A partir da experiência de Kalundborg, pesquisadores passaram a investigar a existência de outros ecossistemas industriais similares (CHERTOW, 2007). Na década de 90, SCHWARZ e STEININGER (1997), estudando a província de Styria na Áustria, identificaram uma rede de SI, formada espontaneamente, marcada por grande diversidade e complexidade. A rede de SI de Styria é formada por mais de 50 indústrias de setores como alimentação, plástico, papel, energia, metais, processamento de madeira, materiais de construção civil, além de diversos recicladores e empresas de tratamento de resíduos (SAIKKU, 2006). Os fluxos de materiais entre as empresas compreendem, principalmente, materiais recicláveis como papel, plástico, sucata metálica, óleo usado, pneus e outros sub-produtos. Essa característica levou a rede eco-industrial formada em Styria a ser denominada de rede industrial de reciclagem.

Diferentemente de Kalundborg, em Styria, não há um agente central que estimule a formação de novas relações de simbiose e atue na gestão do parque. Os retornos econômicos advindos da venda dos sub-produtos e os custos evitados relacionados à disposição em aterros são as principais motivações para a formação das relações de simbiose entre as empresas (SAIKKU, 2006).

O conceito de redes industriais de reciclagem e os resultados obtidos em Styria levaram à criação de projetos focados na disseminação de informações sobre oportunidades de reciclagem, visando fomentar o aproveitamento de tais oportunidades e formar redes de reciclagem regionais (CHERTOW, 2007). O *Protection of Resources in the Region of Oldenburger Münsterland (RIDROM)*, no norte da Alemanha, financiado pela *German Federal Foundation of the Environment* em parceria com outras duas instituições, por exemplo, promoveu o intercâmbio de informações e o estudo de oportunidades de reciclagem no norte da Alemanha no final da década de 90 (MILCHRAHM e HASLER, 2002). O mix de indústrias envolvidas no projeto abrangia os setores de processamento de plástico, borracha, metal, madeira, além de indústrias dos setores de alimentação, agricultura, materiais de construção e químicos. Com isso, criou-

se um *portfolio* de oportunidades de reciclagem envolvendo uma ampla gama de resíduos e subprodutos.

Outro exemplo de programa desenvolvido na Europa, com dinâmica similar à mencionada, é o *National Industrial Symbiosis Program (NISP)*, coordenado pelo *Business Council for Sustainable Development (BCSD)*, no Reino Unido. Assim como o projeto alemão, o NISP trata-se de um exemplo de programa em que uma terceira parte assume o papel de agente catalizador da formação de relações de SI. Nesse modelo, coordenadores regionais do programa organizavam fóruns para facilitar a comunicação e a identificação de oportunidades de simbiose entre atores industriais, fornecendo assistência para sua implementação e monitoramento de atividades e resultados (MIRATA, 2004).

O NISP surgiu a partir da experiência de três programas regionais desenvolvidos no Reino Unido, nas regiões de Humber (próxima à costa leste), West Midlands (à nordeste de Londres) e Mersey Banks (na região nordeste da Inglaterra). Embora os três programas tenham identificado oportunidades de sinergia entre as empresas instaladas nas suas regiões de atuação, todos enfrentaram dificuldades de implementação e o número de relações de SI efetivamente estabelecidas nos primeiros anos dos programas foi pequeno (MIRATA, 2004). Entretanto, a experiência obtida com os mesmos gerou diretrizes relevantes para atuação de organismos coordenadores de programas de simbiose industrial, principalmente, no que diz respeito às dificuldades enfrentadas para o engajamento de atores regionais nessas redes.

As maiores dificuldades relacionados ao engajamento dos atores industriais foi observado no programa de Humber no qual três fatores dificultaram o processo: (i) a presença de empresas vinculadas a grandes grupos multinacionais, nas quais a tomada de decisão quanto à participação nos programas de simbiose industrial não era de competência do corpo gerencial local; (ii) a presença de empresas do mesmo setor, nas quais não havia interesse em estabelecer contato ou cooperação com concorrentes; (iii) a escolha de um organismo coordenador recém estabelecido na região e, portanto, ainda sem vínculos formados com as empresas locais.

A partir das experiências regionais, o BCSD lançou o NISP, sob a forma de um programa guarda-chuva, interligado aos demais programas regionais em curso no Reino Unido, com a função de facilitar a troca de informações entre os mesmos, desenvolver

ferramentas e metodologias para esses, monitorar os resultados alcançados e analisar criticamente os benefícios gerados. Em 2005, o governo britânico tornou-se parceiro do NISP, caracterizando uma parceria público-privada (LAYBOURN e MORRISSEY, 2009) que se tornou referência na União Européia para o gerenciamento de resíduos (COSTA *et al.*, 2010). A parceria foi finalizada em 2014, ano a partir do qual a iniciativa voltou a ser exclusivamente privada (WRAP, 2017).

Conforme já mencionado, programas como o NISP catalisam a formação de redes de SI a partir da atuação de uma terceira parte. Um nível mais profundo de dinâmica facilitada por uma terceira parte corresponde àquele em que a terceira parte assume um papel que vai além de facilitador de troca de informações que tornam o mercado de intercâmbio de sub-produtos mais transparente, mas busca iniciar e manter processos de aprendizado e troca de conhecimento entre empresas como, por exemplo, o programa *Industrial EcoSystem (INES)*, desenvolvido no porto de Rotterdam e complexo industrial associado, pela associação industrial Deltalinqs (BAAS e BOONS, 2004). A Deltalinqs atuava como fornecedora de serviços coletivos na área, bem como coordenadora de iniciativas de EI entre os atores da região.

BAAS e HUISINGH (2008) dividem a história do programa INES em quatro fases. Inicialmente, no período de 1991 a 1994, a Deltalinqs estimulou a implementação de sistemas de gestão ambiental nas 70 empresas associadas, promovendo uma série de *workshops* por meio dos quais as empresas trocavam experiências quanto aos sistemas de gestão ambiental em implementação. Na segunda fase do programa, compreendida entre 1994 e 1997, a partir de um *workshop* inicial, no qual dois representantes de Kalundborg apresentaram a experiência dinamarquesa, deu-se início a um diagnóstico para identificação dos insumos, produtos e resíduos gerados pelas empresas associadas à Deltalinqs, visando identificar oportunidades de sinergia entre as mesmas. Na terceira fase do programa, compreendida entre 1999 – 2002, a Deltalinqs levantou fundos para implementação e suporte de iniciativas de SI, tendo empregado os dados levantados na fase anterior para avaliar questões relacionadas à água, energia, compartilhamento de utilidades, gerenciamento de resíduos e logística na área do porto de Rotterdam e distrito industrial associado. Por fim, a quarta fase do programa (2003 – 2010) teve como objetivo o desenvolvimento de uma região sustentável. O programa desenvolvido pela Deltalinqs resultou em projetos de SI que não se limitam às indústrias como, por exemplo, o uso de calor exausto da área industrial para aquecimento de áreas residenciais.

Além das iniciativas mencionadas, cabe destacar ainda as experiências relacionadas a alguns PIEs situados na Alemanha, Finlândia e Itália, devido a suas características particulares. Na Alemanha, o Value Park foi fundado em 1998 pela Dow Olenfinverbund GmbH (empresa multinacional de químicos e plásticos). A Dow atua como empresa âncora, atraindo outras empresas para o parque, que tem como objetivo central formar uma rede de fornecedores, investidores e provedores de serviços relacionados às atividades da empresa âncora que possam se beneficiar do compartilhamento de serviços e infraestrutura, bem como de outras sinergias propiciadas pela proximidade geográfica (CAROLI *et al.*, 2015). A rede inter-organizacional formada no parque abrange a Dow e outras 13 empresas. Uma dessas empresas fornece matéria-prima para a Dow, seis empresas utilizam os produtos fornecidos pela Dow em seus processos produtivos, cinco empresas são prestadores de serviços relacionadas às demais e uma realiza atividades de pesquisa (LIWARSKA-BIZUKOJC *et al.*, 2009). As empresas instaladas ou interessadas em se instalar no parque tem acesso a diversas infra-estruturas existentes no parque (planta de tratamento de efluentes, duas centrais de reciclagem de resíduos, armazém, fornecimento de energia a partir de uma planta de geração de energia instalada no parque) e a serviços como tratamento de efluentes, tratamento de alguns tipos de resíduos, análises laboratoriais e armazenamento de produtos (CAROLI *et al.*, 2015). Trata-se, portanto, de um PIE com grande ênfase no compartilhamento de infra-estrutura e serviços.

Com relação às iniciativas finlandesas, cabe destacar que dois terços da área da Finlândia são cobertos por florestas, o que levou o país a desenvolver uma indústria fortemente relacionado ao aproveitamento de produtos florestais, em torno das quais alguns PIEs se formaram espontaneamente no país (SAIKKU, 2006). Como exemplo, pode-se citar o Parque Industrial de Uimaharju, no leste da Finlândia, que se desenvolveu espontaneamente a partir de um distrito industrial instalado na região na década de 50, no qual inicialmente haviam apenas serrarias. Na década de 60, uma planta de geração de energia se instalou no distrito e passou a aproveitar os resíduos das serrarias para a geração de energia. Além disso, alguns resíduos das serrarias passaram a ser empregados como insumo em uma planta de celulose recém instalada no parque e resíduos da planta de celulose passaram a ser encaminhados para a planta de geração de energia. Na década de 90, novos atores se instalaram no parque: uma planta de tratamento de efluentes e uma planta para tratamento de cinzas. Os efluentes gerados na planta de celulose passaram a ser tratados na estação de tratamento de efluentes, juntamente, com os efluentes

municipais. Já as cinzas geradas pela planta de geração de energia passaram a ser tratadas e empregadas como fertilizante nas florestas locais.

Por fim, é preciso mencionar uma iniciativa italiana. O Parque Ambiental de Torino, fundado em 1996, na região de Piedmont, destaca-se por ser um parque voltado para a ciência e tecnologia, que busca combinar inovação e eco-eficiência por meio de parcerias entre setor público e privado (CAROLI *et al.*, 2015). As fontes de energia do parque são renováveis, armazéns e centros logísticos podem ser compartilhados pelas empresas e três centros de pesquisa relacionados a eficiência energética, edificações e transporte sustentável estão instalados no parque.

Cabe destacar que, na Itália, em 1998, foi promulgado um decreto (Decreto Legislativo nº 112/1998) que criou as chamadas Áreas Industriais Ecológicas Equipadas que consistem em distritos industriais caracterizados por: (i) compartilhamento de áreas e infra-estruturas voltadas para a proteção ambiental (centrais de armazenamento de resíduos, estações de tratamento de efluentes, dentre outros); (ii) existência de um corpo gerencial responsável pela administração do distrito como um todo; (iii) simplificações administrativas para as empresas como dispensa de obtenção de licenças individuais para utilizar a infra-estrutura e os serviços comuns oferecidos pelo distrito (TADDEO, 2016). O decreto legislativo mencionado corresponde a uma tentativa de estimular a conversão de antigos distritos industriais em áreas com iniciativas derivadas do modelo dos PIEs. Nove das vinte regiões italianas já incorporaram o modelo de Áreas Industriais Ecológicas Equipadas, entretanto, duas décadas após a promulgação do decreto, o modelo ainda não se encontra plenamente implantado nos distritos industriais italianos, sendo que as principais barreiras encontradas referem-se ao longo tempo de retorno do investimento necessário, aos limites regulatório relacionados ao intercâmbio de resíduos e ao fato de as relações e iniciativas não se darem de forma espontânea, o que exige um esforço para o engajamento de interessados (TADDEO, 2016).

As experiências europeias apresentadas ao longo dessa seção indicam que o processo de formação de relações de SI, seja ele espontâneo ou planejado, é complexo. Pode-se concluir que este processo é marcado por:

- (i) longa duração: as relações de SI em uma dada região vão se formando ao longo de décadas, mesmo nos casos planejados;

- (ii) forte influência do mix de indústrias presente na região: a presença de um indústria âncora, por exemplo, leva à formação de relações de simbiose focadas no negócio dessa empresa, em seus insumos e sub-produtos (Value Park); a predominância de um setor industrial em uma área conduz à instalação de empresas que possam aproveitar seus resíduos (Parque Industrial de Uimaharju); determinados mix de empresas podem dificultar a implementação de programas regionais de SI por questões relacionadas aos seus concorrentes ou por questões organizacionais relacionadas à tomada de decisão (Programa de Simbiose Industrial de Humber).

3.3.1.2 América do Norte

Estudos realizados há cerca de uma década atrás (GIBBS e DEUTZ, 2004; GIBBS e DEUTZ, 2007; CHERTOW, 2007) revelaram que a maior parte das iniciativas relacionadas à implementação de PIEs nos Estados Unidos enfrentaram dificuldades, não apresentando, em seus estágios iniciais de desenvolvimento, práticas da EI como a operacionalização de relações de intercâmbio de resíduos e sub-produtos entre as empresas envolvidas.

CHERTOW (2007) investigou a situação de quatorze PIEs norte-americanos, dentre os quais encontravam-se quatro PIEs que foram designados pelo Conselho do Presidente sobre Desenvolvimento Sustentável (PCSD – governo Clinton) como modelos (projetos piloto): Baltimore, Maryland; Cape Charles, Virginia; Brownsville, Texas; Chattanooga, Tennessee.

Dentre os quatorze PIEs investigados, a autora constatou que cinco projetos não foram levados à diante. Os PIEs de Brownsville, Chattanooga e Plattsburgh se transformaram em distritos industriais convencionais. O PIE de Baltimore encontrava-se em operação, porém não mais adotava os conceitos de EI, e o PIE de Cape Charles encontrava-se fechado. Um dos PIE investigado (East-Bay Eco-Industrial Park) continuava em estágio de planejamento apesar de ter tido seu conceito alterado. Dois projetos encontravam-se em operação, porém com conceitos alterados (não mais poderiam ser considerados como PIEs) e um PIE encontrava-se em operação porém com situação incerta.

Apesar das dificuldades enfrentadas por diversos PIEs norte-americanos, há casos bem-sucedidos. Atualmente, o PIE de Devens, fundado em 2005, em Massachusetts, é considerado como o PIE mais bem-sucedido nos Estados Unidos (CAROLI *et al.*, 2015). A área do parque foi, no passado, base do exército americano, tendo sido convertida em PIE, após o fechamento da base, com o objetivo de transformar as atividades industriais locais em um ecossistema industrial e atrair novas empresas para a região.

A Devens Enterprises Commission (DEC) realiza a gestão do PIE, tendo desenvolvido um programa denominado EcoStar para reduzir os impactos ambientais, promover a eco-eficiência e disseminar práticas sustentáveis. Atualmente, vinte e oito organizações estão envolvidas no PIE de Devens, dentre pequenas e médias empresas, instituições sem fins lucrativos, centros de pesquisa e instituições públicas. Dentre a infra-estrutura presente no parque, destaca-se uma planta de tratamento de efluentes, um incinerador industrial, uma planta de reciclagem de papel, vidro, plástico e outros materiais, e três plantas de geração de energia.

Buscando aproveitar as experiências norte-americanas para extrair algumas diretrizes para os modelos e políticas de implementação de PIEs, em uma análise comparativa entre os PIEs dos Estados Unidos e da Holanda, HEERES *et al.* (2004) constataram que, nos PIEs holandeses, o desenvolvimento inicial foi focado em projetos de prevenção da poluição e no compartilhamento de infra-estrutura e serviços (tratamento conjunto de efluentes, gerenciamento de resíduos, por exemplo), o que encorajou o envolvimento das empresas por tratarem-se de projetos de baixo custo e risco. A partir desses projetos iniciais, as empresas se motivaram a participar de iniciativas inter-organizacionais de maior complexidade como, por exemplo, iniciativas envolvendo projetos de intercâmbio de resíduos.

Um outro caso de PIE bem-sucedido localizado na América do Norte encontra-se no Canadá. Trata-se do Parque Industrial Ecológico de Burnside, fundado em 1967, e selecionado em 1992 como uma área piloto para aplicação de princípios, estratégias e práticas para conversão em um ecossistema industrial (LIU *et al.*, 2016). O PEI de Burnside corresponde à maior área industrial do Canadá, com 2.500 hectares e com a presença de diversos setores industriais, os quais utilizam grande variedade de insumos em seus processos produtivos e geram vários resíduos.

Em 1998, foi criado o Centro de Eco-Eficiência de Burnside por meio de uma parceria entre a Universidade de Dalhousie e a empresa Nova Scotia Power Inc., com apoio das agências de desenvolvimento econômico e de meio ambiente de Halifax, da província de Nova Scotia e do governo federal. O Centro de Eco-Eficiência de Burnside presta diversos serviços às empresas localizadas no PIE, visando aumentar a eco-eficiência das empresas individualmente e encorajar o aproveitamento de sinergias entre empresas distintas. Avaliações dos processos das empresas focadas em oportunidades para aumentar a eco-eficiência e a realização de *workshops* de prevenção da poluição são alguns dos serviços prestados pelo Centro que facilitam a identificação de oportunidades de formação de relações de simbiose industrial entre as empresas locais.

Os dois PIE bem-sucedidos na América do Norte citados anteriormente apresentam uma característica em comum que consiste na atuação de um agente que fomenta a melhoria do desempenho ambiental das empresas instaladas nos PIEs e a formação de relações de simbiose entre as mesmas.

3.3.1.3 Ásia

Nesse item, são apresentados três programas governamentais para a implementação de iniciativas de EI na Ásia: o Programa Nacional de Demonstração de Parques Industriais Ecológicos na China, o Programa de Parques Industriais Ecológicos na Coreia do Sul e o Programa Eco-Town no Japão. Os programas, apesar de serem todos governamentais, apresentam especificidades que os diferenciam e que influenciam seus resultados, conforme apresentado a seguir.

Os tomadores de decisão chineses foram expostos pela primeira vez ao conceito de PIE, em 1997, por meio da publicação em chinês de um guia sobre gerenciamento ambiental em distritos industriais (*Industry and Environment*) elaborado pelo Programa das Nações Unidas (SHI *et al.*, 2010). Devido aos ganhos econômicos e ambientais embutidos no conceito dos PIEs, os formuladores das políticas públicas ambientais chinesas se interessaram pelo modelo e, com isso, a Secretaria de Proteção Ambiental (SEPA), posteriormente transformada em Ministério de Proteção Ambiental, lançou um programa de PIEs em 2001, denominado *National Demonstration Eco-Industrial Parks in China*. Esse programa possui um conjunto de indicadores e metas de desempenho, forte

suporte governamental, bem como regulamento e estrutura bem definidos (BAI *et al.*, 2014).

O primeiro projeto de PIE na China se deu em Guigang, que se tornou um caso de sucesso através do estabelecimento de diversas relações de SI entre as empresas existentes, visando a redução da poluição e dos custos de disposição, bem como a geração de receita (QU *et al.*, 2014). A partir do sucesso obtido com esse primeiro parque industrial, bem como devido à necessidade de reverter a situação de diversos distritos industriais que haviam se transformado em zonas de concentração de poluição, muitos outros distritos como, por exemplo, Tianjin Economic-Technological Development Area (TEDA), Dalian Economic and Technological Development Zone (DETDZ) e Suzhou Industrial Park foram convertidos em PIEs com o suporte da SEPA. A maioria dos PIEs da China são antigos distritos industriais.

Segundo BAI *et al.* (2014), após a aprovação do primeiro PIE (Guigang), o Ministério de Proteção Ambiental publicou, em 2003, o documento “*Application, Nomination and Management of National Demonstration EIPs*” padronizando o projeto dos PIEs na China. O documento possui regras e procedimentos para orientar os distritos industriais no processo de submissão do requerimento para transformação em PIE, princípios de gestão, entre outros.

Devido à complexidade dos projetos dos PIEs, que envolvem aspectos como infraestrutura industrial e inovação tecnológica, a gestão do Programa Nacional passou a envolver três ministérios do governo: Ministério de Proteção Ambiental, Ministério do Comércio e Ministério de Ciência e Tecnologia (BAI *et al.*, 2014). Em 2007, esses ministérios criaram um grupo de trabalho que ficou encarregado do programa na China.

BAI *et al.* (2014) descrevem o processo de funcionamento do Programa *National Demonstration Eco-Industrial Parks in China*. Inicialmente, o distrito industrial que pretende submeter seu requerimento para conversão em PIE deve comprovar o atendimento a certos requisitos como: atendimento às legislações nacionais e locais; ausência de acidentes ambientais nos últimos anos; Avaliação Ambiental Regional elaborada ou em elaboração; Sistema de Gestão Ambiental implementado ou em implementação, dentre outros requisitos. Se o distrito atender aos requisitos mínimos necessários, o requerimento para implementação do PIE é aprovado pelo grupo de trabalho responsável pelo Programa Nacional. Assim que o requerimento é aprovado, o

distrito industrial deve apresentar um plano para construção. Em geral, esse plano é complementado por contribuições de instituições acadêmicas e de pesquisa. Quando o plano é concluído, o mesmo é auditado por um painel de especialistas do grupo de trabalho responsável pelo Programa Nacional. Se o plano é aprovado na auditoria, o distrito industrial requerente é nomeado “PIE em construção”. Um “PIE em construção” deve desenvolver as atividades planejadas durante os anos que se seguem à sua nomeação (3 a 5 anos). Ao alcançar certos critérios, o PIE pode submeter um requerimento para certificação oficial. O grupo de trabalho encarregado do Programa Nacional avalia a documentação do PIE e realiza uma inspeção. Normalmente, o grupo de trabalho avalia um conjunto de indicadores de desempenho padrão, conforme TIAN *et al.* (2014). Uma vez aprovado, o distrito industrial será oficialmente reconhecido como PIE.

Em resumo, o programa nacional chinês compreende as etapas de submissão, planejamento, implantação, análise de performance, certificação e re-avaliação de performance a cada três anos (TIAN *et al.*, 2014).

Em abril de 2014, já existiam na China 85 PIEs de nível nacional, dos quais 59 encontravam-se em construção e 26 aprovados (QU *et al.*, 2014). Além dos PIEs nacionais, existem também, na China, PIEs provinciais e municipais.

BAI *et al.* (2014) analisaram dados de 33 PIEs em diferentes regiões econômicas da China. A partir dos dados analisados, os autores discutem fatores que podem afetar o progresso e desempenho dos PIEs. Inicialmente, enfatizam que aspectos relacionados ao estabelecimento de políticas e regulamentações contribuem para diferentes resultados quanto à implementação de um PIE. Os autores observaram que, em províncias chinesas nas quais foram implementados regulamentos e grupos de trabalho provinciais após a publicação das referências nacionais, a quantidade de PIEs implementados foi bastante superior a outras regiões. O desempenho dos PIEs quanto ao lançamento de efluentes e de emissões também foi avaliado pelos autores. Os resultados demonstraram que esses fatores dependem fortemente das tipologias industriais presentes no PIE. Com relação à reciclagem e ao reuso de resíduos, os autores constataram que em regiões nas quais a disponibilidade de terras para aterros industriais é restrita, a reciclagem e reuso apresentam índices mais elevados.

Outros estudos recentes têm buscado avaliar os benefícios trazidos pela implementação dos PIEs na China, visando contribuir para aprimorar e ampliar o

Programa Nacional chinês, uma vez que a divulgação dos benefícios pode contribuir para atrair mais distritos industriais para o programa. TIAN *et al.* (2014) constataram que o valor adicionado dos PIEs chineses cresceu cerca de 47% no período analisado (2005 – 2010). Os autores também verificaram que houve um crescimento significativo do setor terciário nos PIEs chineses nesse período. Além disso, o número de empregos, a produtividade por empregado e a produtividade da terra aumentaram no período de estudo. Nesse período, a intensidade do consumo de energia (consumo em tonelada equivalente de carvão por unidade monetária), a intensidade do consumo de água e a intensidade do consumo de recursos naturais diminuiu. No entanto, o consumo de água, a geração de resíduos e o lançamento de efluentes ainda tem espaço para serem reduzidos. Os autores também identificaram importantes relações de SI em diversos PIEs chineses e, por fim, citam vários exemplos de compartilhamento de infraestrutura e utilidades.

BAI *et al.* (2014), a partir de ampla pesquisa na literatura, concluem que os principais fatores que influenciam o progresso dos PIEs são: estabelecimento de SI, benefícios econômicos, compartilhamento de utilidades e informações, política e regulamentações.

Um contraponto importante é realizado no trabalho de ZHANG *et al.* (2010). Os autores apontam alguns aspectos que tem dificultado o progresso do programa de PIEs na China. Dentre esses, destacam-se: o sistema de indicadores adotado pelo programa não considera a diversidade geográfica e os diferentes níveis de desenvolvimento em que se encontram os PIEs; a ausência de linhas de financiamento para a construção de alguns projetos nos PIEs inviabiliza alguns desses; há grande foco no estabelecimento de um fluxo circular de matéria nos parques, em detrimento de ações para redução da geração de resíduos e redução do consumo de materiais. Os autores também informam que além do *National Demonstration Eco-Industrial Parks in China* há também um outro programa denominado *National Pilot Circular Economy Program* que também estimula o desenvolvimento de PIEs, o que por vezes causa problemas de entendimento devido aos objetivos e regulamentos diferenciados de cada um desses programas.

Outro país asiático no qual o governo criou um programa para estimular a formação de PIEs foi a Coreia do Sul. O Programa Nacional de Parques Industriais Ecológicos foi lançado na Coreia do Sul, em 2003, pelo Centro Nacional Coreano de Produção Mais Limpa (KNCPC), um instituto do governo criado para dar suporte a pequenas e médias empresas (KIM, 2017). O programa lançado pelo KNCPC é constituído por três fases, possuindo um horizonte de 15 anos de duração.

Logo após a formalização do programa, o KNPCPC recebeu inúmeras inscrições de distritos industriais coreanos como áreas candidatas a projetos piloto. Cinco distritos industriais foram selecionados como pilotos. Em 2006, o governo passou a administração do programa para a Corporação Coreana de Distritos Industriais (KICOX), agência ligada ao Ministério do Comércio e Indústria, responsável pela administração dos distritos industriais do país. Centros regionais de PIEs foram estabelecidos em cada um dos cinco projetos piloto para facilitar a gestão pela KICOX.

A formação de relações de SI foi incentivada em todos os pilotos. No programa coreano, projetos de SI poderiam ser identificados de duas formas: (i) primeiramente, poderiam ser propostos pelos centros regionais de PIEs (abordagem *top-down*); (ii) alternativamente, poderiam ser propostos por indústrias localizadas nos parques industriais ou por institutos de pesquisa (abordagem *bottom-up*). As propostas eram submetidas à avaliação do KICOX e, quando aprovadas, verba era destinada à sua implementação (33 a 75% do valor do projeto).

A maior complexidade da implementação dos projetos está relacionada à elaboração dos contratos entre investidores com detalhes relacionados à parcela de investimento sob responsabilidade de cada um dos envolvidos, repartição dos lucros gerados e aspectos gerenciais. Nesse sentido, os centros regionais de PIEs desempenhavam papel fundamental, pois atuavam como mediadores.

Os primeiros dois anos do programa não obtiveram grande sucesso. Entretanto, a partir de 2006, quando a gestão do programa passou para a KICOX, o interesse das indústrias aumentou, levando a inscrição de 175 projetos de SI, dos quais 30 foram implementados. Na segunda fase do programa (2010 – 2014), 146 projetos foram implementados. Com relação ao desempenho ambiental, o programa evitou a emissão de 6,48 milhões de toneladas de CO₂ e promoveu o reuso de 5,21 milhões de toneladas de resíduos (JEONG, 2016).

O sucesso do programa coreano é atribuído, principalmente, aos seguintes fatores:

- Criação dos centros regionais de PIEs: desempenharam papel essencial para criar relações com partes interessadas, disseminar informações e manter um corpo de coordenadores (profissionais aposentados de indústrias locais ou acadêmicos conhecidos na região) capazes de identificar boas oportunidades para a elaboração de projetos de SI;

- Foco inicial em projetos com rápido retorno econômico para atrair o interesse da iniciativa privada;
- Ampla divulgação dos projetos de SI implementados e dos resultados alcançados como forma de atrair novos interessados;
- Financiamento do governo.

Por sua vez, no Japão, o Ministério do Meio Ambiente em parceria com o Ministério Internacional da Economia, do Comércio e da Indústria desenvolveram o programa Eco-Town. Lançado em 1997, o programa tinha por objetivo aumentar a vida útil dos aterros existentes no Japão e promover uma revitalização da indústria do país (VAN BERKEL, 2009), a fim de reverter a estagnação econômica enfrentada pelo Japão na década de 90 e ampliar a vida útil de seus aterros industriais. Para isso, o programa buscou expandir as iniciativas de gestão ambiental do nível intra-organizacional para relações inter-organizacionais como a SI e a simbiose urbana, entendida como uma extensão da SI, na qual resíduos urbanos são aproveitados como insumos ou energia em indústrias.

No programa, governos locais em parceria com a iniciativa privada, organizações não governamentais, sociedade civil e outras partes interessadas elaboravam os chamados Planos Eco-Town, compostos por iniciativas relacionadas a planejamento urbano, reciclagem de resíduos municipais e projetos para instalação de novas plantas de reciclagem e reinserção de resíduos em processos produtivos (BAYULKEN e HUISINGH, 2015). Após sua elaboração, os planos eram submetidos ao governo federal e, quando aprovados, uma verba era repassada aos governos locais para sua execução e a atores da iniciativa privada interessados em construir e operar as plantas de reciclagem propostas. Em 10 anos, foram aprovados 26 Planos Eco-Town. Metade dos planos aprovados tinha foco na promoção de inovação na gestão ambiental de indústrias localizadas na área de abrangência do plano e no estabelecimento de plantas de reciclagem capazes de tratar os resíduos gerados na região (domiciliares e industriais). O somatório da capacidade de reciclagem instalada por meio do programa Eco-Town alcançou, aproximadamente, 2 milhões de toneladas de resíduos por ano, os quais deixaram de ser dispostos em aterros.

Segundo VAN BERKEL (2009), o sucesso do programa Eco-Town pode ser atribuído a três fatores:

- Licença para operar: legalmente, a legislação japonesa, orientada para o desenvolvimento de uma sociedade baseada na reciclagem, confere segurança à iniciativa privada para investir em plantas de reciclagem e outros projetos inovadores de reinserção de resíduos nos processos produtivos, uma vez que os mesmos são imprescindíveis para o alcance das metas de reciclagem estabelecidas pela legislação vigente. Sob o ponto de vista social, o engajamento de diversas partes interessadas na elaboração dos Planos Eco-Town criava confiança entre indústrias, comunidade e governo, necessária para implementação do programa;
- Estratégia de negócio: o direcionamento de verba para implementação dos planos Eco-Town e das plantas e projetos de reciclagem incluídos nos mesmos era atrativo para indústrias. Além disso, nesse período, diversas indústrias japonesas sofriam com a estagnação do mercado, de modo que investir em reciclagem correspondia a uma diversificação dos negócios e estratégia para potencializar seu crescimento futuro;
- Aspectos tecnológicos: apesar de boa parte da tecnologia necessária para promover a reciclagem de diversos resíduos gerados nas áreas de abrangência dos planos Eco-Town não estarem disponíveis à época, havia grande disponibilidade de recursos de centros de pesquisas, universidades e indústrias para promover o desenvolvimento tecnológico necessário.

Estudo recente sobre o desempenho do programa Eco-Town revelou que as taxas de reciclagem aumentaram nas áreas abrangidas pelos planos Eco-Town no período de 2007 a 2012 e que a proximidade geográfica entre os geradores dos resíduos e as indústrias que os utilizam como insumos foi um fator relevante para os resultados alcançados pelo programa (OHNISHI *et al.*, 2016). Entretanto, o futuro das iniciativas implementadas com o programa Eco-Town é incerto, uma vez que os subsídios do governo japonês já se encerraram e que o mercado por resíduos e sub-produtos nobres na Ásia encontra-se aquecido, o que pode levar parte desses materiais a serem destinados para outros fins (VAN BERKEL *et al.*, 2009).

3.3.2 Experiências nacionais

No Brasil, a aplicação da EI ainda se encontra pouco disseminada e nem todas as iniciativas foram concluídas ou apresentam resultados monitorados e divulgados. Não há programa ou plano em âmbito nacional que estimule e forneça diretrizes para implantação de ferramentas como a SI ou os PIEs, de forma que as iniciativas observadas no país ocorrem de modo isolado, enfrentando dificuldades como descontinuidade causada por mudanças de governo local. A seguir, são apresentadas três iniciativas brasileiras relacionadas à aplicação de princípios da EI: o Programa Rio Eco-pólo, o Programa Mineiro de Simbiose Industrial e o caso do polo petroquímico de Camaçari na Bahia.

3.3.2.1 Rio de Janeiro: Programa Rio Eco-pólo

A primeira iniciativa por parte do Estado do Rio de Janeiro para fortalecer a gestão ambiental cooperativa no Estado e reduzir os impactos ambientais das atividades industriais foi a instituição do Programa de Fomento ao Desenvolvimento Industrial Sustentável do Estado do Rio de Janeiro – Rio Ecopólo, através do Decreto nº 31.339 de 04 de junho de 2002, conforme VEIGA (2007).

O programa previa a concessão de financiamento e incentivo, a partir da utilização de recursos oriundos do Fundo de Desenvolvimento Econômico e Social (FUNDES), aos projetos de produção mais limpa, projetos destinados à transformação de resíduos e despejos em insumos, projetos para a reutilização de água no processo produtivo e projetos de reciclagem de resíduos em geral. Os projetos poderiam ser submetidos pelas empresas tanto individualmente quanto em conjunto.

O decreto citado nomeou a Companhia de Desenvolvimento Industrial do Estado do Rio de Janeiro (CODIN) como órgão responsável pela execução do programa e atribuiu a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), atual Instituto Estadual do Ambiente (INEA), a responsabilidade de análise dos projetos quanto à sua adequação ambiental. Posteriormente, o Decreto nº 33.392, de 04 de junho de 2003, alterou o Decreto nº 31.339/2002, visando conferir maior agilidade ao processo de enquadramento das empresas no Programa Rio-Ecopólo, condicionando a liberação do financiamento à apresentação de Licença Ambiental ou documento equivalente expedido pelo órgão

ambiental competente. A Tabela 4 apresenta as principais características e objetivos do Programa Rio-Ecopólo.

Tabela 4. Características e objetivos do programa Rio-Ecopólo.

Programa Rio-Ecopólo
Adoção de práticas de desenvolvimento sustentável
Tomada de decisão envolvendo o apoio do Estado
Parceria entre o setor público, privado, comunidade e academia
Adoção de práticas de gestão ambiental
Presença do Estado dando suporte às indústrias
Incentivo fiscal e financeiro
Apoio do Estado para conversão de zonas industriais existentes em PIEs
Estímulo à participação de empresas nacionais e internacionais
Conformidade com a legislação ambiental
Revisão do zoneamento ambiental
Implementação de práticas de eco-eficiência e produção mais limpa
Aumento da competitividade das indústrias
Melhoria na qualidade dos empregos, aumento na geração de renda e no bem-estar da comunidade

Fonte: VEIGA E MAGRINI (2009).

Neste contexto, foram lançadas as primeiras iniciativas de implantação de PIEs no Estado, conforme VEIGA e MAGRINI (2009). Um estudo realizado pelo Consórcio COPPER-UFRJ-IBAM (MAGRINI e MASSON, 2005) que analisou o zoneamento industrial da região metropolitana do Rio de Janeiro, havia proposto a conversão de 9 zonas de uso estritamente industriais em PIEs. Dentre essas zonas, o Governo do Estado inicialmente, selecionou três para serem convertidas em PIEs: Santa Cruz, Campos Elíseos e Fazenda Botafogo. Posteriormente, o Governo indicou um quarto projeto, Paracambi, o único desenvolvido a partir de uma nova área (*greenfield*). A formalização desses projetos deu-se através da assinatura de um termo de compromisso entre a FEEMA e representantes das respectivas indústrias, apoiando-se no Programa Rio-Ecopolo.

Alguns anos após o início do programa, o governo do Estado, representado pela CODIN, FEEMA e Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico e Turismo, não deu continuidade ao programa, devido a mudanças de ordem política e de liderança no governo. Cabe destacar que os dois decretos referentes ao Programa Rio Ecopólo continuam em vigor e os projetos continuaram sendo conduzidos pelas próprias indústrias e associações dos distritos industriais mesmo de forma limitada, sem apoio do setor público, com exceção do PIE de Paracambi no qual o governo Municipal chegou a atuar

em parceria com o setor privado, tentando levar esta iniciativa adiante, conforme VEIGA e MAGRINI (2009).

O Ecopolo de Santa Cruz foi lançado em 17 de setembro de 2002, ocasião em que também foi criada a Diretoria de Desenvolvimento Sustentável (DISC), responsável por coordenar os projetos relacionados à sustentabilidade e redução de impactos ambientais no PIE. O Ecopólo de Santa Cruz foi o único que tornou público o seu Plano de Ação, através do documento “Relatório de Sustentabilidade – Ecopólo Industrial de Santa Cruz”, estabelecendo propostas de gestão ambiental compartilhada planejadas para 2003 – 2004 (RUIZ, 2013), dentre as quais encontram-se: gestão integrada de resíduos sólidos e coleta seletiva, intercâmbio técnico científico e gestão ambiental integrada, estímulo à instalação de indústrias que possam interagir com as cadeias produtivas locais, reflorestamento da região com espécies nativas, entre outros. Em consulta realizada à página na internet da Associação das Empresas do Distrito Industrial de Santa Cruz e Adjacências (AEDIN), esses programas ainda são citados na área destinada à apresentação do Ecopólo.

A DISC realizou reuniões regulares até 2003 com representantes de cada empresa. No entanto, com o tempo, as reuniões se tornaram escassas, devido à falta de disponibilidade de tempo dos representantes das empresas para dedicação ao desenvolvimento das propostas, falta de recursos financeiros destinados à condução dos projetos conjuntos e mudanças nas lideranças de algumas empresas, não garantindo a adesão e o empenho das mesmas (FRAGOMENI, 2005).

Em novembro de 2008, houve uma retomada do Projeto Ecopólo por parte das empresas sócias da AEDIN. No entanto, por mais que o Ecopólo seja um distrito no qual há gestão compartilhada das áreas públicas, no que se refere à iluminação de ruas e segurança, e seja evidente o interesse por parte das indústrias de reduzir seus impactos ambientais, este não apresenta relações concretas de troca entre elas, o que impossibilita sua classificação como um PIE, apesar de ter potencial para tal (RUIZ, 2013). A falta de apoio do setor público, de comprometimento institucional, de familiaridade com o conceito de PIE e com os potenciais benefícios gerados pela sua implantação, bem como a relutância das empresas em compartilhar informações e reformular seus processos internos para se integrar ao parque são apontados pela literatura como alguns fatores que tem dificultado a sua evolução (VEIGA e MAGRINI, 2009; e RUIZ, 2013).

O Ecopólo de Campos Elíseos foi o segundo instituído no Estado do Rio de Janeiro, em outubro de 2002, quando doze indústrias integrantes do pólo petroquímico de Campos Elíseos assinaram o termo de compromisso com o Governo do Estado, representante da FEEMA e representante da Associação de Indústrias do Distrito Industrial de Campos Elíseos (ASSEMCAMPE) (VEIGA, 2007). Diferentemente do Ecopólo de Santa Cruz, as indústrias não consolidaram um Plano de Ação, tendo sido desenvolvidas algumas iniciativas isoladas, de acordo com FRAGOMENI (2005), tais como: sistema de monitoramento da qualidade do ar da região, sinergias entre algumas indústrias e economias de escala.

Dois programas anteriores ao Ecopólo, Plano de Emergência a Nível Local e Plano de Auxílio Mútuo, já haviam promovido uma forma de gestão cooperativa entre as indústrias e a comunidade, estabelecendo confiança organizacional e facilitando o desenvolvimento de outras parcerias (VEIGA, 2007). As informações disponibilizadas na página da ASSEMCAMPE permitem concluir que esses programas continuam ativos com agenda de realização de atividades publicada para 2017. No entanto, não há qualquer informação sobre o Ecopólo na página da associação.

A criação do Ecopólo Fazenda Botafogo ocorreu em dezembro de 2002, tendo reunido indústrias do Distrito Industrial Fazenda Botafogo, em Acari, e também empresas do entorno. VEIGA (2007) lista algumas das iniciativas que foram desenvolvidas nesse ecopólo, dentre as quais encontram-se: programa de gestão integrada de resíduos e coleta seletiva, programa de intercâmbio técnico-científico e gestão ambiental integrada, programa de monitoramento da qualidade do ar e do sistema hídrico, programa de desenvolvimento social, entre outros. No entanto, em consulta realizada à página da Associação das Indústrias do Distrito Industrial da Fazenda Botafogo (ASDIN), são citados apenas algumas ações de educação ambiental na área destinada à apresentação do Ecopólo, bem como a existência de um Plano de Ação Integrado referente à resposta a situações de emergência.

Diferentemente das outras experiências do Estado, o Ecopólo de Paracambi não consiste em conversão de um distrito industrial em um Parque Industrial Ecológico. Trata-se de uma área adquirida pelo governo municipal com a intenção de ocupação por grandes e médias empresas. Segundo VEIGA e MAGRINI (2009), o governo local estava comprometido com a implementação desse PEI, tendo promulgado a Lei nº 552/2002 visando conceder incentivos financeiros e isenção de taxas para empresas que se

instalarem no local, além de estar financiando o planejamento e infraestrutura do PEI (sistemas de fornecimento de água, eletricidade, gás e tratamento de esgoto). As autoras apresentam os principais aspectos que faziam parte do planejamento que estava sendo realizado para o PIE desde 2006 por um grupo da COPPE/UFRJ, dentre os quais encontrava-se o mix de indústrias, as potenciais trocas de resíduos e energia, o planejamento urbanístico do site, interações com a comunidade e serviços comuns de transporte, saúde, alimentação, resposta à emergência, dentre outros.

Em consulta realizada na página da internet da Prefeitura de Paracambi, bem como em sistemas de busca, não foram encontradas referências mais atualizadas quanto ao estado atual desse Ecopólo.

Em síntese, pode-se concluir que, atualmente, não existe, de fato, nenhuma iniciativa concluída.

3.3.2.2 Minas Gerais: Programa Mineiro de Simbiose Industrial

O Programa Mineiro de Simbiose Industrial (PMSI) foi implantado em 2008 pela Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) em parceria com o Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR) e com a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM). Primeiramente, o programa foi implementado na região do Vale do Aço, que abriga indústrias mecânicas e siderúrgicas, tendo sido expandido posteriormente para a região Sul e do Triângulo Mineiro (TRAMA, 2014).

O programa foi inspirado na metodologia do *National Industrial Symbiosis Programme* – NISP, criado no Reino Unido, e já discutido anteriormente. De forma similar ao NISP, o PMSI estabelece negócios a partir dos recursos sub-utilizados nos processos de produção, isto é, energia, água, resíduos e materiais provenientes das indústrias podem ser recuperados, reprocessados e reutilizados por outras empresas (TRAMA, 2016). O funcionamento do programa baseia-se na realização de *workshops* nos quais as empresas discutem oportunidades de negócios com base na disponibilidade de recursos e de resíduos ofertados ou demandados. De acordo com informações disponibilizadas no site do programa (FIEMG, 2017), as empresas são instruídas a preencher fichas com a descrição dos recursos e resíduos ofertados ou demandados, indicando a quantidade disponível ou desejada. A partir deste mapeamento, é realizada

uma dinâmica a fim de identificar as possíveis sinergias e oportunidades de negócios entre as empresas participantes.

Ainda de acordo com informações disponibilizadas no site do programa (FIEMG, 2017), os resultados alcançados pelo PMSI são: (a) 317 empresas participantes, (b) 139.793 toneladas de resíduos desviados de aterros, (c) 194.815 toneladas de redução no uso de matéria-prima virgem, (d) 87.476 toneladas de redução das emissões de carbono, (e) 13.650.000 m³ de água reutilizada, (f) R\$ 8.768.683,00 de redução de custos para as empresas.

No site do programa, há registro de *workshop* realizado no ano de 2016 com representantes de 23 empresas.

3.3.2.3 Bahia: o caso de um pólo petroquímico com algumas práticas de Ecologia Industrial

O Pólo Petroquímico de Camaçari possui mais de 90 empresas químicas, petroquímicas e de outros ramos de atividade como indústria automotiva, de celulose, metalurgia do cobre, têxtil, fertilizantes, energia eólica, bebidas e serviços (COFIC, 2014). Trata-se de um pólo que apresenta algumas ações que se enquadram dentro dos conceitos da Ecologia Industrial, embora não tenha sido oficialmente enquadrado na categoria de PIE.

Segundo TANIMOTO (2004), na concepção do pólo foi definido um plano diretor que estabeleceu áreas para instalação de indústrias afins, implantação de um cinturão verde, projeto viário, a criação de uma central de manutenção (CEMAN) e de uma Central de Tratamento de Efluentes Líquidos (CETREL). O arranjo físico e empresarial do Pólo permite a prática de geração e distribuição centralizada de utilidades e matéria-prima fornecidas pela Braskem, além de outras ligações via tubulações entre empresas do complexo. Outra vantagem também contemplada na sua concepção foi ter o sistema único de coleta, tratamento e disposição de efluentes líquidos, que também realiza o monitoramento atmosférico e do lençol freático da região e oferece serviços de aterro industrial, incineração e tratamento de resíduos não só gerados no pólo como em outras regiões do Brasil.

Algumas práticas de SI foram realizadas no pólo. TANIMOTO (2004) destaca a simbiose envolvendo a escória de cobre gerada por uma das empresas do complexo e empregada como insumo para fabricação de cimento e abrasivo para o jateamento de superfícies metálicas. O autor considera que, no Pólo de Camaçari, existem práticas que, em sua maioria, enquadram-se como intercâmbio externo de resíduos ou intercâmbio interno de resíduos (dentro da mesma empresa), havendo poucas práticas de intercâmbio entre indústrias. Visando aumentar a quantidade de práticas de SI no pólo, o autor propõe algumas ações como a criação de um comitê gestor para conduzir o processo e de grupos de trabalho (técnico, normativo e de comunicação) com atribuições específicas. Entretanto, não há registro de que tais ações tenham sido de fato implementadas.

3.4 Análises das experiências da Ecologia Industrial

Nas últimas décadas, conforme apresentado no item 3.3, aplicações da EI espalharam-se pelo mundo, podendo-se citar como exemplos, desde o clássico caso de Kalundborg até os PIEs do programa governamental chinês, além de iniciativas que extrapolam as fronteiras dos distritos industriais como o programa japonês de simbiose urbana.

Dada à diversidade de experiências implementadas em diferentes países, estudos na área de EI passaram de análises de casos individuais para análises que abrangem vários casos simultaneamente. Tais análises procuram sistematizar o conhecimento da área, fornecer um panorama da aplicação da EI no mundo e propor modelos para explicar o processo de implementação das ferramentas da EI, respondendo a questões do tipo: como se dá o processo de implementação das ferramentas da EI, quais fatores estimulam ou inibem a implementação das mesmas, como estas se encontram organizadas/estruturadas, como se dá o processo de gestão em tais aplicações da EI, quais práticas são características das mesmas, dentre outros. As respostas a essas questões, ao fornecerem uma visão abrangente e estruturada das aplicações da EI, podem subsidiar decisões tanto do setor público, no que se refere à proposição de programas de incentivo à EI, quanto do setor privado, no âmbito do seu engajamento em iniciativas de EI. Adicionalmente, podem fornecer subsídios para estender a aplicação dos conceitos e práticas da EI de sua concepção clássica para outras áreas.

No contexto da presente tese, a compreensão da dinâmica de formação das relações de SI e da disseminação de diferentes práticas inter-organizacionais em PIEs e distritos industriais pode contribuir para a investigação da extensão de conceitos da EI para canteiros de obras de empreendimentos industriais, conforme discutido a seguir.

3.4.1 Dinâmica de formação das relações de Simbiose Industrial

Com relação à dinâmica de formação das relações de SI, as diversas experiências relacionadas à aplicação da EI, analisadas nos últimos anos, revelaram que as relações de SI auto-organizadas, isto é, que surgem e se mantêm espontaneamente, tem obtido mais sucesso do que as relações formadas e coordenadas a partir da atuação de um agente central como, por exemplo, os PIEs (CHERTOW, 2007).

Pesquisas relacionadas à dinâmica de formação das relações de SI são, relativamente, recentes e contemplam o estudo da sequência de eventos por meio dos quais as relações de simbiose são formadas, mantidas e, eventualmente, dissolvidas. O amadurecimento desse campo de estudo pode ser constatado a partir da análise dos modelos que visam explicar a dinâmica das relações de SI propostos por BAAS e BOONS (2004), CHERTOW (2007), ASHTON (2009), BOONS *et al.* (2011) e BOONS *et al.* (2016).

BAAS e BOONS (2004) propõem um modelo para evolução das iniciativas de EI composto por três estágios:

1. Eficiência regional: nesse estágio inicial, empresas independentes buscam identificar e estabelecer relações com outras empresas, visando reduzir ineficiências. Tais ações podem ser facilitadas pela atuação de autoridades governamentais locais e outros arranjos cooperativos pré-existentes.
2. Aprendizado regional: tomando como base a confiança adquirida por meio das relações estabelecidas no estágio anterior, empresas trocam conhecimento e ampliam suas atuações na área de sustentabilidade. Nesse estágio, outras partes interessadas podem se envolver (organizações não governamentais, associações da sociedade civil, entre outros).
3. Distritos industriais sustentáveis: os atores desenvolvem uma visão estratégica de sustentabilidade e baseiam suas ações nessa visão.

Para *greenfields*, o modelo proposto apresenta uma fase anterior à Eficiência regional, na qual são despendidos esforços para identificar empresas com potencial para estabelecer relações de intercâmbio de materiais, água, energia ou resíduos, bem como para atraí-las para um dado distrito industrial, de forma a facilitar o estabelecimento das relações de simbiose.

Tomando como base o modelo de BAAS e BOONS (2004) e a análise de diversos casos reportados pela literatura, CHERTOW (2007) propõe um modelo para retratar o processo de formação e desenvolvimento de redes de simbiose industrial auto-organizada. Segundo esse modelo, inicialmente, as empresas estabelecem relações de cooperação visando cumprir requisitos legais ou aumentar sua eficiência. As relações são estabelecidas espontaneamente, por decisão das empresas envolvidas. Segue-se um segundo período, no qual as iniciativas individuais de cooperação são colocadas à prova do mercado e, se bem sucedidas, são mantidas. Nesse período, outras empresas começam a se envolver nas relações de cooperação ou a estabelecer novas relações, diante do sucesso observado. Por fim, em um terceiro momento, identifica-se a existência de uma rede eco-industrial e, a partir de então, avalia-se a implementação de mecanismos formais de coordenação da rede.

Um terceiro modelo que trata da dinâmica das relações em sistemas eco-industriais, identificado na literatura, é o modelo proposto por ASHTON (2009). Esse modelo caracteriza a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas industriais a partir de doze atributos e três níveis de análise (contexto nacional, ecossistema industrial e empresas). Os atributos estabelecidos pelo autor visam analisar as interações entre os atores do ecossistema industrial, o fluxo de recursos entre os mesmos e os fenômenos decorrentes de suas interações. Atributos associadas ao nível mais elevado de análise referem-se ao contexto nacional em que o ecossistema industrial opera, enquanto atributos associados ao nível mais baixo de análise tratam das características específicas das organizações envolvidas. Os atributos de análise propostos pelos autores têm origem na geografia econômica e na ecologia, conforme Tabela 5.

Assim como nos modelos de BAAS e BOONS (2004) e de CHERTOW (2007), o foco da análise encontra-se no processo por meio do qual as relações entre as organizações são estabelecidas. Tomando como base a teoria de sistemas complexos, segundo a qual em sistemas humanos e ecológicos as relações estabelecidas pelos atores evoluem de forma a resistir ou se adaptar às mudanças do ambiente no qual estão

inseridos, cada um dos atributos definidos por ASHTON (2009) é analisado em quatro estágios do desenvolvimento de um ecossistema industrial: exploração, conservação, perturbação e mobilização.

Tabela 5. Atributos e níveis de análise.

Nível	Atributo do ecossistema industrial
Nacional	Condições políticas, econômicas, sociais, culturais e institucionais; papel do governo e das instituições Capital (natural, financeiro, humano) Condições de mercado
Regional	Setores industriais, diversidade, dominância Papel das relações sociais Geração de energia, consumo e fluxo Fluxo de materiais; papel dos sub-produtos e resíduos; relações da cadeia de suprimentos Competição e cooperação Desenvolvimento de relações de simbiose Efeitos positivos e negativos decorrentes da aglomeração industrial Resiliência dos sistemas industriais
Local	Porte das empresas, escopo e estratégia

Fonte: ASHTON (2009).

A fase de exploração é caracterizada pela exploração dos recursos naturais disponíveis e rápido desenvolvimento dos atores envolvidos. O crescente domínio pelos competidores mais fortes, que adquirem e acumulam recursos, leva o sistema ao estágio de conservação, no qual aumenta o acúmulo de capital no sistema e as relações entre os atores envolvidos aumentam. O alto nível de interdependência entre os atores e o acúmulo de capital característicos desse estágio criam vulnerabilidades a perturbações, as quais podem levar ao colapso da estrutura existente e à necessidade de reorganização do sistema, característicos da fase de perturbação. Por fim, segue-se a fase de mobilização, em que o processo de sucessão ocorre com o restabelecimento das condições anteriores ou desenvolvimento de estruturas organizacionais e padrões de funcionamento completamente distintos do que existia anteriormente.

Nesse modelo, os autores defendem que as relações de SI se formam na fase de conservação, na qual diversas indústrias estabelecem relações de intercâmbio de resíduos e materiais, bem como de informações e conhecimentos. A análise de dois estudos de caso revelou que a dinâmica dos ecossistemas industriais nem sempre se dá exatamente segundo as mesmas fases dos sistemas naturais. Entretanto, os modelos tradicionais de

evolução dos ecossistemas naturais se revelaram como um bom fio condutor para orientar a análise e interpretação da evolução dos ecossistemas industriais, na visão dos autores.

Já o modelo proposto por BOONS *et al.* (2011) para compreensão da dinâmica das relações de SI contempla dois níveis: (1) ecossistemas industriais; e (2) sociedade. Em ambos os níveis, a análise está centrada nos mecanismos por meio dos quais a SI se estabelece, nas condições antecedentes que afetam o estabelecimento de tais mecanismos e nas consequências dos mesmos. Como condições antecedentes, o modelo contempla a análise de questões locacionais, setor, quantidade e porte das empresas envolvidas, bem como aspectos relacionados às autoridades governamentais envolvidas e outras partes interessadas da sociedade civil.

No nível de análise dos ecossistemas industriais, são investigados os mecanismos por meio dos quais os sistemas industriais alteram suas relações inter-organizacionais para reduzir seus impactos ambientais. Propõe-se, com base na teoria institucional e em ampla revisão da literatura, que os mecanismos de formação das relações de SI dependem de conhecimentos específicos adquiridos pelos atores envolvidos quanto ao potencial e às oportunidades de SI existentes no sistema, bem como das habilidades necessárias para estabelecer e coordenar relações com outros atores e das habilidades necessárias para mobilizar recursos nem sempre existentes no sistema. Em suma, os autores defendem que o mecanismo de formação das relações de SI depende de alta capacidade institucional (capacidade de mobilização de recursos, relações e conhecimentos).

No nível de análise da sociedade como um todo, são investigados mecanismos de difusão do conceito de SI na sociedade. A questão central sobre a forma como a SI se difunde em um dado contexto refere-se ao modo como as empresas e demais atores que influenciam a operação de distritos industriais adquirem conhecimento na sociedade a respeito da SI, resultando em diferentes estratégias de implementação como o que se observa em Kalundborg (Dinamarca), o Programa Nacional de Simbiose Industrial (NISP) no Reino Unido, as iniciativas de economia circular na China e simbiose urbana no Japão.

A análise dos modelos de dinâmica de SI apresentados sugere que a SI é um fenômeno influenciado pelo contexto institucional e cultural no qual os atores envolvidos estão inseridos. A comparação de experiências de SI inseridas em diferentes contextos requer o desenvolvimento de uma abordagem capaz de identificar conceitos e fenômenos

empíricos equivalentes em diferentes países. Visando superar esse problema de equivalência, BOONS *et al.* (2016) apresentaram um quadro geral da dinâmica de formação das relações de SI, conforme Tabela 6. Os autores propuseram sete modelos de dinâmica de formação das relações de SI. Cada um dos modelos é composto por um ator inicial, suas motivações e pela sequência de ações que se seguem.

Tabela 6. Dinâmicas de formação das relações de simbiose industrial.

Dinâmica	Sequência de eventos / ações
Espontânea (auto-organizada)	Empresas buscam parceiros para estabelecer relações de simbiose -> uma vez encontrados parceiros, contratos são negociados -> as simbioses se tornam operacionais. Exemplo: Kalundbourg.
Motivada por mudanças na estrutura organizacional de empresas	Uma empresa com integração vertical desenvolve intercâmbios internos de resíduos ou sub-produtos -> empresa altera sua estratégia de integração vertical, transformando áreas ou ativos em novas empresas -> as simbioses são mantidas e as relações se tornam inter-organizacionais. Exemplo: Guitang Group.
Facilitada por terceira parte como articulador	Uma organização (facilitador) lança um programa para estimular a formação de relações de simbiose -> facilitador cria oportunidades e fóruns para troca de informações entre empresas visando a formação de relações de simbiose -> relações de simbiose são formadas entre empresas por meio do programa criado pelo facilitador. Exemplo: Programa de Simbiose Industrial do Reino Unido (NISP).
Facilitada por terceira parte como participante das relações de simbiose	Um facilitador identifica oportunidades para realização de simbiose industrial a partir de exemplos existentes -> o facilitador desenvolve um conceito de simbiose industrial para um dado contexto nacional ou regional -> facilitador e empresas atuam conjuntamente para formar relações de simbiose entre si. Exemplo: Porto de Rotterdam.
Projetos piloto de parques eco-industriais	Um facilitador identifica oportunidades para realização de simbiose industrial a partir de exemplos existentes -> o facilitador desenvolve um conceito de simbiose industrial para um dado contexto nacional ou regional -> grupos de empresas co-localizadas são selecionadas para formar parques eco-industriais em caráter piloto -> a experiência adquirida com os projetos piloto é disseminada para outros grupos de empresas co-localizadas. Exemplo: Programa de Parques Eco-Industriais na Coreia do Sul.
Planejamento governamental	Um ator governamental identifica oportunidades de simbiose industrial a partir de exemplos existentes -> o facilitador desenvolve um conceito de simbiose industrial para um dado contexto nacional ou regional -> o conceito é incluído em políticas nacionais ou regionais que levam ao desenvolvimento de relações de simbiose entre empresas -> o progresso da implementação de tais relações é monitorado -> os resultados das avaliações são utilizados para melhoria da política desenvolvimento. Exemplo: Programa Nacional Chinês de Economia Circular.
Desenvolvimento de eco-clusters	Governo local ou empresas desenvolvem estratégia para a criação de eco-cluster -> relações de simbiose são formadas a partir de um processo participatório envolvendo múltiplas partes interessadas como parte da estratégia de desenvolvimento local.

Fonte: Adaptado de BOONS *et al.* (2016).

A partir da análise dos modelos apresentados, pode-se concluir que:

1. A formação de relações de SI ocorre em estágios que se sucedem no tempo. Os estágios iniciais são marcados pela atuação de um grupo inicial de atores. À medida que os estágios se sucedem, novos atores são envolvidos e as relações inter-organizacionais entre os mesmos são formadas, mantidas ou, eventualmente, dissolvidas;
2. As relações podem ser iniciadas por atores industriais, governamentais ou por terceiras partes, motivados por diferentes fatores relacionados ao contexto em que o processo está ocorrendo;
3. Capacidades institucionais como, por exemplo, conhecimento sobre SI e habilidades para estabelecer relações e mobilizar recursos são necessários para o processo;
4. As relações de simbiose podem ser estabelecidas a partir de relações pré-existentes, fluxos de matéria e energia tradicionalmente já realizados no mercado ou por meio do estabelecimento de novas relações desenvolvidas através de processos participativos, iniciativa de atores industriais ou estímulo de terceiras partes;
5. Há uma fase em que as relações de simbiose são colocadas à prova do mercado e, se bem-sucedidas, estimulam a formação de novas relações.

3.4.2 Disseminação de práticas da Ecologia Industrial

Os PIEs e demais iniciativas vinculadas à aplicação de princípios da EI se disseminaram, ao longo das últimas décadas, em diversos países, por meio de diferentes dinâmicas de formação, resultando em diferentes arranjos colaborativos.

BELLANTUONO *et al.* (2017), com base em revisão da literatura, analisaram de forma sistemática as práticas adotadas em um conjunto de 28 PIEs (alguns dos quais ainda em fase de projeto e outros já fora de operação), procurando identificar diferentes modelos organizacionais e verificar as diferenças existentes quanto às práticas adotadas em cada modelo. Três modelos organizacionais foram identificados pelos autores. O primeiro abrange os PIEs planejados, com forte cooperação com agentes governamentais, presença de uma empresa âncora e grande heterogeneidade entre as empresas envolvidas. O segundo modelo contempla os PIEs marcados por grande cooperação entre as empresas

envolvidas e pela ausência de uma empresa âncora. Por fim, o terceiro modelo reúne os PIEs com processo de formação espontânea, pequeno apoio governamental, baixa heterogeneidade entre as empresas envolvidas e grande colaboração entre as mesmas.

Os autores verificaram que algumas práticas como intercâmbio de resíduos, colaboração entre as empresas e provisão conjunta de serviços estão presentes na maioria dos PIEs analisados, independentemente do modelo organizacional do mesmo, conforme pode-se verificar na Tabela 7. Tal tabela apresenta um panorama da adoção de algumas práticas analisadas por BELLANTUONO *et al.* (2017) nos PIEs mencionados na seção 3.3.

Tabela 7. Caracterização das iniciativas de EI com base nas práticas adotadas.

Elementos-chave	Kalundborg	Styria	Value Park	Uimarharju	Parque Ambiental de Turim	Burnside	TEDA
Cooperação entre empresas	√	√	√	√	√	√	√
Cooperação com universidades/centros de pesquisa	√		√		√	√	√
Cooperação com governo	√				√	√	√
Compartilhamento de serviços	√		√		√	√	√
Intercâmbio de resíduos e subprodutos	√	√	√	√		√	√

Fonte: Adaptado de BELLANTUONO *et al.* (2017).

A adoção de outras práticas como, por exemplo, práticas de gestão ambiental de fornecedores, práticas de transporte sustentáveis, cooperação com a comunidade, realização de treinamento e educação conjuntos para a força de trabalho das empresas do PIE, dentre outras, foi observada principalmente nos PIEs associados ao primeiro modelo organizacional, tendo se observado pequena tendência de adoção de tais práticas em PIEs com baixa heterogeneidade e baixa colaboração governamental (terceiro modelo organizacional).

A partir do exposto acima e das experiências internacionais e nacionais apresentadas na seção 3.3, pode-se constatar que alguns aspectos organizacionais e práticas como, por exemplo a cooperação entre empresas, provisão conjunta de serviços e intercâmbio de

resíduos, são característicos dos PIEs, estando presentes na maioria dos casos, enquanto a adoção de outras práticas, como aquelas mencionadas no parágrafo anterior, varia caso-a-caso.

Apesar de não haver um modelo padrão de PIE, todas as iniciativas buscam o aproveitamento das sinergias oferecidas pela proximidade geográfica entre empresas. Entretanto, dadas as diferentes características dos PIEs (atores envolvidos nas relações de colaboração, coordenação do PIE, dinâmica de formação, heterogeneidade) surgem diferentes sinergias e, em alguns casos, certas práticas são priorizadas, em detrimento de outras, por razões técnicas, econômicas ou organizacionais.

As práticas adotadas nas diferentes fases do ciclo de vida dos PIEs que contribuem para o alcance dos resultados almejados pelos atores envolvidos são consideradas elementos-chave do seu processo de implementação e operação. Tais elementos são discutidos em maior detalhe no Capítulo 4.

A Tabela 8 sintetiza as principais constatações a respeito dos conceitos, ferramentas e experiências da EI a que se chega a partir dos trabalhos citados anteriormente.

Tabela 8. Síntese das constatações sobre a EI a partir do referencial teórico adotado.

Constatação	Referências
Na Europa, encontra-se um dos exemplos mais bem-sucedidos de SI: a rede estabelecida em Kalundborg. Além desse caso de SI que se estabeleceu espontaneamente, existem diversas outras experiências que se estendem de programas governamentais como o NISP a iniciativas organizadas por associações industriais como o INES, bem como a implantação de PIEs formados a partir de empresas âncoras e de Áreas Industriais Ecológicas Equipadas.	SCHWARZ e STEININGER (1997), MILCHRAHM e HASLER (2002), BAAS e BOONS (2004), MIRATA (2004), SAIKKU (2006), BAAS e HUISINGH (2008), LAYBOURN e MORRISSEY (2009), LIWARSKA-BIZUKOJC <i>et al.</i> (2009), COSTA <i>et al.</i> (2010), CAROLI <i>et al.</i> (2015), TADDEO (2016), VALENTINE (2016).
A maior parte das iniciativas relacionadas à implementação de PIEs nos Estados Unidos enfrentaram dificuldades, não apresentando, no início, práticas da EI como intercâmbio de resíduos. Dois PIEs bem-sucedidos, na América do Norte (PIE de Denvers e PIE de Burnside), apresentam uma característica em comum: atuação de um agente que fomenta a melhoria do desempenho ambiental das empresas e a formação de relações de simbiose entre as mesmas.	HEERES <i>et al.</i> (2004), GIBBS e DEUTZ (2004), GIBBS e DEUTZ (2007), CHERTOW (2007), CAROLI <i>et al.</i> (2015), LIU <i>et al.</i> (2016).
Na Ásia, destacam-se três programas governamentais: o Programa Nacional de Demonstração de Parques Industriais Ecológicos na China, o Programa de Parques Industriais Ecológicos na Coreia do Sul e o Programa Eco-Town no Japão. Alguns desses passaram por dificuldades, mas pode-se afirmar que todos conseguiram incentivar a implantação de PIEs ou, até mesmo, de aplicações que ultrapassam as fronteiras dos sistemas industriais.	VAN BERKEL (2009), SHI <i>et al.</i> (2010), ZHANG <i>et al.</i> (2010), BAI <i>et al.</i> (2014), QU <i>et al.</i> (2014), TIAN <i>et al.</i> (2014), BAYULKEN e HUISINGH (2015), OHNISHI <i>et al.</i> (2016).
No Brasil, a aplicação da EI ainda se encontra pouco disseminada e nem todas as iniciativas foram concluídas ou apresentam resultados monitorados e divulgados.	TANIMOTO (2004), FRAGOMENI, (2005), MAGRINI e MASSON (2005), VEIGA (2007), VEIGA e MAGRINI (2009), RUIZ (2013), TRAMA (2016)
Com relação à dinâmica de formação das relações de SI, as diversas experiências relacionadas à aplicação da EI levaram ao desenvolvimento de modelos, a partir dos quais conclui-se que: a formação de relações de SI ocorre em estágios que se sucedem no tempo; as relações podem ser iniciadas por diferentes atores; capacidades institucionais são necessárias para o processo; as relações de simbiose podem ser estabelecidas a partir de relações pré-existentes ou por novas relações; há uma fase em que as relações de simbiose são colocadas à prova do mercado e, se bem-sucedidas, estimulam a formação de novas relações.	BAAS e BOONS (2004), CHERTOW (2007), ASHTON (2009), BOONS <i>et al.</i> (2011), BOONS <i>et al.</i> (2016).
Alguns aspectos organizacionais e práticas são característicos dos PIEs, estando presentes na maioria dos casos. Entretanto, não há um padrão fixo para o desenvolvimento dos PIEs.	BELLANTUONO <i>et al.</i> (2017).

Fonte: Elaboração própria a partir das referências citadas no corpo da tabela.

4. Implantando um Parque Industrial Ecológico: de uma concepção clássica para aplicação em um canteiro de obras industriais

Após a proposição dos conceitos e princípios da EI, no final da década de 80 e início da década de 90 (FROSCHE e GALLOPOULOS, 1989; LOWE, 1996; CHERTOW, 2000), aplicações práticas dos mesmos foram identificadas e implementadas em diversos países, conforme apresentado no item 3.4. As experiências reportadas na literatura sugerem que a EI apresenta potencial para contribuir para a reestruturação dos processos produtivos em diferentes contextos, desempenhando papel relevante para a implementação de práticas inter-organizacionais focadas no intercâmbio de resíduos, água e energia entre empresas.

A proximidade geográfica é tida como um facilitador para a implementação de práticas inter-organizacionais, tais como a SI e os PIEs. Conforme apresentado anteriormente, a fase de construção e montagem de empreendimentos industriais é caracterizada pela presença de empreiteiras, sub-contratadas e outros atores no mesmo canteiro de obras, propiciando que práticas inter-organizacionais similares às aquelas observadas em PIEs sejam implementadas nessa fase do ciclo de vida dos empreendimentos industriais.

Nesse capítulo, é apresentada a metodologia adotada para investigar como a EI pode contribuir para a gestão de resíduos sólidos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais. Inicialmente, no item 4.1, analisa-se o processo de implantação de um PIE convencional. Alguns elementos-chave de cada uma das fases do ciclo de vida dos PIEs, em sua concepção clássica, são apresentados.

Em seguida, no item 4.2, tomando como base os elementos-chave das fases de planejamento, projeto, construção e operação dos PIEs clássicos, analisa-se o processo de gestão de resíduos nos mesmos. As principais práticas relacionadas a esse processo são discutidas frente às especificidades dos canteiros de obras de empreendimentos industriais, apresentando-se uma proposta para aplicação de tais práticas nesses canteiros, isto é, uma adaptação do modelo dos PIEs clássicos para esse contexto.

Por fim, para investigar a aplicação das práticas consideradas na proposta apresentada em canteiros de obras de empreendimentos industriais e discutir as suas contribuições para a gestão de resíduos nos mesmos, adota-se o estudo de caso como método de pesquisa. As etapas e ferramentas a serem aplicadas no estudo de caso são apresentadas ao final do item 4.2. A Figura 3 ilustra as etapas da metodologia adotada.

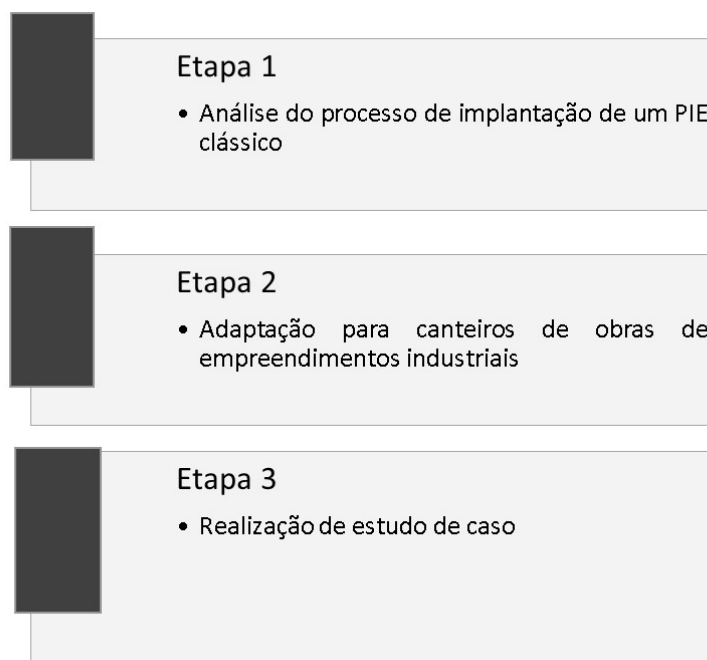


Figura 3. Etapas da metodologia proposta.

Fonte: Elaboração própria.

4.1 Parques Industriais Ecológicos clássicos: metodologia de implantação

Apesar de o conceito de PIE ser flexível, alguns elementos-chave para o seu planejamento, projeto, construção e operação são apontados na literatura (LOWE *et al.*, 1996; COTÊ e COHEN-ROSENTHAL, 1998; LOWE, 2001; VEIGA, 2007; BELLANTUONO, 2017; UNIDO, 2017). Tratam-se de elementos que, ao serem considerados em cada uma dessas etapas do ciclo de vida de um PIE, contribuem para o alcance dos benefícios ambientais, econômicos e sociais almejados pelos atores envolvidos. A seguir, algumas considerações acerca destes elementos são apresentadas. A Figura 4 ilustra os elementos-chave que serão discutidos.

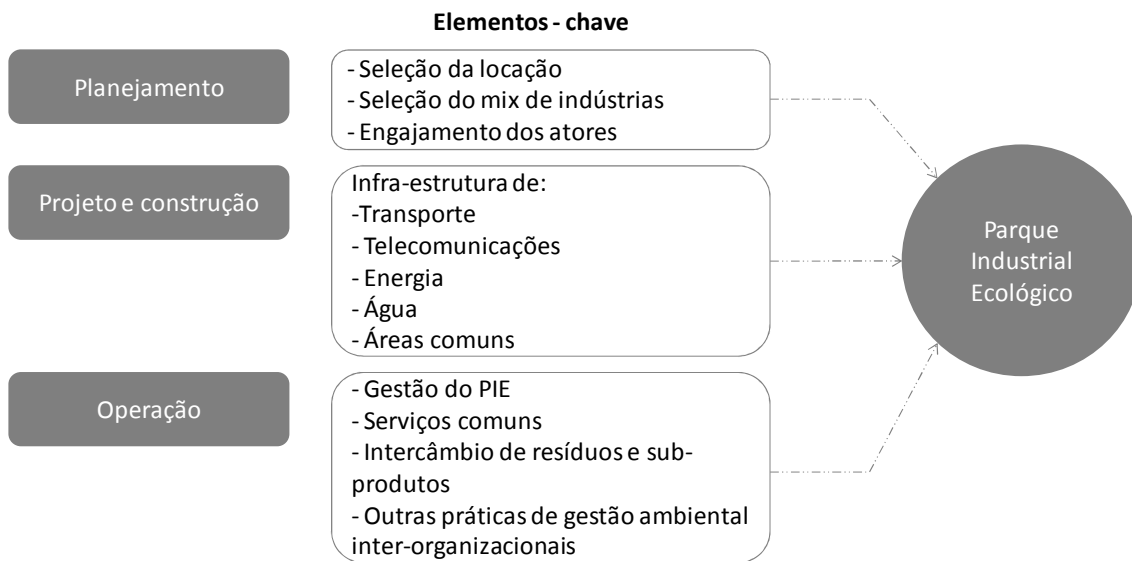


Figura 4. Alguns elementos-chave de Parques Industriais Ecológicos.

Fonte: Elaboração própria.

4.1.1 Planejamento

A fase de planejamento ocorre exclusivamente em PIEs desenvolvidos em *greenfields*, devendo-se aproveitar as vantagens trazidas pelo fato de que as questões relacionadas à sustentabilidade podem ser consideradas desde o início do empreendimento. Alguns dos principais elementos a serem considerados nesta fase são: seleção da locação, seleção do mix de indústrias e engajamento dos atores.

a) Seleção da locação

Os fatores considerados no processo decisório para definição da localização mais adequada para instalação de atividades industriais passaram por um processo de mudanças ao longo do século XX, no qual podem se identificar três fases (FRAGOMENI, 2005). Em uma primeira fase, correspondente ao período de maturidade da Revolução Industrial, custos de transporte e de mão-de-obra eram determinantes para a seleção locacional. A partir da década de 50, a proximidade com o mercado consumidor, com fornecedores de bens e serviços e outros benefícios econômicos oriundos da instalação das atividades industriais em aglomerados (distritos) passaram a estar no centro do

processo de seleção locacional. Por fim, a partir da década de 90, com o aumento da percepção sobre questões socioambientais, fatores antes não levados em consideração como imagem, relacionamento com comunidades vizinhas e aspectos ambientais tornaram-se primordiais para determinar a locação industrial.

Dentro desse contexto, a seleção da locação dos PIEs envolve a análise de diferentes alternativas, comparadas com base na realização de um diagnóstico das regiões consideradas. Aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos, tais como disponibilidade de água, energia, vias de acesso, matéria-prima, recursos e mão-de-obra, legislação aplicável, qualidade ambiental local, perfil sócio-econômico da região, dinâmica da indústria local, existência de incentivos públicos e unidades de conservação presentes na área são alguns dos fatores comumente investigados (DESROCHERS, 2001). Os impactos ambientais resultantes da implantação do PIE devem ser também avaliados (UNIDO, 2017), buscando-se planejá-lo de forma a preservar o ecossistema local (VEIGA, 2007).

b) Seleção do mix de indústrias

A diversidade ou heterogeneidade industrial tem influência direta sobre o estabelecimento de relações de intercâmbio de resíduos, sub-produtos, água ou energia em um PIE (CHERTOW, 2008; VEIGA e MAGRINI, 2009), uma vez que a presença de indústrias que gerem subprodutos que possam ser empregados como insumos nos processos produtivos de outras indústrias presentes no PIE possibilita o estabelecimento de tais relações.

Em PIEs planejados em *greenfields*, uma estratégia sugerida por LOWE (2001) e CHERTOW (2000) para facilitar o intercâmbio de resíduos consiste em selecionar, inicialmente, uma indústria âncora, a partir da qual são selecionadas outras tipologias industriais que apresentem sinergias com a âncora. Empresas âncora podem também desempenhar o papel de atração de outras empresas para o PIE (BELLANTUONO *et al.*, 2017) contribuindo para o seu desenvolvimento.

Já em PIEs desenvolvidos a partir de distritos industriais pré-existentes (*brownfields*), uma vez que não há uma fase de seleção do mix de indústrias, as relações de troca/compra de resíduos já existentes entre empresas co-localizadas no distrito industrial consistem em fator relevante para sua conversão em PIEs (TRAMA, 2016).

Apesar de o desenvolvimento de sinergias de resíduos entre as indústrias de um PIE consistir em um de seus objetivos centrais, alguns estudos têm considerado uma perspectiva incremental sobre as redes de cooperação inter-organizacionais formadas em PIEs. Segundo essa perspectiva, o intercâmbio de resíduos e energia consiste no objetivo final da rede, enquanto a implementação de outras práticas inter-organizacionais, tais como o compartilhamento de serviços e utilidades, bem como a troca de informações e conhecimento, pode ser considerada como um estágio inicial de desenvolvimento (HEERES *et al.*, 2004; GIBBS e DEUTZ, 2005).

c) Engajamento dos atores

Nos PIEs, busca-se uma gestão ambiental cooperativa entre os atores envolvidos, pressupondo-se a integração entre as indústrias, entre estas e a comunidade e entre as indústrias, comunidade, setor público e o meio-ambiente. Cada um desses atores desempenha um papel diferente nos PIE e é envolvido no seu processo de desenvolvimento de diferentes maneiras.

Com relação às indústrias, o processo de tomada de decisão quanto à participação em um PIE envolve a avaliação dos possíveis ganhos em termos de desempenho econômico, ambiental e social, resultantes da cooperação e das sinergias desenvolvidas no PIE. Outros aspectos como a melhoria da imagem da empresa, a possibilidade de licenciamento ambiental conjunto, a economia de matéria-prima e recursos decorrentes das trocas de resíduos, a possibilidade de maior aceitação e formação de parceria com a comunidade são também considerados (VEIGA, 2007). Do mesmo modo, os custos envolvidos, os riscos relacionados à formação de relações comerciais não associadas ao negócio principal da empresa e os contratos requeridos são também avaliados no processo de tomada de decisão. Geralmente, esses aspectos, somados a questões burocráticas, representam um obstáculo à formação das relações de simbiose entre diferentes empresas (BELLANTUONO *et al.*, 2017), motivo pelo qual políticas públicas e outras iniciativas do setor governamental tornam-se importantes para o desenvolvimento dos PIEs (PARK *et al.*, 2008).

A participação de agentes do governo em PIEs costuma se dar por meio de incentivos fiscais, formulação de programas de fomento, suporte no processo de licenciamento ambiental, subsídios a empresas de pequeno e médio porte, disseminação da experiência

para outras localidades, dentre outros. JIAO e BOONS (2014), com base em revisão da literatura, analisaram a efetividade e a evolução dos programas governamentais de suporte e incentivo ao desenvolvimento de PIEs, concluindo que os mesmos diferem caso a caso, sendo dependentes do contexto em que foram implementados.

Com relação à participação da comunidade, de maneira geral, tanto o planejamento quanto o projeto, a construção e a operação do PIE, necessitam de apoio da comunidade, não apenas daquela que reside na área de influência do PIE, mas também de todos os impactos pela sua implantação, tais como indústrias locais, associações comunitárias, trabalhadores e a população como um todo (VEIGA, 2007). A identificação da comunidade impactada e o seu envolvimento na fase de planejamento e projeto do PIE são apontados como princípios a serem seguidos no projeto de PIEs (SAIKKU, 2006; TSENG e BUI, 2017).

Por fim, o envolvimento de universidades e centros de pesquisa pode contribuir para a análise de aplicações de diferentes sub-produtos nos processos produtivos co-localizados no PIE (BELLANTUONO, 2017), além do desenvolvimento de novas tecnologias e da realização de projetos de pesquisa e desenvolvimento focados no desenvolvimento de sinergias inter-organizacionais.

Cabe salientar que a cooperação entre os atores envolvidos em um PIE é um fator essencial em todas as fases do seu ciclo de vida, sendo que a sequência de eventos por meio dos quais os atores são envolvidos e por meio das quais as relações de simbiose ou cooperação são estabelecidas tem sido alvo de pesquisas recentes, conforme detalhado anteriormente no item 3.4.

As relações de simbiose e de colaboração formadas entre os atores envolvidos em PIEs resultam na formação de redes industriais. Redes são arranjos inter-organizacionais que permitem troca de recursos e solução de problemas que não poderiam ser equacionados por uma organização isoladamente (AGRANOFF e MCGUIRE, 1998), apresentando diversas oportunidades para os envolvidos (HÄMÄLÄINEN, 2006). As redes industriais podem facilitar o acesso a informações, recursos, mercado e tecnologias (GULATI *et al.*, 2000), além de *know-how* e capacitação (KALE *et al.*, 2000). Em alguns casos, permitem, ainda, que os membros da rede se envolvam em projetos que estão além de sua capacidade individual (NORAN e ROMERO, 2014) e enfrentem desafios cuja solução envolve, necessariamente, múltiplos atores como, por exemplo, a gestão dos

impactos ambientais associados a todo o ciclo de vida de um determinado produto (HÄMÄLÄINEN, 2006).

Assim, dentro de um ambiente em constante mudança e com desafios crescentes, a atuação em redes tem se mostrado cada vez mais necessária, sendo que os motivos pelos quais organizações se engajam em redes são bastante diversificados.

A formação de redes para aumentar a eco-eficiência dos processos produtivos e reduzir os impactos ambientais da produção de diferentes produtos, isto é, a formação de redes eco-industriais tem se intensificado nas últimas décadas (PATALA *et al.*, 2014). As discussões a respeito de alguns tipos de redes eco-industriais tiveram início há quase trinta anos (KANTOR *et al.*, 2015) como é o caso das redes de SI cujo início da discussão se deu com a definição do conceito de ecossistemas industriais por FROSCH e GALLOPOULOS (1989).

4.1.2 Projeto e construção

Na fase de projeto de um PIE, devem ser adotadas as soluções que melhor equilibrem o desenvolvimento ambiental, econômico e social do empreendimento. Considerando que os PIEs consistem em uma evolução dos distritos industriais em direção a sistemas mais sustentáveis, algumas questões relevantes como os impactos decorrentes de sua construção, a elaboração de projeto de infraestrutura que permita a operacionalização das sinergias identificadas na fase de planejamento, bem como a busca pela preservação do ecossistema local ou recuperação de áreas que tenham sido previamente degradadas devem ser consideradas. A infraestrutura de transporte, de telecomunicações, de produção e distribuição de energia, de tratamento e distribuição de água/efluentes, e as áreas comuns são essenciais para a operação de um PIE. Algumas considerações a respeito do projeto e construção de tais estruturas são apresentadas a seguir.

a) Transporte

A infraestrutura de transporte de um PIE, além de permitir o acesso de clientes, empregados e fornecedores, bem como o escoamento otimizado de produtos e a chegada de matéria-prima até o *site*, deve considerar dentre seus objetivos a redução do consumo de energia, da geração de emissões atmosféricas e da contaminação do solo durante as

atividades de transporte. O uso de materiais porosos nas vias de transporte para permitir que a água percole através do solo, a análise de diferentes modais de transporte (ferroviário, por exemplo) para matérias-primas e produtos, a implementação de serviços integrados de transporte para funcionários das empresas envolvidas, o uso de veículos elétricos ou a gás e a instalação de alguns serviços básicos dentro do PIE para reduzir o deslocamento de funcionários (bancos, farmácias, dentre outros) são alguns dos fatores que podem reduzir os impactos ambientais decorrentes da logística de transporte adotada pelas indústrias localizadas no PIE (BELLANTUONO, 2017).

b) Sistema de informações e telecomunicações

A infraestrutura de informática e telecomunicações instalada em um PIE é essencial para a operação das empresas envolvidas e para a gestão do PIE como um todo. O uso de sistemas para o monitoramento e a gestão de dados inerentes ao PIE (qualidade do ar, tráfego de veículos, dentre outros) faz-se necessário para que sejam identificadas oportunidades de melhoria relacionadas ao desempenho sócio-econômico e ambiental do mesmo (BELLANTUONO, 2017), bem como para identificação de novas sinergias entre as indústrias instaladas no PIE. Nesse sentido, bases de dados comuns a todas as empresas e a atuação de um agente central (coordenador do PIE) para analisar os dados monitorados, bem como manter as empresas em contato e disseminar informações, pode contribuir para a gestão e desempenho do PIE. HEERES *et al.* (2004) e TUDOR *et al.* (2007) enfatizam a importância de monitorar informações como: produtos manufaturados e serviços prestados por cada empresa instalada no PIE, correntes de energia e materiais empregadas, aquisições e mercado de atuação de cada empresa, planos futuros e necessidades.

c) Energia

Em PIEs, muitas empresas produzem e consomem energia simultaneamente, o que cria a oportunidade de utilizar, por exemplo, o calor exausto de um processo industrial de uma dada empresa para as atividades de outra empresa vizinha instalada no PIE. A premissa de que é possível empregar energia de menor qualidade em processos que permitem tal aproveitamento corresponde a um dos pilares da otimização do consumo energético em um PIE (LOWE, 2001).

O aproveitamento de tais sinergias entre as empresas exige a implementação de infraestrutura específica para tal fim, o que tem que se mostrar viável do ponto de vista, não apenas técnico, mas também econômico. Há relatos, na literatura, de projetos dessa natureza que levaram anos para ser implementados devido a longos processos de análise de viabilidade (BAAS e HUISINGH, 2008).

No contexto dos PIEs, uma vez que há diversas empresas co-localizadas operando simultaneamente, é possível que algumas dessas não tenham conhecimento de que a energia não aproveitada por seus processos poderia ser empregada nos processos produtivos de outras empresas. Dessa forma, a gestão da informação é um elemento essencial para que os objetivos do PIE sejam alcançados, conforme já mencionado no item anterior, havendo estudos focados no desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de gerenciar amplos conjuntos de informações e resolver problemas complexos como os relacionados à eficiência energética em PIEs (ZHANG *et al.*, 2017a; ZHANG *et al.*, 2017b).

Outros aspectos a serem considerados no que se refere ao uso de energia em PIEs são a adoção de práticas focadas na eliminação de desperdícios (luzes e aparelhos funcionando desnecessariamente), no melhor funcionamento dos sistemas de produção e consumo (assegurar que todos equipamentos estejam devidamente regulados), na adoção de tecnologias que utilizem menos energia e na avaliação do potencial de uso de energias provenientes de fontes renováveis (VEIGA, 2007). Cabe ressaltar que boa parte das práticas citadas buscam a conservação da energia, isto é, a redução da demanda de energia proveniente de fontes externas, do consumo e dos desperdícios, acompanhado pelo aumento da eficiência no uso e no aproveitamento de energia que seria dissipada para o ambiente em processos produtivos.

d) Água

A água apresenta múltiplos usos, tanto na sociedade, de maneira geral, quanto na indústria. Assim como se observa nas questões relacionadas ao uso da energia, diferentes usos da água requerem diferentes níveis de qualidade. Com isso, dependendo da qualidade e da quantidade de água demandada por um dado processo industrial, torna-se possível utilizar água que já foi empregada em outro processo como insumo, isto é, promover o reuso do efluente de outro processo.

Caso o efluente de um processo industrial seja utilizado diretamente por outra atividade industrial sem qualquer tratamento prévio tem-se um caso de reuso em cascata. Quando os efluentes passam por um processo de tratamento antes de serem empregados em uma atividade industrial, tem-se o reuso de efluentes provenientes de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE).

Para promover o reuso de água em um PIE, é preciso, primeiramente, conduzir um levantamento de dados referentes à qualidade e à quantidade de água requerida por cada processo industrial presente no PIE. A partir desses dados, diferentes modelos e ferramentas podem ser empregados para otimizar o uso da água no PIE, como modelos de otimização multi-objetivo.

Nesses modelos, em geral, busca-se minimizar os custos relacionados à captação, tratamento e distribuição de água (objetivo econômico), bem como minimizar a quantidade de água consumida (objetivo ambiental) (BOIX *et al.*, 2015). Alguns modelos tem buscado minimizar tanto o consumo de água quanto o volume de efluentes lançados no ambiente (AVISO *et al.*, 2011; TIU e CRUZ, 2017). Nesses modelos, os custos e benefícios ambientais relacionados ao reuso de efluentes entre diferentes plantas industriais, seja reuso em cascata ou após tratamento, são considerados.

Os projetos de reuso resultantes de tais análises envolvem a construção de infraestrutura de coleta e tratamento de efluentes. Em alguns PIEs, instalados em países nos quais existiram programas governamentais de estímulo ao desenvolvimento de PIEs, projetos como esse receberam subsídios financeiros significativos, facilitando sua viabilização (KIM, 2017).

Cabe mencionar ainda que, em PIEs, é comum avaliar a viabilidade técnico-econômica de construir e operar uma única estação de tratamento de efluentes comum a todas as indústrias localizadas no PIE (LOWE, 2001). Há diversos PIEs, localizados em diferentes países, nos quais as empresas compartilham uma única estação de tratamento de efluentes (CAROLI *et al.*, 2015).

e) Infraestrutura e áreas comuns

O projeto e o uso comum de infraestruturas como áreas de armazenamento de resíduos, centrais de reciclagem, armazéns, restaurantes, ambulatórios, auditórios e salas de reunião possibilitam a redução de custos para as empresas envolvidas, a otimização do

espaço físico nos PIEs, bem como a convivência entre profissionais de diferentes empresas (LOWE, 2001; CAROLI *et al.*, 2015).

A existência de um agente central que desempenhe o papel de coordenador das atividades no PIE, incluindo a coordenação da fase de projeto, é tida como uma alternativa interessante para superar restrições das empresas referentes à confidencialidade dos dados necessários ao projeto de infraestrutura dos PIEs (RAMOS *et al.*, 2016). Esse agente pode receber os dados necessários e empregá-lo no projeto do PIE, mantendo a sua confidencialidade, isto é, assegurando que esses não se tornem públicos a todos os envolvidos no desenvolvimento do PIE.

f) Construção

Com relação à fase de construção de um PIE, algumas práticas podem ser adotadas, visando reduzir os impactos ambientais decorrentes das atividades características dessa fase. A inclusão de critérios ambientais no processo de seleção das empreiteiras que executarão as atividades, a elaboração de cláusulas contratuais que especifiquem metas relacionadas ao desempenho ambiental durante a execução das atividades construtivas e o monitoramento contínuo de alguns indicadores ambientais durante a construção são algumas dessas práticas.

Alguns requisitos que podem ser solicitados às empreiteiras, além do atendimento à legislação, incluem a elaboração e execução de plano de manutenção preventiva para todas as máquinas pesadas e veículos utilizados, a adoção de práticas que reduzam a geração de resíduos na obra bem como promovam o reuso interno dos mesmos, a priorização da reciclagem frente ao envio dos resíduos gerados para aterros, a utilização de sistemas de drenagem que reduzam o carreamento de sólidos para cursos d'água, o reuso interno de efluentes para fins menos nobres como umectação de vias não pavimentadas para reduzir a geração de poeira, dentre outros.

Em geral, a fase de construção não é abordada nos trabalhos que analisam a sustentabilidade ou a ecoeficiência dos PIEs, sendo a fase operacional o foco principal de pesquisa. Alguns guias e documentos com diretrizes para a implementação de PIEs abordam brevemente a sua fase construtiva, atendo-se, em sua maioria, a práticas comumente citadas em trabalhos que tratam da fase de construção de grandes empreendimentos de modo geral. As oportunidades de colaboração inter-organizacional

e simbiose entre as empreiteiras e outras empresas envolvidas na fase de construção do PIE não costumam ser exploradas.

4.1.3 Operação

Na fase de operação, os gestores do PIE são responsáveis por gerir e operacionalizar todos os serviços e áreas comuns do PIE, atuando de forma a manter a integração entre as indústrias instaladas no PIE, operacionalizar as sinergias existentes entre as mesmas, identificar novas sinergias e estimular a sua operacionalização, bem como manter a atratividade do PIE para novas empresas. Alguns elementos-chave relacionados à operação dos PIE são discutidos a seguir.

a) Gestão do PIE

A gestão de um PIE envolve o gerenciamento das partes e interesses comuns a todas as indústrias instaladas no mesmo. A equipe responsável pela gestão do PIE deve gerenciar os serviços e áreas comuns direta ou indiretamente, isto é, por meio de seu quadro de profissionais ou através da contratação de empresas especializadas em tais serviços.

Deve ainda assegurar que as empresas instaladas no PIE conheçam e cumpram um conjunto de regras e regulamentos referentes à conduta a ser seguida no PIE, às regras de uso de serviços e áreas comuns, aos direitos individuais e coletivos, bem como às contribuições das indústrias para as despesas de custeio comum, de forma a assegurar o bom funcionamento do PIE e o alcance dos objetivos econômicos, ambientais e sociais almejados (VEIGA, 2007). Para tal, pode ser definida uma convenção, agrupando as regras mencionadas e ainda os mecanismos para eleição dos gestores do PIE e de sua equipe, suas atribuições, o funcionamento das assembleias gerais e as regras para alteração da convenção do PIE.

Caso o PIE possua um sistema de gestão ambiental, caberá ainda à equipe gestora do PIE assegurar que todas as empresas localizadas no mesmo conheçam o sistema implementado, sua política, objetivos e metas, bem como os procedimentos a serem seguidos. Cabe destacar que as empresas instaladas em um PIE podem se beneficiar de simplificações administrativas como, por exemplo, a existência de licença ambiental para

o PIE, abrangendo a operação de toda a infraestrutura comum do PIE, o que elimina a necessidade de que cada empresa possua tal infraestrutura e licencie a mesma junto aos órgãos ambientais (TADDEO, 2016).

b) Serviços comuns

A provisão centralizada de serviços para as empresas instaladas em um PIE consiste em uma das tipologias de SI identificadas na literatura (CHERTOW, 2007; BOONS *et al.*, 2016), incluindo desde serviços básicos como segurança, jardinagem, limpeza e transporte (TADDEO, 2016), até serviços mais complexos como gestão de resíduos e consultoria técnica especializada relacionada, por exemplo, à conformidade legal (BELLANTUONO, 2017).

Com relação à gestão de resíduos, a provisão centralizada de serviços de coleta e transporte de resíduos é apontado como uma forma de reduzir o tráfego de veículos e melhorar a logística relacionada à destinação dos resíduos, por meio da elaboração de programações de coleta e o uso de rotas otimizadas (TSENG *e* BUI, 2017). Além disso, a contratação de uma empresa externa especializada em gestão de resíduos foi identificada como uma estratégia capaz de reduzir custos operacionais, contribuir para a destinação de resíduos prioritariamente para reuso e reciclagem (por meio da inserção de cláusulas contratuais específicas) e fortalecer a parceria entre as empresas geradoras de resíduos envolvidas (TSENG *e* BUI, 2017).

c) Intercâmbio de sub-produtos e resíduos

O processo de intercâmbio de sub-produtos e resíduos em um PIE envolve negociações entre empresas e elaboração de contratos para estabelecer os termos das relações comerciais como qualidade e quantidade dos sub-produtos/resíduos fornecidos, forma de entrega e valores envolvidos. A atuação de um agente central para gerenciar ou intermediar o processo de intercâmbio de resíduos pode impulsionar a participação das indústrias nesse processo, por meio: (i) do fornecimento de apoio para a formalização dos contratos necessários para operacionalizar a troca de resíduos, (ii) da análise dos dados das indústrias co-localizadas no PIE visando identificar potenciais oportunidades de troca de resíduos, (iii) do desenvolvimento de uma estratégia que permita expandir a troca de

resíduos do PIE para a região em que ele se encontra, (iv) da criação e manutenção de um mix de indústrias que ofereça diversas oportunidades de troca de resíduos (LOWE, 2005).

Em um modelo ideal, todos os subprodutos e resíduos gerados no PIE seriam aproveitados em processos produtivos presentes no mesmo, enquanto em situações comumente observadas nos PIE apenas parte dos subprodutos e resíduos são aproveitados internamente e o restante é destinado externamente (FELICIO *et al.*, 2016).

Nesse contexto, a expansão da troca de sub-produtos e resíduos para toda a região em que o PIE está instalado pode contribuir para o aumento da reinserção dos mesmos nos processos produtivos. As redes eco-industriais formadas pelas indústrias envolvidas na troca de sub-produtos e resíduos podem, dessa forma, não estar limitadas às fronteiras do PIE. Comumente, essas redes são analisadas a partir de seus nós (indústrias participantes) e de suas cordas (conexões entre as indústrias envolvidas) (ASHTON, 2008; SCHILLER *et al.*, 2014).

Trabalhos recentes (ZENG *et al.*, 2013, LI *et al.*, 2017) tem investigado a vulnerabilidade das redes de SI, tendo-se observado que as mesmas são suscetíveis a: (i) variações eventuais de processos resultantes de falhas de equipamentos ou erros operacionais que impactam o fluxo de sub-produtos gerados, (ii) mudanças definitivas nos processos operacionais de uma empresa alterando os sub-produtos gerados, (iii) alterações nas características ou quantidades dos sub-produtos gerados, (iv) colapso de empresas que participavam da rede (LI e SHI, 2015).

Perturbações em apenas uma das empresas envolvidas (nó da rede) podem apresentar um efeito em cascata, impactando todo o restante da rede (ALLENBY e FINK, 2005; BOONS e SPEKKINK, 2012). LI *et al.* (2017) avaliaram a influência de diferentes empresas sobre a rede de SI do PIE de Qijiang na China, a partir de simulações que envolveram a remoção de nós da rede (empresas) e de cordas (relações entre empresas). Os autores verificaram que empresas localizadas no início (montante) da sequência de relações de simbiose formada apresentam maior influência sobre a rede como um todo. Os autores propõem três medidas para reduzir a vulnerabilidade da rede: (i) assim como em outras relações de fornecimento, é importante buscar-se mais de um fornecedor para um dado resíduo ou sub-produto empregado como insumo nos processos produtivos das principais empresas do PIE, seja ele um fornecedor interno ou externo, de modo a evitar que flutuações de um fornecedor impactem negativamente a rede de SI como um todo;

(ii) assegurar que a infraestrutura do PIE esteja sempre adequada à operacionalização das trocas de resíduos, sub-produtos, água e energia, promovendo reformas, ampliações e modificações, sempre que necessário, para contribuir para a manutenção das relações (iii) monitorar continuamente a qualidade e a quantidade dos principais sub-produtos e resíduos envolvidos nas relações de simbiose presentes nos PIE.

A partir do exposto, torna-se evidente que a operacionalização das relações de troca de sub-produtos e resíduos nos PIEs apresenta uma complexidade que se estende além da identificação de oportunidades de troca de resíduos entre empresas, envolvendo a dinâmica de mercado na qual essas empresas estão inseridas.

d) Outras práticas inter-organizacionais

Além das práticas já mencionadas, outras práticas inter-organizacionais propiciadas pela co-localização entre as empresas que compõem um PIE podem ser adotadas como, por exemplo, a realização de programas de treinamento conjuntos entre as empresas, ao menos, no que diz respeito a questões relacionadas à sustentabilidade e demais assuntos de interesse comum.

Dentre as práticas inter-organizacionais que podem ser adotadas em PIEs, a gestão ambiental das cadeias de suprimentos merece destaque. Em uma visão convencional, cadeias de suprimentos são estruturas lineares em que bens são conduzidos de fornecedores para transformadores, atacadistas, varejistas e aos consumidores finais (LAMBERT *et al.*, 1996). Definições mais recentes incorporam, além do fluxo de materiais, os fluxos de serviços, de recursos financeiros e de informações (MENTZER *et al.*, 2001), além da possibilidade de o relacionamento entre as organizações se dar não apenas de maneira sequencial, mas também na forma de redes (PIRES, 2004).

As cadeias de suprimentos são, portanto, redes de organizações conectadas e interdependentes, por meio das quais matéria flui nos sistemas industriais. A EI tem por objetivo otimizar o fluxo de matéria e energia nos sistemas industriais. Assim, a gestão das cadeias de suprimentos torna-se relevante no contexto dos PIEs, conforme mencionado por BELLANTUONO (2017).

Nos últimos anos, a gestão de cadeias de suprimentos teve seus principais processos revistos sob a ótica ambiental. A incorporação de ações voltadas à redução dos impactos ambientais ao longo das cadeias de suprimentos deu origem à chamada gestão ambiental

da cadeia de suprimentos. As definições para gestão ambiental da cadeia de suprimentos apresentam diferentes enfoques, conforme compilado por AHI e SEARCY (2013). Há desde definições de caráter geral como, por exemplo, a integração de preocupações ambientais nas práticas inter-organizacionais adotadas na gestão de cadeia de suprimentos (SARKIS *et al.*, 2011) até definições que dão enfoque à gestão de fornecedores (LEE e KLASSEN, 2008; GAVRONSKI *et al.*, 2011), enquanto outras apresentam uma perspectiva focada no produto (SRIVASTA, 2007; H'MIDA e LAKHAL, 2007; WEE *et al.*, 2011).

A partir das definições identificadas na literatura, depreende-se que a gestão ambiental da cadeia de suprimentos envolve uma ampla faixa de atividades. Não há na literatura um consenso quanto às atividades e processos que compõem a gestão ambiental da cadeia de suprimentos. Entretanto, seis processos são comumente citados (ELTAYEB *et al.*, 2011; CHUN *et al.*, 2015; LEIGH e LI, 2015; SCUR e BARBOSA, 2017). A Tabela 9 apresenta resumidamente tais processos.

Pode-se observar que vários desses processos baseiam-se em premissas alinhadas à EI, de forma que a sua implementação em PIE pode contribuir para o alcance dos objetivos ambientais dos mesmos, transcendendo, inclusive, as suas fronteiras, uma vez que as cadeias de suprimentos das empresas localizadas em um PIE não se encontram totalmente contidas no interior de suas fronteiras.

Tabela 9. Principais atividades contempladas em cada um dos processos.

Processo	Descrição
Eco-design	Eco-design refere-se à busca pelo desenvolvimento de produtos que gerem menor impacto ambiental. Atividades de eco-design contemplam a eliminação do uso de substâncias tóxicas nos produtos desenvolvidos, a redução do uso de matéria-prima e energia durante o uso dos produtos e ao desenvolvimento de projetos que facilitem o reuso, a reciclagem e a remanufatura ao final do ciclo de vida dos produtos desenvolvidos.
Gestão ambiental de suprimentos	A gestão ambiental de suprimentos refere-se à iniciativas que buscam assegurar que os produtos adquiridos estejam de acordo com certos critérios ambientais definidos pela empresa. Inclui atividades como o desenvolvimento de especificações técnicas de compra que considerem atributos ambientais (ausência de substâncias tóxicas, composição baseada em materiais reciclados ou recicláveis, dentre outros).
Gestão ambiental da manufatura	A gestão ambiental da manufatura refere-se à aplicação de princípios, técnicas e operações sustentáveis no processo de manufatura de um produto. Abrange a maximização da eficiência no uso de energia e de matérias-primas, assim como, a minimização da geração de resíduos perigosos nos processos produtivos.
Logística reversa	Logística reversa é o processo relacionado à implementação do fluxo reverso na cadeia de suprimentos, visando o melhor aproveitamento dos materiais ou produtos retornados pelos consumidores, por meio da recuperação, remanufatura ou reciclagem dos mesmos.
Gestão ambiental de fornecedores	A gestão ambiental dos fornecedores compreende práticas de controle e de colaboração ambiental com fornecedores. Práticas de controle incluem a seleção de fornecedores baseada em critérios ambientais e a realização de auditorias em fornecedores, visando a avaliação de seu desempenho ambiental. Práticas de colaboração referem-se às atividades realizadas pela empresa com o objetivo de contribuir para a melhoria do desempenho ambiental de seus fornecedores. Incluem atividades de treinamento, suporte técnico, investimento em programas ambientais dos fornecedores, disseminação de boas práticas e realização de programas ou atividades em conjunto.
Gestão ambiental de clientes	De forma similar à gestão ambiental de fornecedores, a gestão ambiental de clientes refere-se às ações tomadas por uma determinada empresa visando contribuir para a melhoria do desempenho ambiental de seus clientes. Inclui práticas de intercâmbio de informações técnicas com clientes, treinamentos, suporte técnico e realização de atividades conjuntas. Pode ser interpretada também como a gestão focada na identificação dos requisitos ambientais exigidos pelos clientes e no seu pleno atendimento.

Fonte: Elaborado com base em SEURING e MUELLER, 2008; ELTAYEB *et al.*, 2011; ANDIÇ *et al.*, 2012; CHUN *et al.*, 2015; LEIGH e LI, 2015; LUZZINI *et al.*, 2015; PIMENTA e BALL, 2015; SCUR e BARBOSA, 2017.

4.2 Ecologia Industrial em canteiros de obras industriais

No processo de gestão de resíduos sólidos, o aproveitamento de sinergias entre empresas, localizadas em uma mesma área industrial ou região, é apontado como uma oportunidade que pode gerar benefícios (TIAN *et al.*, 2012; TIAN *et al.*, 2014; SIMBOLI *et al.*, 2015; TADDEO, 2016; TSENG e BUI, 2017). Nos PIEs, tal aproveitamento de sinergias se dá a partir de alguns dos elementos-chave apresentados no item 4.1. Esses elementos, implementados ao longo do ciclo de vida de um PIE clássico, diferenciam a gestão de resíduos no PIE daquela observada em outras áreas industriais que não seguem os conceitos da EI.

Em PIEs, a gestão de resíduos sólidos é planejada desde a fase de concepção. Desde o processo de seleção do mix de indústrias que integrará o PIE, busca-se criar oportunidades de formação de relações de intercâmbio de resíduos entre essas. Para tal, sistemas informatizados e programas computacionais especializados podem ser empregados, permitindo o registro de dados referentes aos resíduos gerados por empresas de diferentes setores industriais (caracterização e classificação, bem como as estimativas de geração) e, conseqüentemente, a identificação de oportunidades de intercâmbio de resíduos entre as mesmas (BELLANTUONO *et al.*, 2017).

Além disso, ainda na fase de planejamento, a seleção da locação do PIE considera uma série de elementos, dentre os quais podem-se citar as características da indústria na região onde o PIE será instalado. A existência de indústrias com as quais as empresas do PIE possam estabelecer intercâmbio de resíduos é um dos fatores considerados no processo de seleção da alternativa locacional.

Já na fase de projeto do PIE, infraestrutura e áreas de uso comum são concebidas. Dentre essas, comumente, encontram-se uma área de armazenamento de resíduos para uso compartilhado entre as empresas do PIE e, por vezes, centrais de reciclagem.

Ainda nas fases de planejamento e projeto dos PIEs, são definidos e contratados os serviços que serão disponibilizados às empresas que vierem a se instalar nos mesmos, dentre os quais pode-se citar a prestação de serviços de gestão de resíduos (TSENG e BUI, 2017). Adicionalmente, são obtidas as licenças necessárias para a operação do PIE, definidos procedimentos para o uso das áreas comuns e adotado sistema informatizado para o acompanhamento de todas as informações referentes à gestão dos resíduos gerados

no PIE. Pode-se, ainda, implantar um sistema de gestão ambiental no PIE, com objetivos, metas e procedimentos a serem observados pelas empresas instaladas no mesmo, o qual dará suporte ao processo de gestão de resíduos.

Cabe mencionar que a oportunidade de formação de relações de intercâmbio de resíduos, de utilização da infraestrutura comum do PIE e de aproveitamento dos serviços disponibilizados no mesmo são fatores levados em consideração pelas empresas em seus processos de tomada de decisão quanto à instalação de suas plantas industriais em um PIE. Isto é, tais fatores e seus potenciais benefícios influenciam o processo de atração de empresas para o PIE.

Todos esses elementos, definidos e implantados nas fases de planejamento, projeto e construção do PIE, permitem que os resíduos sejam gerenciados de forma alinhada aos conceitos da EI, quando o PIE entra em operação. A partir do momento em que se inicia a geração de resíduos no PIE, esses são geridos por meio do contrato centralizado de prestação de serviços de gestão de resíduos firmado na fase de planejamento. Tem-se início, também, o uso das áreas e da infraestrutura comum do PIE e a operacionalização das relações de intercâmbio de resíduos entre as empresas instaladas no mesmo. Destaca-se que tanto o acompanhamento do contrato de prestação de serviços de gestão de resíduos quanto a gestão das áreas comuns costumam ficar sob responsabilidade do agente que realiza a coordenação do PIE.

Na fase de operação do PIE, outras práticas inter-organizacionais também podem ser observadas. Treinamentos podem ser realizados de forma integrada entre as empresas instaladas no PIE e algumas práticas de gestão ambiental da cadeia de fornecedores podem ser implementadas como, por exemplo, o estabelecimento de cláusula nos contratos indicando que os fornecedores devem recolher determinados tipos de embalagem, além de atender outros requisitos ambientais.

Com certa periodicidade, são realizadas verificações de conformidade legal e ações corretivas e preventivas são implementadas para assegurar a melhoria do processo de gestão de resíduos no PIE. Tais atividades podem ser realizadas por meio dos contratos de prestação de serviços comuns do PIE como, por exemplo, contratos para realização de auditorias internas.

Em resumo, a seleção do mix de industriais, a seleção da locação, o engajamento dos atores envolvidos com o PIE, o compartilhamento de infraestrutura, a prestação de

serviços de forma centralizada, o intercâmbio de resíduos, a implantação de sistema de gestão ambiental no PIE, o uso de sistemas de informações integrados no PIE e a aplicação de outras práticas inter-organizacionais são elementos que diferenciam a gestão de resíduos sólidos em um PIE daquela realizada em áreas industriais que não seguem os conceitos da EI.

Cabe mencionar que os elementos-chave dos PIEs recebem diferentes nomenclaturas na literatura como, por exemplo, práticas de sustentabilidade (BELLANTUONO *et al.*, 2017) e requisitos técnicos (TADDEO, 2016). No restante da presente tese, será utilizada a terminologia prática ao invés de elemento, por se pretender dar ênfase ao ato e não ao objeto. Por exemplo, pretende-se focar a prática de compartilhar infraestrutura, e não a infraestrutura propriamente dita.

A aplicação das práticas mencionadas anteriormente, que caracterizam a gestão de resíduos sólidos nos PIEs, à fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, não tem sido alvo de estudos, embora, conforme mencionado anteriormente, a proximidade geográfica entre as empreiteiras instaladas em canteiros de obras de empreendimentos industriais propicie a aplicação das mesmas.

Conforme mencionado no item 4.1, o processo de implementação e operacionalização de um PIE não é rígido, adaptando-se às características específicas de cada contexto. Assim, a aplicação de práticas comumente observadas nos PIEs, em canteiros de obras de empreendimentos industriais, deve se dar de acordo com às suas especificidades.

Os canteiros de obras de empreendimentos industriais diferem em diversos aspectos dos PIEs. Dentre esses, destacam-se: a predominância de empresas de um único setor no canteiro de obras (setor da construção), enquanto nos PIEs há um mix de empresas de diferentes setores industriais; a geração de resíduos da mesma natureza pelas empresas instaladas no canteiro (resíduos da construção), enquanto nos PIEs há uma maior diversidade quanto aos tipos de resíduos gerados; o fato de o canteiro de obras ser temporário, enquanto os PIEs apresentam ciclos de vida longos; bem como diferenças quanto às fases que compõem o ciclo de vida dos PIEs e as etapas da construção e montagem de empreendimentos industriais (planejamento, contratação, mobilização de recursos, instalação de canteiro, terraplanagem, obras civis, montagem eletro-mecânica e desmobilização). Além dos aspectos mencionados, observam-se diferenças também

quanto às premissas adotadas para a construção e operação dos PIEs e aquelas empregadas em canteiros de obras. Por exemplo, nos PIEs, o projeto de infraestrutura visa permitir a operacionalização de sinergias entre as empresas que se instalarão no PIE, enquanto nos canteiros de obras não costuma se adotar esse tipo de premissa na fase de instalação do canteiro.

Faz-se necessário, assim, analisar as diferentes práticas relacionadas à gestão de resíduos adotadas em PIEs, face às especificidades dos canteiros de obras. No item 4.2.1, apresenta-se tal análise. Em seguida, no item 4.2.2, apresenta-se uma proposta de aplicação de tais práticas aos canteiros de obras de empreendimentos industriais. Por fim, adota-se o estudo de caso como método de pesquisa, para investigar a aplicação das práticas consideradas na proposta apresentada em canteiros de obras de empreendimentos industriais. Assim, no item 4.2.3, são apresentadas as etapas e as ferramentas a serem aplicadas, no estudo de caso.

4.2.1 Análise de práticas frente às especificidades dos canteiros de obras

Nesse item, cada uma das práticas relacionadas à gestão de resíduos em PIEs elencadas anteriormente (seleção do mix de industriais, seleção da locação, engajamento dos atores envolvidos com o PIE, compartilhamento de infraestrutura, prestação de serviços de forma centralizada, intercâmbio de resíduos, implantação de sistema de gestão ambiental, uso de sistemas de informações integrados e outras práticas práticas inter-organizacionais) são analisadas frente às especificidades da fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, visando à elaboração de uma proposta de adaptação da EI para a construção e montagem industrial.

a) Seleção da locação e seleção do mix de industriais

A seleção da locação de empreendimentos industriais ocorre em função, principalmente, de questões relacionadas à sua fase de operação. Aspectos relativos à fase de construção do empreendimento costumam ficar em segundo plano, devido ao caráter temporário dessa fase. Por exemplo, em geral, uma alternativa locacional caracterizada pela proximidade com fornecedores de insumos para a fase de operação do empreendimento será priorizada frente à outra alternativa marcada pela proximidade com

fornecedores de insumos para a fase de construção do empreendimento. Assim, a seleção da locação apresenta maior relação com a fase de operação do empreendimento, sendo que o canteiro de obras se localizará onde o empreendimento for ser construído, não havendo liberdade para seleção de sua locação.

Da mesma forma, a seleção do mix de indústrias não é possível em canteiros de obras de empreendimentos industriais, pois devido à natureza das atividades a serem realizadas, as empresas que se instalarão no canteiro são do setor de construção, não havendo possibilidade de seleção de um mix de indústrias.

Assim, tanto a seleção da locação quanto a seleção do mix de indústrias são práticas da fase de planejamento dos PIEs que não se aplicam à fase de construção e montagem de empreendimentos industriais devido às suas especificidades.

b) Engajamento dos atores

Na construção e montagem de empreendimentos industriais, o engajamento dos atores envolvidos ocorre de maneira diferente daquela observada nos PIEs. Enquanto nos PIEs, as empresas são atraídas pelos benefícios gerados pelas práticas, serviços e infraestrutura disponibilizada no PIE, na fase de construção e montagem de empreendimentos, as empreiteiras são contratadas por meio dos processos de contratação conduzidos pelo futuro operador do empreendimento, sendo portanto atraídas pelo escopo do trabalho a ser realizado e demais aspectos referentes ao mesmo.

Além do futuro operador do empreendimento e das empreiteiras, outros atores comumente envolvidos na construção de empreendimentos dessa natureza como, prestadores de serviços, fornecedores de equipamentos, de veículos e de insumos, costumam ser mobilizados pelas empreiteiras, após a sua contratação, numa fase denominada de mobilização (AFFONSO, 2001). Esse processo também ocorre por meio de processos de contratação.

Órgãos governamentais como, por exemplo, órgãos ambientais, costumam ser envolvidos, antes mesmo das empreiteiras, na fase em que o futuro operador do empreendimento dá início ao seu processo de licenciamento ambiental. Por fim, a comunidade, de maneira geral, envolve-se também desde o início do processo de licenciamento, principalmente, com a realização das audiências públicas sobre o empreendimento.

Dessa forma, apesar de o processo de engajamento dos atores, na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, ocorrer de maneira diferente daquela observada em PIEs, a existência de diversos atores que irão atuar e interagir durante toda a construção do empreendimento faz com que o engajamento dos atores seja um elemento relevante para a aplicação de práticas inter-organizacionais em canteiros de obras de empreendimentos industriais, similares às aquelas observadas em PIEs.

c) Prestação de serviços comuns de forma centralizada

Em PIEs, a centralização dos serviços de gestão de resíduos é apontada como uma estratégia que gera benefícios como a redução de custos operacionais, priorização da destinação de resíduos para reuso e reciclagem (TSENG e BUI, 2017) e maior eficiência do processo de gestão de resíduos (CHERTOW *et al.*, 2008).

Em canteiros de obras de empreendimentos industriais, na fase de mobilização, são firmados os contratos necessários para a prestação de serviços e fornecimento de bens necessários à execução das atividades construtivas (contratos de fornecimento de equipamentos, veículos, dentre outros).

Contratos para prestação de serviços de forma centralizada, à luz do que se observa em PIEs, poderiam ser firmados nessa fase. Entretanto, na revisão bibliográfica realizada na presente tese, não foram encontrados trabalhos que relatassem a adoção de contratos dessa natureza, tão pouco que analisassem aspectos relacionados à sua implantação em canteiros de obras, ou os benefícios decorrentes da prestação de serviços comuns de forma centralizada durante as fases em que as atividades construtivas são executadas (terraplanagem, atividades civis e montagem eletromecânica).

Assim, a prestação de serviços comuns de forma centralizada é uma prática que foi considerada na proposta de adaptação da EI à construção e montagem industrial, visando futura investigação por meio de estudo de caso.

d) Compartilhamento de infraestrutura e áreas comuns

Em um PIE clássico, a infraestrutura de uso comum disponibilizada a todas as empresas instaladas no PIE resulta em economia financeira, já que as empresas podem se eximir do custo de construir e manter tal infraestrutura, além de permitir a interação e

cooperação entre as empresas instaladas no PIE (LOWE, 2001; CHERTOW *et al.*, 2008; CAROLI *et al.*, 2015). Assim, o projeto de infraestrutura de um PIE é executado de acordo com a premissa de compartilhamento do uso entre as empresas.

Em canteiros de obras de empreendimentos industriais, tal premissa não é necessariamente assumida em sua fase de instalação. Nessa fase, são construídos escritórios, alojamentos, refeitórios, oficinas, estacionamento, ambulatório, almoxarifado, central de concreto, área de armazenamento de resíduos, entre outros (AFFONSO, 2001). Comumente, observa-se que cada empreiteira constrói toda a infraestrutura necessária para realização de suas atividades, não havendo integração com as demais. Entretanto, de forma similar ao que se observa em PIEs, em uma estratégia que busca o aproveitamento de sinergias entre as empreiteiras, poderia se optar pela construção de infraestrutura e áreas de uso comum entre as mesmas, sendo esperados benefícios semelhantes àqueles observados em PIEs.

A importância da construção de infraestrutura adequada nos canteiros de obras tem sido enfatizada (AJAYI *et al.*, 2017), entretanto aspectos relacionados ao compartilhamento de tais estruturas não têm sido abordados na literatura.

e) Intercâmbio de resíduos

O intercâmbio de resíduos entre as indústrias de um PIE consiste em um de seus objetivos centrais, por gerar benefícios como a redução do consumo de recursos naturais por meio de sua ciclagem no sistema produtivo, isto é, por meio do aproveitamento dos resíduos e sub-produtos gerados por uma indústria como insumos em outro processo produtivo.

Nas fases de terraplanagem, de obras civis e de montagem eletromecânica, as atividades executadas geram resíduos, os quais devem ser segregados, armazenados, transportados e destinados. Tais atividades podem ser realizadas diretamente pelas equipes das empreiteiras ou por meio de contratos de prestação de serviços dessa natureza, firmados na fase de mobilização, conforme já mencionado. Dentre as alternativas de destinação final adotadas para os resíduos, poderia se buscar oportunidades de envio dos mesmos para reaproveitamento nos processos produtivos de outras empresas, internas ou externas ao canteiro de obras, por meio do intercâmbio de resíduos. Para tal, faz-se necessário que os resíduos gerados no canteiro de obras sejam segregados e armazenados

adequadamente. A importância dessas práticas para redução da quantidade de resíduos da construção destinados para aterros já é conhecida e tem sido alvo de estudos (OYEDELE *et al.*, 2013).

Conforme mencionado no item 4.1.3, a operacionalização das relações de intercâmbio de resíduos em um PIE clássico, envolve, além da identificação da oportunidade de intercâmbio, negociações entre as empresas e estabelecimento de contratos e de infraestrutura adequada (LOWE, 2005; LI *et al.*, 2017). Entretanto, apesar da existência desses fatores que conferem complexidade ao processo, cabe mencionar que esse é, por vezes, facilitado pelo fato de, na fase de planejamento dos PIEs, buscar-se um mix de indústrias que propicie o estabelecimento de relações de intercâmbio de resíduos, o que não é possível, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais, devido ao escopo das atividades a serem desenvolvidas.

Cabe mencionar, ainda, que a fase de construção e montagem de empreendimentos industriais é temporária e que as atividades desenvolvidas ao longo dessa fase variam à medida que a construção do empreendimento evolui, de forma que as quantidades e os tipos de resíduos gerados variam também ao longo da mesma, conforme já mencionado no item 2.2. Essas características diferem de forma significativa da fase de operação de um empreendimento na qual os processos tendem a ser mais contínuos e a geração de resíduos também.

Não foram identificados trabalhos anteriores abordando o intercâmbio de resíduos na fase de construção de empreendimentos, tão pouco avaliando as consequências das especificidades da fase de construção e montagem de empreendimentos sobre essa prática, ou ainda os benefícios gerados pela mesma.

Há, assim, oportunidade para investigar o intercâmbio de resíduos na fase de construção de empreendimentos, devendo-se considera-lo em uma proposta de adaptação da EI para os canteiros de obras industriais.

f) Sistema de gestão ambiental no canteiro

Em PIEs clássicos, a gestão baseia-se em convenções que trazem o regramento a ser seguido pelas empresas que nele se instalam e também no sistema de gestão ambiental implementado no PIE.

A adoção de um sistema de gestão ambiental, calcado ou não em normas como a ISO 14.001, pode prover o suporte necessário à realização do processo de gestão de resíduos na fase de construção e montagem de um empreendimento industrial. Conforme já mencionado, no contexto do setor da construção, os sistemas de gestão ambiental ocorrem em dois níveis: da organização e do projeto, sendo que a existência do sistema de gestão em nível organizacional apoia a rápida implantação do mesmo em nível de projeto, necessária devido às especificidades do setor de construção (ZHAO *et al.*, 2012; CAMPOS *et al.*, 2013). Além disso, a implantação de sistemas de gestão ambiental durante a construção e montagem de empreendimentos industriais é apontada como um fator que pode contribuir para melhorar o desempenho ambiental durante tal fase (GOMES, 2008).

Dessa forma, a implantação de sistemas de gestão ambiental em canteiros de obras tem se adaptado às especificidades do setor da construção e se mostrado relevante para o mesmo, devendo ser considerada no âmbito de uma proposta de adaptação da EI à construção e montagem industrial.

g) Sistema de informações

Conforme mencionado anteriormente, em PIEs, o uso de sistemas de informações para monitorar aspectos ambientais relativos à operação do PIE facilita a gestão de tais informações, contribui para a identificação de sinergias entre as empresas instaladas no PIE, além de permitir a identificação de oportunidades de melhoria no sistema de gestão do PIE (BELLANTUONO *et al.*, 2017).

Em canteiros de obras de empreendimentos industriais, comumente, cada empreiteira adota sistemas de informações próprios para acompanhar aspectos relacionados as suas atividades. O uso de sistemas de informações comuns a todas as empreiteiras para acompanhamento de informações referentes a processos que ocorrem de forma integrada não foi reportado na literatura. Devido às características da fase de construção e montagem industrial, o uso de tais sistemas, provavelmente, envolveria aspectos como a escolha do sistema pelas empreiteiras, a definição da forma de pagamento das licenças de uso envolvidas, o treinamento dos profissionais das empreiteiras envolvidos, além da necessidade de rápida implantação do mesmo, dado o caráter temporário dessa fase.

Assim, cabe investigar a adoção desse tipo de prática no contexto da construção e montagem industrial, bem como os benefícios gerados pela mesma.

h) Outras práticas inter-organizacionais

Na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, no que se refere à gestão de resíduos, observa-se que há oportunidade para a aplicação de outras práticas inter-organizacionais como, por exemplo, a realização de treinamentos conjuntos para abordar aspectos comuns às atividades de todas as empreiteiras como, por exemplo, a coleta seletiva no canteiro de obras.

Seria possível, ainda, estabelecer canais de comunicação e organizar eventos para promover a troca de experiências entre as empreiteiras envolvidas na construção do empreendimento, considerando o fato de que todas estão atuando no mesmo projeto e encontram-se localizadas na mesma área, o que facilita a interação entre as mesmas.

Por fim, considerando que, na fase de mobilização, as empreiteiras firmam contratos com fornecedores de materiais e equipamentos, bem como com prestadores de serviços, para provisão dos recursos necessários à realização das atividades construtivas, práticas de gestão ambiental da cadeia de fornecedores poderiam ser aplicadas (UDAWATTA *et al.*, 2015; PERO *et al.*, 2017).

Dessa forma, cabe considerar a aplicação de práticas inter-organizações em uma proposta de adaptação da EI para canteiros de obras.

4.2.2 Proposta de aplicação em canteiros de obras

No item 4.2.1, práticas relacionadas à gestão de resíduos sólidos, comumente observadas em PIEs, foram analisadas frente às especificidades da fase de construção e montagem de empreendimentos industriais. A medida em que as práticas foram analisadas, foi possível relacioná-las às diferentes etapas da fase de construção e montagem industrial.

Inicialmente, na fase de contratação, ocorre o engajamento de parte dos atores que atuarão na construção do empreendimento, mais especificamente, das empreiteiras envolvidas com as atividades de construção. Após essa fase, na etapa de mobilização,

recursos, serviços e equipamentos necessários para execução das atividades construtivas são mobilizados, sendo esse o momento em que seria possível contratar a prestação de serviços comuns de forma centralizada. Na fase de instalação do canteiro, por sua vez, toda a infraestrutura do canteiro de obras é construída, havendo oportunidade para construção de infraestrutura para uso compartilhado entre os atores envolvidos. Por fim, nas fases de terraplanagem, obras civis e montagem, ocorre a geração de resíduos, sendo necessário realizar a sua gestão. A depender das decisões tomadas nas fases anteriores, seria possível gerenciar os resíduos gerados por meio de contratos de prestação de serviços comuns de forma centralizada, utilizar infraestrutura comum disponibilizada no canteiro de obras e realizar intercâmbio de resíduos com empresas internas e/ou externas ao canteiro de obras, sendo todo esse processo suportado pelo sistema de gestão ambiental implantado no canteiro. O uso de sistemas de informações integrados no canteiro e a aplicação de outras práticas inter-organizacionais poderiam ocorrer ao longo de todas as etapas da fase de construção e montagem do empreendimento.

Assim, apresenta-se, na Figura 5, uma proposta de aplicação de práticas da EI em canteiros de obras de empreendimentos industriais.

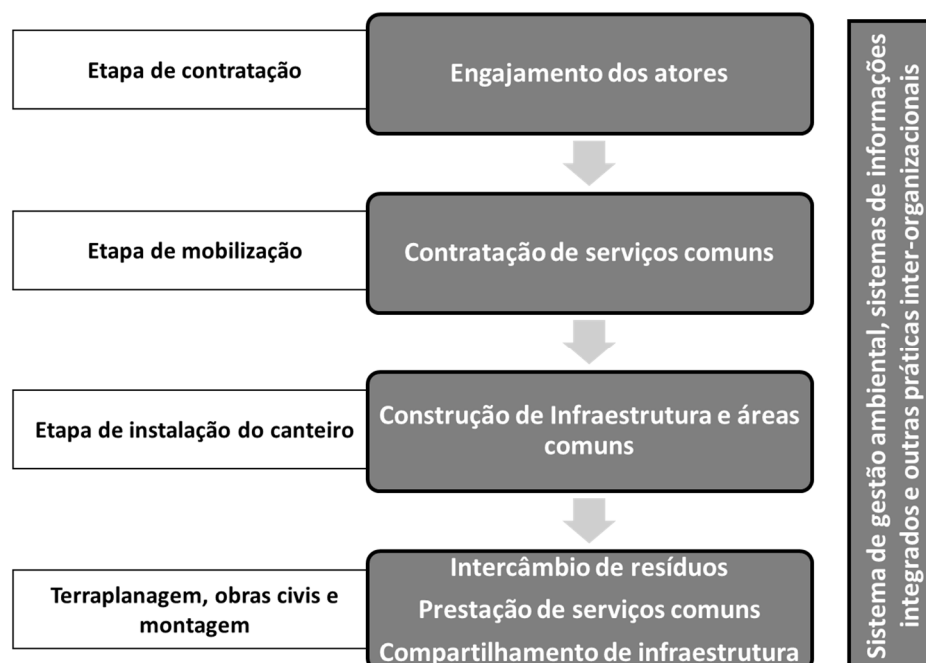


Figura 5. Proposta de aplicação das práticas de gestão de resíduos, observadas em PIEs, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais.

Fonte: Elaboração própria.

A proposta apresentada consiste em uma adaptação da aplicação de práticas relacionadas à gestão de resíduos, comumente observadas em PIEs, para o contexto dos canteiros de obras industriais, sendo uma proposta teórica.

Para investigar a aplicação de tais práticas em canteiros de obras industriais, bem como suas contribuições para a gestão de resíduos nos mesmos, propõe-se adotar o estudo de caso como método de pesquisa. A seguir, são apresentadas as etapas e ferramentas a serem aplicadas no estudo de caso em questão.

4.2.3 Etapas e ferramentas a serem aplicadas na análise dos casos

Os estudos de caso representam a estratégia de pesquisa preferida quando se colocam questões do tipo "como" e "porque", quando há pouco controle sobre os eventos estudados e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em um contexto da vida real (YIN, 2001).

A natureza da questão sob investigação indica que o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa adequada para o problema em análise. Além disso, a geração expressiva de resíduos no setor da construção consiste em fenômeno contemporâneo inserido em contexto marcado pela necessidade de se promover um uso sustentável dos recursos naturais, por meio da aplicação de conceitos e ferramentas de gestão de resíduos oriundos de diferentes campos de pesquisa, dentre os quais pode-se citar a EI.

Para o desenvolvimento do presente estudo de caso, adotam-se as fases propostas por YIN (2001): (i) elaboração do projeto de estudo de caso, (ii) coleta de dados e (iii) análise de resultados. A Figura 6 representa esquematicamente cada uma dessas fases e suas principais atividades, as quais são detalhadas nos itens a seguir.

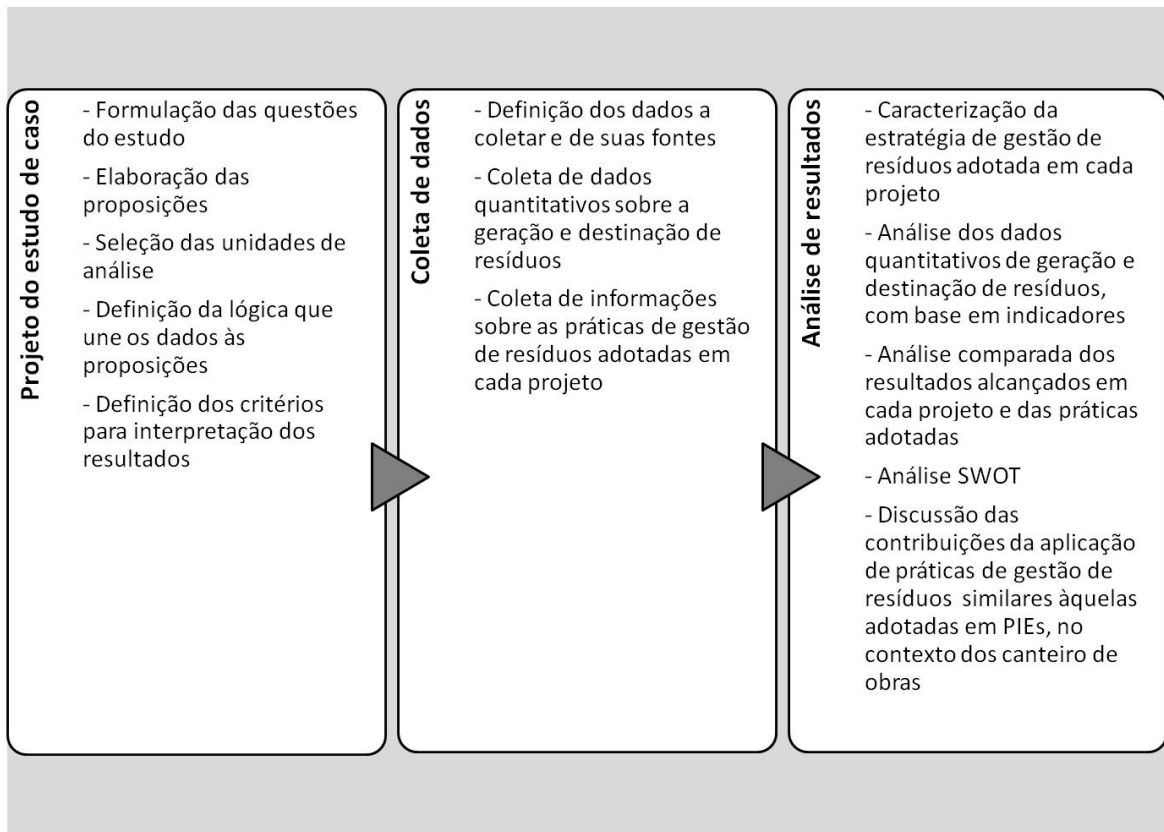


Figura 6. Representação esquemática das fases do estudo de caso.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.3.1 Projeto de estudo de caso

Os cinco componentes essenciais de um projeto de estudo de caso são: (a) as questões do estudo; (b) as proposições; (c) sua unidade de análise; (d) a lógica que une os dados às proposições; (e) os critérios para interpretar as descobertas (YIN, 2001).

Conforme mencionado anteriormente, o presente estudo de caso tem como objetivo responder à seguinte questão: Como a Ecologia Industrial pode contribuir para a gestão de resíduos sólidos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais?

Para investigar tal questão, parte-se da hipótese de que práticas comumente observadas em PIEs podem contribuir para a gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras de empreendimentos industriais.

A hipótese formulada conduz o foco do estudo para a análise de diferentes estratégias de gestão de resíduos sólidos adotadas na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, visando investigar a aplicação de práticas de gestão de resíduos, comumente observadas em PIEs, nos canteiros de obras de tais empreendimentos. O conjunto de práticas a ser investigado foi definido na proposta apresentada no item 4.2.2.

A partir da questão e da hipótese formuladas, define-se a unidade de análise do estudo, isto é, as fronteiras que delimitam o caso (limites de coleta e de análise de dados). A unidade de análise do presente estudo de caso foi definida a partir de um levantamento dos projetos de empreendimentos industriais do setor de óleo e gás com fase de construção e montagem iniciada no Brasil na primeira década dos anos 2000. Tal levantamento revelou a existência de onze projetos de empreendimentos nessas condições.

O futuro operador de tais empreendimentos foi contactado, tendo sido obtida as seguintes informações preliminares sobre a gestão de resíduos sólidos adotada na fase de construção e montagem de cinco dos projetos de empreendimentos identificados: número de empreiteiras envolvidas, alternativas de destinação final adotadas, existência de contrato de prestação de serviços de gestão de resíduos atendendo a mais de uma empresa simultaneamente, existência de área de armazenamento de resíduos utilizada por duas ou mais empresas simultaneamente e práticas de colaboração adotadas, quando existentes.

A obtenção de tais informações preliminares teve por objetivo identificar projetos de empreendimentos industriais em construção marcados pela aplicação de uma ou mais práticas, similares àquelas comumente observadas em PIEs, consideradas na proposta apresentada no item 4.2.2.

A partir da análise das informações preliminares, foram selecionados dois projetos de empreendimentos para compor o presente estudo de caso, pois em ambos foram identificadas práticas com as características mencionadas, sendo adequados ao propósito da presente tese. Com isso, as estratégias de gestão de resíduos sólidos adotadas nos dois projetos de empreendimentos industriais selecionados foram definidas como unidade de análise para o estudo de caso.

Por fim, com relação aos dois últimos componentes essenciais de um projeto de estudo de caso, tanto a lógica que une os dados à proposição, quanto os critérios de

interpretação dizem respeito ao referencial teórico adotado para análise. Quando o estudo envolve a análise de determinado conjunto de dados ou fenômeno frente a um padrão, modelo ou referencial, a lógica que une os dados à proposição é denominada lógica de adequação ao padrão (YIN, 2001). Trata-se de lógica em que se busca verificar a adequação dos dados ao modelo considerado.

No presente estudo de caso, o modelo considerado consiste no conjunto de práticas relacionadas à gestão de resíduos, comumente observado em PIEs, adaptado para o contexto de canteiros de obras, ilustrado na Figura 5, isto é: engajamento dos atores, prestação de serviços comuns de forma centralizada, compartilhamento de infraestrutura, intercâmbio de resíduos, implantação de sistema de gestão ambiental no canteiro, uso de sistemas de informações integrados e aplicação de outras práticas inter-organizacionais.

À luz do que se observa em PIEs, supõe-se que a aplicação de tais práticas em canteiros de obras industriais pode contribuir para a gestão de resíduos nos mesmos, o que motivou a formulação da hipótese enunciada anteriormente.

Assim, a partir da análise das estratégias de gestão de resíduos adotadas nos canteiros de obras dos empreendimentos industriais selecionados, pretende-se investigar a aplicação de práticas, comumente observadas em PIEs, nesses canteiros, bem como os benefícios decorrentes das mesmas, aprimorando o modelo considerado frente aos resultados obtidos.

Como critério para interpretação dos dados, propõe-se a adoção da hierarquia de gestão de resíduos sólidos, estabelecida pela PNRS, segundo a qual se deve priorizar a não-geração, seguida pela redução, reciclagem e tratamento, em detrimento da disposição final em aterros. Segundo esse critério, as estratégias de gestão de resíduos sólidos adotadas na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais (unidade de análise da presente tese) devem priorizar a hierarquia de destinação de resíduos estabelecida, sendo o desempenho da gestão de resíduos tão melhor quanto maior a parcela de resíduos desviada da disposição em aterros.

A Tabela 10 resume os componentes do presente projeto de estudo de caso.

Tabela 10. Projeto de estudo de caso.

Questão do estudo	Como a EI pode contribuir para a gestão de resíduos sólidos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais?
Proposição	Práticas comumente observadas em PIEs podem contribuir para a gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras de empreendimentos industriais.
Unidade de análise	Estratégia de gestão de resíduos adotada na fase de construção e montagem dos empreendimentos industriais selecionados.
Lógica que liga os dados à proposição	Lógica de adequação ao padrão. Referencial: conjunto de práticas de gestão de resíduos sólidos, adotado em PIEs, adaptado para canteiros de obras de empreendimentos industriais, conforme proposta apresentada no item 4.2.2. Práticas consideradas para análise: prestação de serviços comuns de forma centralizada, compartilhamento de infraestrutura, intercâmbio de resíduos, engajamento dos atores, sistema de gestão ambiental no canteiro, sistemas de informações integrados e outras práticas inter-organizacionais.
Critério de interpretação	Hierarquia de gestão de resíduos sólidos estabelecida pela PNRS.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.3.2 Coleta de dados

Na fase de coleta de dados, com base nos componentes estabelecidos no projeto de estudo de caso, são definidos os dados que serão coletados e suas fontes. No presente estudo, propõem-se coletar informações sobre a estratégia de gestão de resíduos empregada na fase de construção e montagem de cada um dos projetos de empreendimentos industriais considerados, a partir de três fontes de dados: documentos, registros em arquivos e observação direta, conforme apresentado na Figura 7.

Os documentos analisados consistem em procedimentos, planos de gestão, licenças, contratos e seus anexos. A análise de tais documentos visa à obtenção de informações sobre as características da estratégia de gestão de resíduos adotada na fase de construção e montagem de cada empreendimento industrial. Os registros em arquivo, por sua vez, referem-se aos dados quantitativos de geração e destinação dos resíduos oriundos das atividades de construção e montagem dos empreendimentos estudados. A análise de tais dados permite verificar os resultados alcançados por ambos projetos frente ao critério de análise adotado, isto é, a hierarquia da gestão de resíduos sólidos definida pela PNRS. Todos esses registros foram obtidos em um banco de dados mantido pelo futuro operador do empreendimento. Não se teve acesso aos registros em meio físico, tendo-se analisado

todos os dados apenas a partir de registros em meio digital, no mencionado banco de dados.

Por fim, os dados oriundos da observação direta correspondem a dados coletados a partir de visitas técnicas aos projetos e durante às discussões realizadas em *workshops* com um grupo de analistas ambientais envolvidos na fase de construção e montagem dos dois empreendimentos considerados.

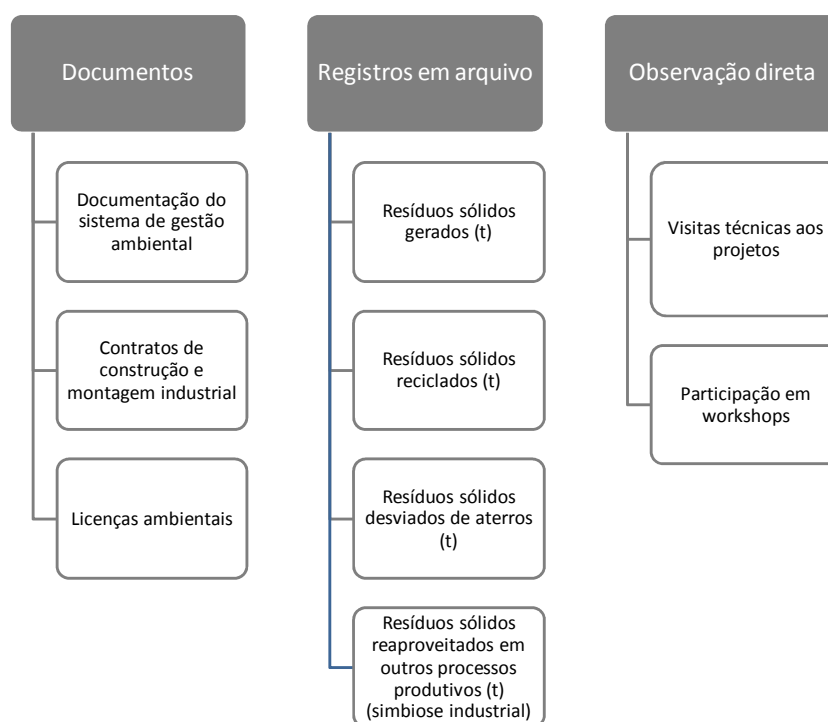


Figura 7. Coleta de dados.

Fonte: Elaboração própria.

Todos os dados foram fornecidos pelo futuro operador de ambos projetos de empreendimentos industriais, isto é, pela empresa que será a operadora dos mesmos.

Alguns princípios são importantes para o trabalho de coleta de dados. Dentre esses, pode-se destacar: utilização de várias fontes de evidência, formação de um banco de dados e encadeamento de evidências (YIN, 2001). O uso de mais de uma fonte de dados torna as conclusões mais convincentes e acuradas por permitir um estilo de pesquisa corroborativo. O uso de três fontes de dados, no presente estudo, teve por objetivo permitir uma análise abrangente de todos os aspectos das estratégias de gestão de resíduos estudadas. Quanto à formação de um banco de dados, essa visa organizar e documentar

os dados referentes ao estudo. No presente trabalho, os dados quantitativos foram organizados em um sistema específico para a gestão de resíduos pertencente ao futuro operador do empreendimento, permitindo sua recuperação e revisão das evidências, aumentando a confiabilidade do estudo. Manter o encadeamento das evidências também é um princípio que visa aumentar a confiabilidade do estudo, pois permite que um observador externo possa seguir as etapas do estudo chegando às conclusões finais a partir das questões iniciais. Para isso, o estudo deve prezar pela clareza, apresentar citações suficientes dos dados empregados, esclarecer seus procedimentos de coleta de dados e explicitar a metodologia de análise empregada. No presente trabalho, buscou-se atender a esses requisitos a partir do detalhamento das etapas e ferramentas adotadas na condução do estudo de caso.

4.2.3.3 Ferramentas de análise

Nessa fase do estudo de caso, as estratégias de gestão de resíduos adotadas nos dois projetos de empreendimentos industriais selecionados são analisadas. Propõe-se a adoção de cinco etapas de análise:

- Etapa 1: caracterização da estratégia de gestão de resíduos adotada na fase de construção e montagem de cada projeto de empreendimento industrial selecionado para compor o estudo de caso;
- Etapa 2: análise dos dados quantitativos referentes à geração e à destinação dos resíduos na fase de construção e montagem dos projetos de empreendimentos industriais selecionados, com base no conjunto de indicadores apresentados no item 4.2.3.3.1;
- Etapa 3: análise comparada dos resultados alcançados na fase de construção e montagem de cada projeto de empreendimento industrial, bem como das práticas adotadas. Seleção da estratégia de gestão de resíduos caracterizada pela adoção de maior quantidade de práticas baseadas no aproveitamento das sinergias oferecidas pela proximidade geográfica entre empreiteiras, visando identificação de pontos forte e fracos, de oportunidades e ameaças;
- Etapa 4: aplicação da ferramenta de análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) à estratégia de gestão de resíduos selecionada, conforme detalhado no item 4.2.3.3.2;

- Etapa 5: discussão de aspectos relevantes para a implantação da proposta de aplicação de práticas de gestão de resíduos sólidos comumente observadas em PIEs (apresentadas na Figura 5), no contexto de canteiros de obras de projetos de empreendimentos industriais, bem como a cerca de suas contribuições para essa fase do ciclo de vida dos empreendimentos industriais.

4.2.3.3.1 Indicadores de gestão de resíduos sólidos

Indicadores são ferramentas que instrumentalizam a análise da realidade, fornecendo subsídios à formulação de estratégias e ações (RAMOS, 2013). Um indicador pode ser definido como uma medida, geralmente quantitativa, que ao agregar diversos dados, apresenta informações sobre fenômenos complexos de maneira simplificada, possibilitando interpretações que não se restringem aos valores observados para o parâmetro em análise (EEA, 2003).

Existem diversos trabalhos focados no desenvolvimento de indicadores para avaliar o desempenho de sistemas de gestão de resíduos sólidos. Após a introdução do conceito de desenvolvimento sustentável, a gestão de resíduos passou por uma mudança de paradigma devido ao aumento da preocupação com o consumo dos recursos naturais, o que levou ao surgimento de iniciativas voltadas para a reinserção dos resíduos no processo produtivo. Enquanto nos sistemas tradicionais de gestão de resíduos a disposição final em aterros era tida como solução, nos novos sistemas de gestão, prioriza-se o reuso, a recuperação e a reciclagem dos resíduos. Com isso, o desenvolvimento de mecanismos confiáveis para medição do desempenho desses sistemas tornou-se essencial. Adotou-se, no presente trabalho, a definição de desempenho ambiental enunciada na norma ABNT NBR ISO 14.031: Gestão Ambiental – Avaliação de Desempenho Ambiental, segundo a qual desempenho ambiental consiste em resultados mensuráveis da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais.

Historicamente, segundo SANJEEVI e SHAHABUDEEN (2015), a discussão sobre indicadores para avaliar o desempenho de sistemas de gestão de resíduos sólidos teve início com a publicação de diretrizes por agências governamentais, no final da década de 60. Posteriormente, já na década de 90, algumas instituições internacionais realizaram estudos de *benchmarking* a respeito desse tema. Por fim, a partir do final da década de

90, a comunidade acadêmica passa a se dedicar ao estudo de indicadores para sistemas de gestão de resíduos envolvendo múltiplas dimensões.

Diversos autores tem desenvolvido modelos baseados em conjuntos de indicadores para avaliar o desempenho de sistemas de gestão de resíduos (DESMOD, 2006; ARMIJO *et al*, 2011; SANTIAGO e DIAS, 2012; ZAMAN, 2014; GREENE e TONJES, 2014), bem como para comparar sistemas distintos e avaliar políticas públicas (MUELLER, 2013). DESMOND (2006), por exemplo, desenvolveu um modelo para monitorar as práticas de gestão de resíduos na Irlanda baseado em 13 indicadores, contemplando quatro dimensões: ambiental, social, econômica e administrativa.

Em trabalho mais recente, SANTIAGO e DIAS (2012) propuseram uma matriz de indicadores de sustentabilidade para a avaliação e planejamento da gestão de resíduos sólidos no Brasil, constituída por 42 indicadores agrupados segundo seis dimensões: política, tecnológica, econômica/financeira, ambiental/ecológica, conhecimento e inclusão social. ZAMAN (2014), em extensa revisão da literatura, identificou 238 indicadores de sustentabilidade para avaliar o desempenho de sistemas de gestão de resíduos sólidos baseados no princípio de não-geração (*zero waste management systems*), agrupando-os em sete categorias: geo-administrativa, sócio-cultural, ambiental, econômica, gerencial, organizacional e legal.

A formação de conjuntos complexos compostos por inúmeros indicadores tornou-se comum como pode constatar-se a partir dos trabalhos citados. Por essa razão, alguns pesquisadores começaram a buscar modelos mais simples. É o caso de SANJEEVI e SHAHABUDEEN (2015) que desenvolveram um pequeno grupo de cinco indicadores-chave para aplicação por gestores públicos, visando alcançar a simplicidade almejada por esses sem deixar de contemplar aspectos relevantes.

Ainda quanto à busca por conjuntos de indicadores mais simples, GREENE e TONJES (2014) propõem um sistema de quatro níveis de indicadores ambientais para avaliar a gestão de resíduos sólidos, no qual cada nível apresenta um aumento de complexidade em relação ao nível anterior, conforme Tabela 11.

Os indicadores foram selecionados pelos autores com base em sua frequência na literatura. O primeiro nível contempla indicadores absolutos que representam a massa, em toneladas, de resíduos reciclados, enviados para aterro e desviados de aterros. O segundo nível é composto por taxas que permitem uma melhor compreensão da

participação relativa de cada alternativa de destinação adotada na gestão de resíduos. Os indicadores do terceiro nível fornecem informações *per capita*, sendo interessantes para sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos. Por fim, o quarto nível contempla indicadores resultantes de análises de ciclo de vida de determinadas tecnologias de tratamento de resíduos aplicadas da geração à disposição final dos resíduos.

Tabela 11. Níveis de indicadores de desempenho ambiental.

Nível	Indicador	Definição
Nível 1: massa	Massa reciclada	Massa de resíduos reciclada (em toneladas)
	Massa disposta em aterros	Massa de resíduos disposta em aterros (em toneladas)
	Massa desviada de aterros	Massa de resíduos desviada de aterros e de incineradores
Nível 2: percentuais	Taxa de reciclagem	Razão entre a massa de resíduos reciclada e a massa total coletada (expressa em porcentagem)
	Taxa de disposição em aterros	Razão entre a massa de resíduos disposta em aterros e a massa total coletada (expressa em porcentagem)
	Taxa de desvio de aterros	Razão entre a massa de resíduos desviada de aterros e a massa total coletada (expressa em porcentagem)
Nível 3: taxas <i>per capita</i>	Reciclagem <i>per capita</i>	Massa de resíduos reciclada <i>per capita</i>
	Disposição em aterros <i>per capita</i>	Massa de resíduos disposta em aterros <i>per capita</i>
	Desvio de aterros <i>per capita</i>	Massa de resíduos desviada de aterros e incineradores <i>per capita</i>
Nível 4: resultados de análise de ciclo de vida	Economia de energia	Energia economizada no gerenciamento de resíduos sólidos
	Redução de emissões de gases de efeito estufa	Redução de emissões de gases de efeito estufa no gerenciamento de resíduos sólidos

Fonte: GREENE e TONJES (2014).

GREENE e TONJES (2014) avaliaram os indicadores apresentados na Tabela 10 quanto à efetividade, objetividade, clareza, comparabilidade, praticidade, confiabilidade, utilidade para os gestores de resíduos, relevância, propagação de erros e relevância quanto à política de gerenciamento de resíduos. Os indicadores de nível dois e três apresentaram as melhores avaliações, sendo que a taxa de disposição em aterros, a taxa de resíduos desviada de aterros, a taxa de disposição *per capita* e a quantidade de resíduos desviados

de aterro *per capita* obtiveram os resultados mais elevados. Quanto aos indicadores do nível quatro, para GREENE e TONJES (2014), as diferenças quanto às fronteiras dos sistemas analisados e a forte dependência das premissas assumidas no modelo tornam a sua aplicação mais complexa, menos clara para o público geral e para os gestores de sistemas de gestão de resíduos e mais cara, não sendo, portanto, os indicadores mais adequados para avaliações regulares de sistemas de gerenciamento de resíduos. SANJEEVI e SHAHABUDEEN (2015) também consideram que indicadores resultantes de análises de ciclo de vida são fundamentais para a sociedade, mas não estão inseridos no escopo dos indicadores de avaliação de desempenho dos sistemas de gestão.

Da análise dos trabalhos citados, cabe destacar quatro pontos. Primeiramente, observa-se a existência de alguns indicadores aplicáveis apenas a sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos. É o caso dos indicadores geo-administrativos e sócio-culturais propostos por ZAMAN (2014) que incluem a área coberta pelo serviço de coleta pública de resíduos, população atendida, renda doméstica e consumo por domicílio. Os indicadores percentual de cidadãos insatisfeitos com o serviço público de coleta de resíduos e percentual dos domicílios que segregam os resíduos, propostos por SANJEEVI e SHAHABUDEEN (2015), também se enquadram nesse caso. Esse tipo de categoria não é aplicável ao presente estudo de caso.

Um segundo ponto relevante consiste na existência de diferentes tipos de indicadores. Nos trabalhos analisados há indicadores de desempenho, isto é, indicadores que permitem comparar o estado atual de um sistema ou processo com valores de referência, além de indicadores descritivos, ou seja, indicadores que relatam o estado atual de algum aspecto que exerce influência sobre a gestão de resíduos sólidos, sendo relevantes para o seu dimensionamento. É o caso dos indicadores de geração de resíduos, bem como dos indicadores referentes à quantidade de unidades de reciclagem e de tratamento de resíduos existentes na área em estudo.

O terceiro ponto a ser destacado está relacionado ao fato de que a definição de indicadores encontra-se inserida dentro de um contexto mais amplo, estando associada aos aspectos de um determinado processo de gestão que precisam ser monitorados. Em SANTIAGO e DIAS (2012), por exemplo, a dimensão social considera indicadores relacionados à inclusão de catadores de materiais recicláveis no processo de gestão de resíduos. Esse trabalho está inserido no contexto brasileiro de gestão de resíduos e a adoção de indicadores de inclusão social está alinhada à PNRS.

Por fim, a análise dos trabalhos citados revela que não há consenso na literatura quanto aos indicadores selecionados para avaliar um sistema de gestão de resíduos. Quanto à dimensão ambiental, observa-se a adoção de diferentes conjuntos de indicadores. De forma geral, esses conjuntos são compostos pelos indicadores dos níveis 1 a 4 propostos por GREENE e TONJES (2014), havendo poucos indicadores não contemplados nesses níveis.

Com relação a indicadores para monitorar e avaliar iniciativas na área da EI, como a SI e os PIEs, também não há consenso na literatura. Trabalhos recentes tem desenvolvido conjuntos de indicadores para avaliar diferentes dimensões dos PIEs, chegando a grupos complexos e extensos (VALENZUELA-VENEGAS *et al.*, 2016). PILOUK e KOOTTATEP (2017), por exemplo, desenvolveram um sistema composto por 43 indicadores para avaliar o desempenho de PIEs com relação às dimensões física (infra-estrutura), econômica, ambiental, social e gerencial. Os indicadores selecionados para avaliar o desempenho ambiental dos PIEs foram agrupados pelos autores em nove áreas de concentração, sendo elas: qualidade da água, qualidade do ar, gerenciamento de resíduos, gerenciamento de energia, controle de ruído, processo produtivo, eco-eficiência, saúde e segurança. Foram propostos três indicadores para avaliar o gerenciamento de resíduos: quantidade de resíduos gerados por unidade produzida, taxa de reciclagem e taxa de materiais reciclados empregados por unidade produzida. SU *et al.* (2013), adicionalmente, propuseram os seguintes indicadores para monitorar o gerenciamento de resíduos em PIEs: taxa de reuso e taxa de redução da geração de resíduos.

Os indicadores mencionados, acima, não diferem dos indicadores que vem sendo adotados para avaliar sistemas de gestão de resíduos de maneira geral, isto é, sistemas não aplicados necessariamente em PIEs, mas sim em municípios e indústrias. Entretanto, há na literatura indicadores mais específicos que se aplicam ao contexto de gestão de resíduos em PIEs. É o caso, por exemplo, dos indicadores: taxa de utilização de resíduos sólidos e sub-produtos, referente ao percentual de resíduos utilizados como matéria-prima (PAKARINEN *et al.*, 2010); número de relações de intercâmbio de resíduos formadas (OHNISHI *et al.*, 2012); taxa de resíduos recuperados por meio de SI (BAIN *et al.*, 2010; PATRÍCIO *et al.*, 2015). Com relação a aspectos qualitativos da gestão de resíduos, indicadores como existência de infra-estrutura compartilhada para gestão de resíduos, treinamentos em tecnologias para minimização da geração de resíduos e sistemas

integrados para coleta e gestão de resíduos (ZHU *et al.*, 2010) também são apresentadas na literatura.

Do exposto até aqui, pode-se concluir que a construção ou seleção de indicadores não é uma tarefa trivial. Para CSIRO (1998), o desenvolvimento de indicadores deve partir de um questionamento inicial associado à gestão de um determinado processo, sendo essencial que se tenha clareza sobre a questão que precisa ser respondida, o estágio do processo de gestão ao qual o indicador está associado e outros fatores relevantes, antes de iniciar a sua construção. Do contrário, corre-se o risco de adotar indicadores inapropriados. Em suma, indicadores precisam responder ao questionamento que levou à sua adoção, dentro do prazo existente e a um custo viável, auxiliando o gestor a identificar se os seus objetivos estão sendo alcançados.

A adoção de critérios apropriados facilita a identificação de indicadores potenciais e a seleção dos mais adequados para fornecer as informações necessárias aos gestores e formuladores de políticas públicas. SEGNESTAM (2002) elenca um conjunto de critérios de seleção comumente adotados para a escolha de indicadores. São eles:

- **Objetividade:** o indicador deve estar ligado ao problema em estudo. Para isso, o problema deve estar bem definido. Problemas vagos ou muito abrangentes dificultam a seleção de indicadores apropriados;
- **Público alvo:** diferentes públicos podem ter necessidades e usos diferentes para as informações fornecidas pelos indicadores. Por exemplo, uma autoridade local responsável pelo monitoramento de um dado aspecto ambiental, provavelmente, necessita de informações mais detalhadas do que o público em geral. Para essa autoridade, faz-se necessário o monitoramento de um conjunto mais amplo de indicadores;
- **Clareza:** é importante que os indicadores selecionados sejam definidos de forma clara para evitar interpretações errôneas acerca das informações que fornecem. Para isso, é preciso estar atento ao público alvo do indicador, pois clareza para a comunidade acadêmica é diferente de clareza para o público geral;
- **Custos de coleta e desenvolvimento:** os benefícios gerados por um indicador devem superar os seus custos de desenvolvimento e de coleta de dados. Uma estratégia que vem sendo adotada para se reduzir o custo de acompanhamento de indicadores consiste em formular dois grupos de indicadores. O primeiro grupo é composto por indicadores de alarme. Esses são acompanhados constantemente. O

segundo grupo é composto por indicadores de diagnóstico. Esses passam a ser acompanhados quando um dos indicadores de alarme ultrapassa um valor pré-estabelecido;

- Qualidade e confiabilidade: indicadores e as informações que eles fornecem são tão bons quanto os dados a partir dos quais eles são compostos;
- Escala espacial e temporal: é necessário cuidado para se definir as escalas temporal e espacial dos indicadores para que eles forneçam as informações esperadas.

Considerando o exposto, no presente estudo de caso, buscaram-se indicadores que empregassem dados disponíveis e acompanhados de forma sistemática (custo de coleta e qualidade), com metodologia de cálculo claramente definida (clareza) e que refletissem o desempenho da gestão de resíduos sólidos durante a fase de construção e montagem dos empreendimentos em estudo (objetividade, escala espacial e temporal).

Foram adotados os seguintes indicadores: taxa de reciclagem, taxa de resíduos desviados de aterros e taxa de resíduos recuperados por meio de SI. Desses indicadores, os dois primeiros correspondem aos indicadores do *Nível 2* propostos por GREENE e TONJES (2014). Segundo os autores, tratam-se dos indicadores mais empregados para comparar diferentes sistemas de gestão de resíduos. Os autores defendem que a taxa de reciclagem, frequentemente empregada para avaliar sistemas de gestão de resíduos, pode não ser suficiente para determinar o desempenho ambiental de tais sistemas, uma vez que há sistemas com elevadas taxas de reciclagem que também possuem elevadas taxas de destinação de resíduos para aterros, podendo-se concluir que um único indicador de desempenho pode ser insuficiente para comparar sistemas quanto ao seu desempenho ambiental.

O terceiro indicador (taxa de resíduos recuperados por meio de relações de SI) foi selecionado para o presente estudo, visando avaliar a adoção de práticas de intercâmbio de resíduos entre empresas. No presente estudo de caso, considerou-se que a SI compreende o intercâmbio de resíduos entre empresas, sendo que o resíduo é destinado do gerador para uma outra empresa, cuja atividade fim (atividade econômica principal) não é reciclagem ou tratamento de resíduos, sendo inserido em seus processos produtivos (BAIN *et al.*, 2010; PATRÍCIO *et al.*, 2015).

Assim, a destinação final de cada resíduo gerado na construção dos empreendimentos industriais em estudo foi analisada da seguinte forma: se o resíduo não foi enviado a aterros, esse será computado na taxa de resíduos desviados de aterros, podendo compor também a taxa de reciclagem, se foi enviado para empresas especializadas em reciclagem ou compor a taxa de resíduos recuperados por SI, se foi integrado no processo produtivo de um empresa cuja atividade fim não é reciclagem ou tratamento de resíduos. Resíduos destinados para disposição em aterros não foram contabilizados em nenhum dos indicadores considerados no presente estudo. A classificação dos resíduos desviados de aterros em resíduos reciclados e resíduos recuperados por meio de SI, visa analisar a contribuição de cada um desses tipos de destinação (reciclagem e recuperação por SI) para o desvio de aterros, isto é, para a destinação de resíduos para fins mais nobres. A Tabela 12 apresenta a definição dos três indicadores adotados.

Tabela 12. Indicadores adotadas.

Indicador	Definição
Taxa de reciclagem	Razão entre a massa de resíduos reciclada e a massa total destinada (expressa em porcentagem)
Taxa de resíduos desviados de aterros	Razão entre a massa de resíduos desviada de aterros e a massa total destinada (expressa em porcentagem)
Taxa de resíduos recuperados por meio de SI	Razão entre a massa de resíduos recuperada por meio de intercâmbio de resíduos entre empresas e a massa total destinada (expressa em porcentagem)

Fonte: Elaboração própria.

Na presente tese, conforme mencionado no item 4.2.3, adotou-se a hierarquia de destinação de resíduos estabelecida pela PNRS como critério para interpretação dos resultados quantitativos. Dessa forma, considera-se que o desempenho da gestão de resíduos será tão melhor quanto maior a parcela de resíduos desviada da disposição em aterros.

4.2.3.3.2 *Análise SWOT*

A análise SWOT, desenvolvida por Kenneth Andrews e Roland Cristensen, professores da Harvard Business School, avalia a competitividade de uma organização segundo quatro variáveis: *strenghts* (forças), *weaknesses* (fraquezas), *oportunities*

(oportunidades) e *threats* (ameaças) (SILVA *et al.*, 2011). Tem por objetivo contribuir para a elaboração de estratégias para obter vantagem competitiva e melhor desempenho organizacional (SILVA *et al.*, 2011), a partir da análise dos ambientes interno e externo da empresa.

A análise do ambiente interno da organização permite à empresa identificar suas forças e fraquezas, de forma a traçar estratégias para potencializar as forças e minimizar ou eliminar as fraquezas. Forças são recursos e habilidades - variáveis internas e controláveis - que devem ser explorados pela organização (MATOS *et al.*, 2007; REZENDE, 2008). As fraquezas, por sua vez, são condições internas desfavoráveis da empresa que inibem sua capacidade de desempenho (MATOS *et al.*, 2007), proporcionando uma desvantagem operacional à empresa no ambiente empresarial em que atua (OLIVEIRA, 2007), devendo ser constantemente monitoradas e superadas.

A análise do ambiente externo, por sua vez, tem por objetivo a identificação de ameaças e oportunidades, fatores que influem diretamente sobre os fatores internos da organização, visando o desenvolvimento de estratégias para tirar proveito das oportunidades e superar as ameaças (SILVA *et al.*, 2011). Para OLIVEIRA (2007), oportunidades são variáveis externas e não controladas pela organização que podem favorecer sua atuação estratégica, desde que conhecidas e aproveitadas satisfatoriamente, enquanto perduram. Ameaças, por sua vez, são fatores externos incontroláveis que criam obstáculos à atuação da empresa, podendo ou não ser evitadas, desde que reconhecidas em tempo hábil.

Uma vez realizada a análise dos ambientes interno e externo da organização, as oportunidades e ameaças presentes no ambiente externo são relacionadas às forças e fraquezas mapeadas no ambiente interno da organização, identificando-se a situação da organização, isto é, sua posição estratégica no ambiente em que atua (MCREADIE, 2008). Essa posição é representada pelo quadrante da matriz SWOT em que a organização se enquadra, conforme Figura 8, o qual é identificado a partir da valoração dos fatores analisados (oportunidades, ameaças, fraquezas e forças). De acordo com FARIA (2011), a valoração das forças, fraquezas, ameaças e oportunidades deve ser realizada de forma que sejam atribuídos valores menores aos fatores que apresentam menor significância para os objetivos e metas da organização, a fim de evitar sobre-esforços na implementação de estratégias.

A cada um dos quadrantes da matriz SWOT podem ser associadas ações para melhorar a situação das organizações (JHONSON, SCHOLLES e WHITTINGTON, 2006). Empresas no quadrante de fraquezas – ameaças percebem as ameaças dos seus concorrentes, optando por mecanismos de defesa, isto é, ações que minimizam as fraquezas e evitam as ameaças. No quadrante de forças – ameaças, as ações mais adequadas buscam empregar as forças para evitar as ameaças, estando vinculadas, por exemplo, a investimentos conjuntos para compartilhar esforços. No quadrante de fraquezas – oportunidades, são consideradas ações que aproveitam oportunidades para superar fraquezas. Por fim, no quadrante de forças – oportunidades, consideram-se ações em que as forças são empregadas para aproveitar oportunidades como desenvolvimento de novos produtos, penetração de mercado, dentre outros.

			AMBIENTE INTERNO	
			PREDOMINÂNCIA DE:	
			FRAQUEZAS	FORÇAS
AMBIENTE EXTERNO	PREDOMINÂNCIA DE:	AMEAÇAS	Sobrevivência	Manutenção
	OPORTUNIDADES	Crescimento	Desenvolvimento	

Figura 8. Diagrama representativo dos componentes da matriz SWOT e a posição estratégica das organizações.

Fonte: DANTAS e MELO (2008).

Apesar de ter origem na disciplina de administração de empresas, a análise SWOT tem sido amplamente empregada em outros campos. Na área de gestão de resíduos sólidos, essa ferramenta vem sendo utilizada para diagnosticar a situação da gestão de resíduos em determinadas cidades, regiões ou países e traçar estratégias para sua melhoria. SRIVASTA *et al.* (2005), por exemplo, empregaram a análise SWOT para propor planos de ação, tanto para a comunidade quanto para o governo da cidade de Lucknow, na Índia, visando aprimorar a gestão de resíduos sólidos na região, a partir de

ações focadas na conversão de ameaças em oportunidades e de fraquezas em forças. EHELIYAGODA (2016) empregou a análise SWOT para diagnosticar a situação da gestão de resíduos sólidos urbanos no Sri Lanka, a partir de investigação de campo, análise de relatórios, questionários distribuídos à comunidade e entrevistas com as principais partes interessadas. Os autores destacam os pontos fortes que devem ser potencializados pela administração local, as fraquezas a serem superadas como, por exemplo, a ineficiência na segregação de resíduos e as dificuldades em coibir a disposição irregular de resíduos, bem como as oportunidades a serem aproveitadas e as ameaças a serem superadas. A instalação de uma planta de biogás no centro de gestão de resíduos da região é apontada como principal oportunidade a ser aproveitada, enquanto a ausência de incentivo à pesquisa na área de gestão de resíduos é considerada como ameaça a ser superada pelo governo local. Já OCHARÁN (2017), emprega a análise SWOT para analisar os ambientes interno e externo de empresas participantes da coleta e reciclagem de plástico (poliestireno expandido) no Brasil e propor alternativas que permitam encaminhar uma maior quantidade desse material para reciclagem a partir da aplicação de logística reversa pós-consumo no país.

Há também estudos que empregaram a análise SWOT especificamente para avaliar a situação da gestão de resíduos de construção em dadas regiões e propor melhorias. YUAN (2013) empregou a análise SWOT para realizar um diagnóstico da gestão de resíduos da construção na cidade de Shenzhen no sul da China. Com base nas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças identificadas, sete estratégias foram propostas para aprimorar a gestão destes resíduos na cidade, dentre as quais destacam-se: a promulgação de regulamentações específicas para a gestão de resíduos da construção na cidade; investigação da quantidade de resíduos gerados; criação de um instituto de pesquisa local focado em resíduos da construção; implementação de um projeto piloto de aplicação de resíduos reciclados.

Outro estudo dessa natureza foi realizado no Qatar (ABDULEBDAH e MUSHARAVATI, 2016). A análise SWOT também foi empregada para diagnosticar a situação da gestão de resíduos da construção e demolição a partir de relatórios do governo, legislações locais, entrevistas com partes interessadas e revisão da literatura. Com base nas fraquezas e ameaças identificadas, foram propostas estratégias para promover melhorias no estágio atual de gestão dos resíduos de construção e demolição no Qatar, dentre as quais destacam-se: o desenvolvimento de planos de gestão de resíduos da

construção envolvendo as principais partes interessadas e considerando o ciclo de vida das edificações; o estabelecimento e divulgação de leis e regulamentações relacionadas à gestão de resíduos da construção; promoção de registro adequado de dados relacionados à geração e destinação de resíduos da construção; estímulo ao desenvolvimento de um mercado para os materiais reciclados a partir dos resíduos de construção; estímulo à pesquisa na área de reciclagem de resíduos da construção; desenvolvimento de ações de conscientização sobre o tema.

Na presente tese, propõe-se o uso da análise SWOT para identificar os pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças relacionadas à adoção de práticas de gestão de resíduos em canteiros de obras que aproveitem as sinergias decorrentes da proximidade geográfica entre as empreiteiras, de forma similar ao que se observa em PIEs.

5. Estudo de caso

Na primeira década do ano 2000, o setor da construção, no Brasil, apresentou crescimento expressivo devido a programas governamentais e a questões regulatórias que geraram maior segurança a investidores privados (CGEE, 2009). Nesse contexto, diversos projetos de construção pesada, foram implementados no país, revelando oportunidade para a condução de um estudo de caso focado na gestão de resíduos nesse segmento do setor. Devido à complexidade técnica e gerencial dos projetos de empreendimentos industriais, ao envolvimento de diversas empreiteiras simultaneamente e à quantidade expressiva de resíduos gerados na fase de construção e montagem de tais empreendimentos, optou-se por realizar um estudo de caso com projetos de empreendimentos dessa natureza.

Conforme mencionado anteriormente, dois projetos de empreendimentos industriais do setor de óleo e gás foram selecionados para compor o estudo de caso. Ambos projetos, denominados na presente tese de Projeto A e Projeto B, foram selecionados por apresentarem uma ou mais práticas de gestão de resíduos que buscam o aproveitamento de sinergias entre os atores envolvidos, de forma similar ao que se observa em PIEs e ao que foi considerado na proposta de aplicação da Ecologia Industrial aos canteiros de obras apresentada no item 4.2.2. As características gerais de tais projetos, a estratégia de gestão de resíduos adotada em cada um deles, bem como os resultados alcançados são apresentados a seguir.

5.1 Características gerais dos projetos

Nos últimos anos, no Brasil, a indústria de óleo e gás efetuou investimentos em suas plantas, com a finalidade de adequar suas instalações industriais à produção de diesel e de gasolina com baixos teores de enxofre, visando atender aos padrões de qualidade dos combustíveis definidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (SOARES, 2013).

Os projetos selecionados para compor o estudo de caso da presente tese encontram-se inseridos nesse contexto. O escopo de ambos projetos compreende a construção e

montagem de unidades destinadas ao hidrotreatamento de correntes do petróleo (processo que consiste na inserção de gás hidrogênio nas correntes derivadas da destilação do petróleo para remoção de átomos de enxofre e nitrogênio) como, por exemplo, unidades de hidrodessulfurização de nafta craqueada, hidrotreatamento de nafta de coque, hidrotreatamento de diesel e geração de hidrogênio. O escopo de ambos projetos abrange também a construção de unidades auxiliares ao processo de hidrotreatamento. Como exemplo de unidades auxiliares podem-se citar unidades de recuperação de enxofre, de tratamento de águas ácidas e unidades de dietanolamina. Tratam-se, portanto, de projetos de ampliação das carteiras de diesel e de gasolina de plantas industriais já existentes, motivados, dentre outros fatores, por aspectos relacionados à qualidade dos combustíveis produzidos e à conformidade legal.

Os dois projetos selecionados requereram investimentos da ordem de milhões de dólares, apresentaram longos períodos de construção e envolveram diversos atores, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13. Características dos projetos de empreendimentos industriais selecionados para o estudo de caso.

	Projeto A	Projeto B
Escopo	Construção e montagem industrial de quatro unidades principais destinadas ao hidrotreatamento de petróleo e três unidades auxiliares	Construção e montagem industrial de seis unidades principais destinadas ao hidrotreatamento de petróleo e quatro unidades auxiliares
Características gerais	Unidade com menor capacidade diária de processamento: 3.000 m ³ /d de corrente de petróleo	Unidade com menor capacidade diária de processamento: 4.000 m ³ /d de corrente de petróleo
Localização geográfica	Região Sudeste	Região Sudeste
Duração	7 anos	6 anos
Número de empreiteiras envolvidas	5 empreiteiras	8 empreiteiras
Estratégia de gestão de resíduos	Gestão independente de resíduos	Gestão conjunta de resíduos
Geração de resíduos	45.460 t	53.820 t

Fonte: Elaboração própria.

Em cada projeto, empreiteiras, sub-contratadas e o futuro operador do empreendimento encontravam-se co-localizados no mesmo canteiro de obras. As empreiteiras envolvidas tratavam-se de empresas especializadas na construção e montagem de empreendimentos em plantas químicas e petroquímicas, contratadas pelo futuro operador do empreendimento sob a modalidade de contratos do tipo *Engineering-Procurement-Construction* (EPC).

Atualmente, tem-se observado uma forte tendência para a utilização de contratos de serviços do tipo EPC, modalidade na qual um único prestador de serviços se encarrega do fornecimento de uma instalação, responsabilizando-se pelas atividades de projeto executivo, suprimento de materiais e equipamentos, bem como construção e montagem (ANP, 1999). Esse prestador de serviços caracteriza-se pela capacidade de gerenciar empreendimentos de grande porte, de alavancar grande volume de recursos financeiros e de liderar uma grande rede de subfornecedores e parceiros. Dessa forma, essa modalidade apresenta algumas vantagens para o futuro operador do empreendimento como, por exemplo: a centralização da responsabilidade pela condução e pelo desempenho das atividades de construção do empreendimento em um único prestador de serviços; a realização do gerenciamento das interfaces pelo prestador de serviços, diminuindo a equipe de acompanhamento do empreendimento por parte do futuro operador; e a maior possibilidade de realização de um planejamento integrado visando à otimização do cronograma do empreendimento (ANP, 1999).

Nota-se que, para essa modalidade de contratação, o futuro operador do empreendimento estabelece relacionamento com o prestador de serviços contratado sob a modalidade EPC, cabendo a esse realizar as devidas interfaces com seus subcontratados.

No entanto, em um projeto de empreendimento industrial típico é comum haver mais de um contrato sob a modalidade EPC para a execução da construção e montagem do empreendimento, devido à sua complexidade. No setor de óleo e gás, para um projeto do refino, por exemplo, é comum haver um contrato para a construção e montagem das estruturas e equipamentos *onsite*, isto é, das unidades de produção (destilação, craqueamento catalítico, hidrotratamento, entre outros); outro contrato para a construção das estruturas *offsite*, isto é, para a interligação das unidades (tubovias); dentre outros. Dessa forma, em um canteiro de obras de um empreendimento para o refino, comumente, encontram-se alguns prestadores de serviços contratados pelo futuro operador do empreendimento sob a modalidade EPC e diversos subcontratados.

Na presente análise, para ambos projetos, foram consideradas apenas os prestadores de serviços contratados para execução de serviços de construção e montagem das unidades mencionadas na Tabela 13, não sendo consideradas empresas contratadas exclusivamente para elaboração ou detalhamento de projeto, assistência técnica, fornecimento de equipamentos, tão pouco empresas contratadas para construção de unidades ou outras obras não contempladas na Tabela 13 que encontravam-se em execução nas plantas industriais consideradas, no mesmo período analisado.

Com relação à gestão de resíduos, no Projeto A, foi adotada uma estratégia de gestão independente de resíduos, isto é, estratégia na qual cada empreiteira é responsável por gerenciar os resíduos sólidos gerados em suas atividades, de forma independente da gestão de resíduos realizada pelas demais empreiteiras. No Projeto B, por sua vez, foi adotada estratégia conjunta de gestão de resíduos sólidos. Nessa estratégia, os resíduos gerados pelas atividades de todas as empreiteiras envolvidas no projeto são gerenciados de forma conjunta. Detalhes a respeito de cada estratégia de gestão de resíduos serão apresentados nos itens 5.2 e 5.3. Cabe mencionar que a análise apresentada, nos itens mencionados, considera apenas os resíduos gerados nas atividades de construção e montagem de ambos projetos (resíduos perigosos, entulho, madeira, sucata metálica, resíduos de papel, resíduos de plástico, resíduos de vidro, discos abrasivos usados, sobras de isolantes térmicos, resíduos orgânicos, embalagens não contaminadas, resíduos de borracha). Solo movimentado e efluentes gerados nas obras não foram contemplados na análise.

Por fim, com relação à localização geográfica, os dois projetos foram implementados na região Sudeste do Brasil, em áreas industriais próximas a centros urbanos (distância inferior a 20 km). O Sudeste é a região mais industrializada do país, sendo os setores da construção, alimentação, óleo e gás, petroquímico, automotivo e químico os principais setores industriais da região (CNI, 2017).

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2011), 51.582 t de resíduos de construção e demolição são coletados diariamente na região Sudeste do Brasil, quantidade superior à observada nas demais regiões do país. Portanto, a implementação de práticas de gestão de resíduos de construção adequadas faz-se necessária para redução dos impactos ambientais das atividades do setor nessa região. Gerenciar uma quantidade de cerca de 50.000 t de resíduos de construção em um período de 7 anos, como observa-se nos projetos em análise, equivale a gerenciar os resíduos de

construção gerados por um município de cerca de 30.000 habitantes, considerando uma taxa de geração de resíduos da construção de 230 kg por habitante por ano (IPEA, 2012). Cabe ressaltar que a legislação brasileira imputa a responsabilidade pela gestão de resíduos aos geradores (BRASIL, 2010).

Sabe-se que a seleção da alternativa de destinação final adotada para os resíduos sólidos gerados nas atividades produtivas é influenciada por diversos fatores (MURAKAMI *et al.*, 2015; ETC/SCP, 2013; HIRSCHNITZ-GARBERS *et al.*, 2015; PAJUNEN *et al.*, 2012). Dentre esses, a infraestrutura de transporte e tratamento de resíduos existentes na região onde os resíduos são gerados é comumente citada na literatura.

Durante o período em que os projetos em análise se encontravam em fase de construção e montagem industrial, a região Sudeste apresentava a maior quantidade de unidades de tratamento de resíduos e de unidades de reciclagem do país, de acordo com levantamentos do perfil do setor de tratamento de resíduos no Brasil, publicados em 2013, com ano base 2012 (ABETRE, 2013; ABRECON, 2013). Os levantamentos considerados foram realizados por associações e congêneres, uma vez que não há levantamentos dessa natureza realizados por órgãos governamentais. Atualmente, apenas a gestão de resíduos sólidos urbanos é acompanhada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, através de trabalhos como a Pesquisa Nacional de Saneamento, não havendo estudos periódicos sistematizados por órgãos governamentais a cerca da infraestrutura privada para gestão e destinação de resíduos sólidos no Brasil.

5.2 Projeto A: gestão independente de resíduos

No Projeto A, cinco empreiteiras atuaram na construção e montagem de quatro unidades de processo associadas ao hidrotreamento de correntes de petróleo e três unidades auxiliares a esse processo, em uma planta do setor de óleo e gás localizada na região Sudeste do Brasil, durante um período de sete anos. Foi adotada uma estratégia de gestão independente de resíduos durante todo o período analisado.

Em tal estratégia, cada empreiteira é responsável por gerenciar os resíduos gerados pelas suas atividades. Isto é, o processo de gestão de resíduos (segregação, coleta, armazenamento temporário, transporte e destinação final) é conduzido de forma

independente por cada uma das cinco empreiteiras envolvidas. Não é observado qualquer tipo de compartilhamento de infraestrutura como, por exemplo, áreas de armazenamento temporário de resíduos, veículos e coletores. Da mesma forma, os procedimentos adotados para a gestão de resíduos de cada uma das empreiteiras envolvidas são independentes.

O relacionamento entre as empreiteiras e o futuro operador do empreendimento está baseado em instrumentos e práticas de controle, por meio das quais o futuro operador busca assegurar que os requisitos legais aplicáveis às atividades das empreiteiras são atendidos. Para tal, ao final de cada mês, as empreiteiras preparam relatórios contendo informações referentes à geração e à destinação dos resíduos de suas atividades e apresentam-nos ao futuro operador do empreendimento para demonstrar conformidade legal. Além disso, o futuro operador realiza inspeções e auditorias nas empreiteiras com o objetivo, também, de verificar o atendimento aos requisitos legais, contratuais e normas técnicas aplicáveis.

A Figura 9 ilustra a estratégia de gestão de resíduos adotada no Projeto A. O fluxo de resíduos dos pontos de geração para as áreas de armazenamento temporário existentes no canteiro de obras (uma área para cada empreiteira) e destas para os destinos finais dos resíduos são representados, assim como os fluxos de informação entre as empreiteiras e o futuro operador do empreendimento (fluxos não-materiais).

Conforme pode-se observar na Figura 9, em cada uma das empreiteiras, os resíduos gerados nas atividades de construção e montagem são segregados na fonte pela força de trabalho. Em seguida, são coletados por profissionais da empreiteira e armazenados temporariamente em áreas destinadas para tal fim. Após a coleta e armazenamento temporário, os resíduos são transportados até seu destino final. Cada empreiteira dispõe de contratos com empresas provedoras de serviços de transporte e de destinação de resíduos. Além disso, cada empreiteira é responsável por obter as autorizações necessárias para o transporte e destinação de resíduos e assegurar que as empresas para as quais os resíduos são destinados são devidamente licenciadas.

Cabe ainda a cada empreiteira realizar o controle da documentação relacionada à gestão de resíduos (manifestos e certificados de destinação final). A elaboração dos procedimentos de gestão de resíduos e o treinamento da força de trabalho em temas relacionados à gestão de resíduos também são de responsabilidade de cada empreiteira.

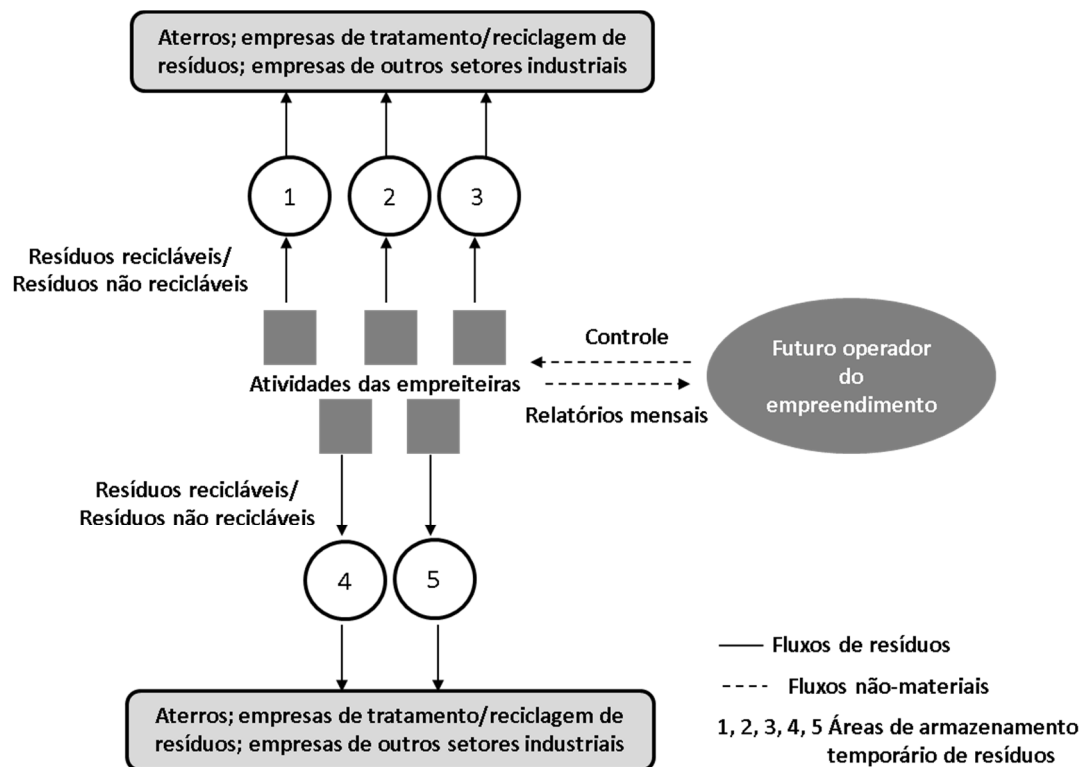


Figura 9. Estratégia de gestão independente de resíduos.

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que, devido aos diferentes escopos de trabalho de cada empreiteira, as mesmas foram mobilizadas e desmobilizadas em momentos diferentes ao longo do período de execução da obra. De todo modo, havia, ao menos, três empreiteiras mobilizadas simultaneamente durante 60% do período da obra.

A análise dos dados referentes à geração de resíduos revelou que 0,3% dos resíduos gerados durante o projeto correspondem a resíduos perigosos, enquanto 99,7% tratam-se de resíduos não-perigosos. As principais correntes de resíduos geradas são entulho (resíduos de concreto, cimento, argamassa) e madeira, corroborando resultados anteriores do setor da construção (MALIA *et al.*, 2013). Em média, 540 t de resíduos foram gerados e destinados mensalmente no Projeto A.

Durante a fase de construção e montagem do projeto, resíduos foram enviados para 33 diferentes destinações devidamente licenciadas (aterros, unidades de tratamento ou reciclagem de resíduos, empresas de outros setores industriais que aproveitam determinados resíduos em seus processos produtivos). A maioria das unidades para as

quais os resíduos foram destinados (mais de 99%) encontrava-se dentro de um raio de aproximadamente 90 km do canteiro de obras.

Durante o projeto, 11% dos resíduos gerados foram reciclados, 30% dos resíduos gerados foram recuperados por meio de SI (intercâmbio de resíduos entre empreiteiras e outras empresas) e 2% dos resíduos gerados foram destinados a outras formas de tratamento, totalizando 43% de resíduos desviados de aterros. A Tabela 14 apresenta as taxas de reciclagem de resíduos, taxas de recuperação de resíduos por meio de SI, taxas de resíduos destinados a outros tratamentos e a taxa de resíduos desviados de aterro. São apresentadas tanto as taxas do projeto como um todo, quanto as taxas individuais de cada uma das cinco empreiteiras envolvidas no projeto.

Tabela 14. Indicadores do Projeto A.

	Taxa de reciclagem (%)	Taxa de recuperação por meio de SI (%)	Taxa de resíduos enviados a outros tratamentos* (%)	Taxa de resíduos desviados de aterro (%)
Projeto A	11	30	2	43
F1	10	65	3	78
F2	22	12	0	34
F3	15	0	0	15
F4	3	0	0	3
F5	1	0	0	1

F1 a F5: empreiteiras 1 a 5. *Outros tratamentos: corresponde a resíduos destinados, principalmente, para reuso e compostagem.

Fonte: Elaboração própria.

Cabe mencionar que as empreiteiras F1 e F3 correspondem às maiores geradoras de resíduos, tendo gerado 46% e 39% do total de resíduos, respectivamente, o que se justifica por terem executado a maior parte do escopo do Projeto A. O escopo de trabalho da empresa F1 contemplou a construção e montagem de quatro unidades, enquanto o escopo de trabalho da empresa F3 contemplou a construção e montagem de três unidades. As empresas F2, F4 e F5 atuaram na construção de interligações entre unidades de processo.

Com relação aos resíduos recuperados por meio da SI, 78% dos discos abrasivos usados (8 t) foram destinados para recuperação em uma empresa produtora de grãos abrasivos, 93% dos resíduos de lã de rocha (4 t) foram destinados para reaproveitamento por um fabricante de cerâmica, 34% do entulho foram destinados para reaproveitamento

em uma empresa do setor de construção (13772 t) e 50% dos resíduos perigosos (70 t) foram destinados para co-processamento em cimenteiras, evitando a disposição de mais de 13.000 t de resíduos em aterros. Cabe mencionar que a destinação de resíduos para co-processamento foi considerada como SI, uma vez que o resíduo é incorporado no clínquer ou utilizado para geração de energia, ou seja, é reaproveitado por meio de aplicação direta no processo produtivo da cimenteira. Em alguns casos, antes de ir para a cimenteira, o resíduo passa por uma empresa que forma um *blend* entre resíduos gerados por diversas empresas, para atingir os requisitos necessário para encaminhamento para a cimenteira. Todas essas relações de intercâmbio de resíduos foram estabelecidas entre empreiteiras envolvidas no Projeto A e empresas localizadas fora do canteiro de obras.

De maneira geral, os indicadores apresentados na Tabela 13 revelam que o desempenho quanto à gestão de resíduos não é uniforme entre as empreiteiras envolvidas no projeto. Uma vez que cada empreiteira é responsável por gerenciar os resíduos gerados em suas atividades, diferentes desempenhos podem ocorrer, como observado no projeto em análise.

Conforme já mencionado, a alternativa selecionada para destinação dos resíduos sólidos gerados em uma dada atividade é influenciada por diversos fatores. De forma geral, esses fatores envolvem questões estruturais (infraestrutura para transporte e destinação de resíduos), organizacionais (cultura, valores, recursos), legais (requisitos legais sobre gestão de resíduos, taxas, subsídios), pressões de partes interessadas e aspectos relacionados ao conhecimento e disseminação de informações sobre o setor de gestão de resíduos (conhecimento sobre oportunidades de negócios existentes no setor e potencial de aplicação de resíduos reciclados como insumos) (MURAKAMI *et al.*, 2015; ETC/SCP, 2013; HIRSCHNITZ-GARBERS *et al.*, 2015; PAJUNEN *et al.*, 2012).

No presente caso, as diferenças quanto às taxas de reciclagem, de recuperação por meio de SI e de desvio de aterros não podem ser atribuídas à composição dos resíduos gerados, uma vez que o resíduo gerado em maior quantidade nas atividades de todas as empreiteiras foi o mesmo. Em todas as empreiteiras, mais de 65% dos resíduos gerados correspondem a entulho. Também não se pode atribuir as diferenças observadas à infraestrutura de destinação de resíduos (empresas de tratamento e reciclagem de resíduos disponíveis) tão pouco a diferenças quanto aos requisitos legais aplicáveis, pois todas as empreiteiras atuavam no mesmo projeto, situado na mesma região do país. Restam, assim,

principalmente, fatores organizacionais e fatores relacionados ao conhecimento sobre o setor de gestão de resíduos que pode variar entre as empreiteiras envolvidas.

5.3 Projeto B: gestão conjunta de resíduos

No Projeto B, oito empreiteiras atuaram na construção e montagem de seis unidades de processo relacionadas ao hidrotreamento de correntes de petróleo e quatro unidades auxiliares, em uma planta do setor de óleo e gás localizada no Sudeste do Brasil, durante oito anos, conforme apresentado na Tabela 13. Foi adotada uma estratégia de gestão conjunta de resíduos durante todo o período.

Nessa estratégia, todos os resíduos gerados nas atividades de construção e montagem realizadas pelas empreiteiras envolvidas no projeto são gerenciados de maneira conjunta, por meio da contratação de uma empresa especializada em gestão de resíduos. Tal empresa é responsável por prover serviços de coleta, armazenamento temporário, transporte e destinação dos resíduos gerados na fase de construção e montagem do projeto. Essa empresa é responsável, também, por fornecer coletores de resíduos no canteiro de obras e gerenciar a área de armazenamento temporário de resíduos, na qual os resíduos gerados por todas as empreiteiras são armazenados.

Para coordenar o processo conjunto de gestão de resíduos, o futuro operador do empreendimento formou uma equipe dedicada para tal fim. Essa equipe assumiu a responsabilidade de conduzir o processo de contratação do prestador de serviços de gestão de resíduos; acompanhar a qualidade dos serviços prestados por esse; obter as licenças e autorizações ambientais necessárias para o transporte e destinação dos resíduos gerados no canteiro de obras; consolidar os dados referentes à geração e à destinação dos resíduos gerados em relatórios a serem apresentados aos órgãos ambientais; e promover *workshops* para integração entre as partes envolvidas no processo (empreiteiras, futuro operador do empreendimento e empresa de gestão de resíduos), troca de experiências e melhoria do processo como um todo.

Nessa estratégia de gestão de resíduos, cada parte envolvida na construção e montagem do empreendimento industrial é responsável pela execução de diferentes atividades relacionadas ao processo de gestão de resíduos. Além das atividades realizadas pela empresa contratada para prover serviços de gestão de resíduos e das atividades de

coordenação do processo sob responsabilidade do futuro operador do empreendimento descritas anteriormente, as empreiteiras envolvidas na fase de construção e montagem do empreendimento são responsáveis por promover a segregação de resíduos na fonte e treinar sua força de trabalho quanto à coleta seletiva e demais aspectos relacionados à gestão de resíduos.

Além de ser marcada pelo pelo caráter inter-organizacional, pelo compartilhamento de uma única área de armazenamento temporário de resíduos e pela provisão de serviços de gestão de resíduos de forma centralizada, a estratégia de gestão conjunta de resíduos caracteriza-se também pela adoção de um plano de gestão de resíduos comum a todos os atores envolvidos e pela presença de um centro de reciclagem de solventes, composto por uma máquina portátil para reciclagem de solventes baseada em processo de destilação. Tal centro, instalado no canteiro de obras, permitiu a recuperação de solventes usados, reduzindo o consumo de matéria-prima e os custos relacionados à aquisição de solvente na obra. O investimento necessário para instalar o centro de reciclagem de solventes pode ser recuperado em seis meses de operação, com recuperação aproximada de 500 litros de solvente por mês.

A Figura 10 ilustra a estratégia de gestão conjunta de resíduos, adotada no Projeto B. O fluxo de resíduos dos pontos de geração para a área de armazenamento temporário comum existente no canteiro de obras e desta para seu destino final é representado na figura, assim como o fluxo de informações entre as empreiteiras e o futuro operador do empreendimento. A colaboração entre as partes envolvidas é também representada esquematicamente.

Conforme fluxo ilustrado na Figura 10, os resíduos gerados nas atividades de construção e montagem são segregados na fonte pela força de trabalho das empreiteiras e, em seguida, são coletados pela empresa prestadora de serviços de gestão de resíduos, seguindo para armazenamento temporário em área destinada para tal fim. Após a coleta e armazenamento temporário, os resíduos são transportados até seu destino final. A empresa prestadora de serviços de gestão de resíduos detem os contratos necessários com empresas de transporte e destinação de resíduos. Cabe ainda à empresa prestadora de serviços de gestão de resíduos realizar o controle da documentação (manifestos e certificados de destinação final).

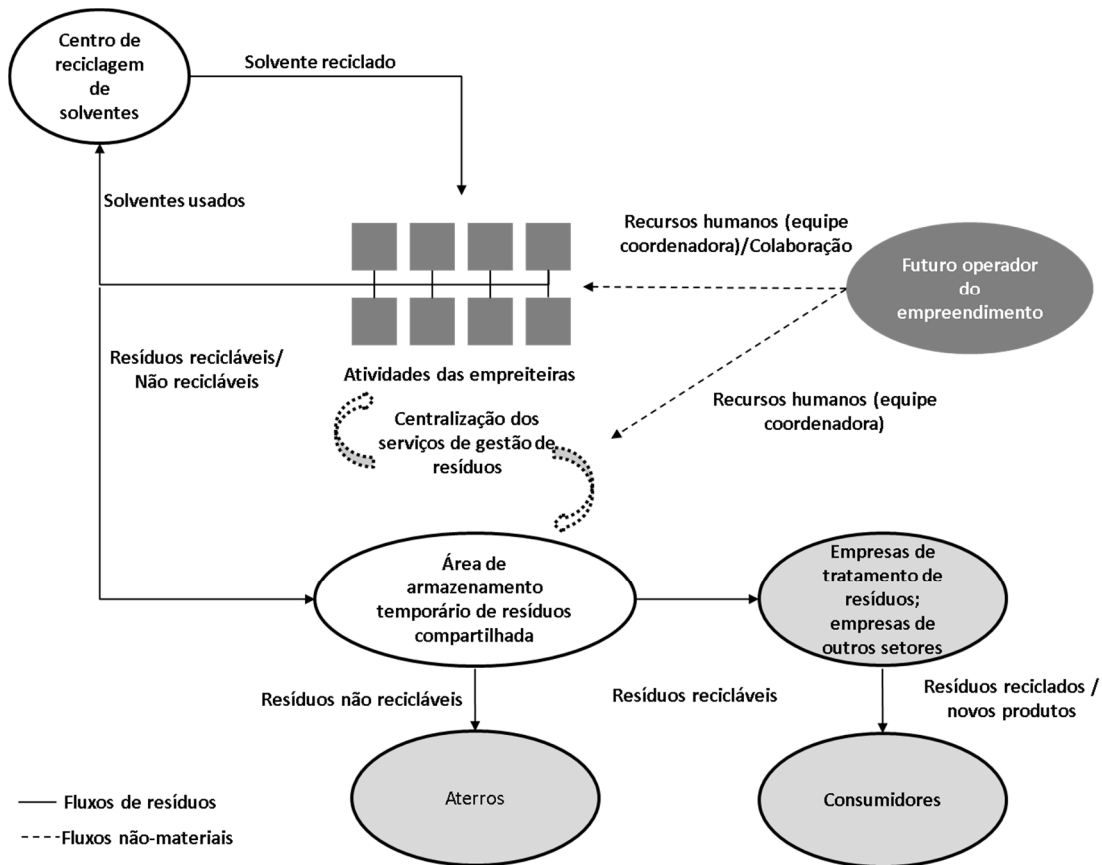


Figura 10. Estratégia de gestão conjunta de resíduos.

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que, devido aos diferentes escopos de trabalho das empreiteiras envolvidas, estas foram mobilizadas e desmobilizadas em momentos diferentes ao longo do período de execução da obra. De todo modo, haviam ao menos seis empreiteiras mobilizadas simultaneamente durante 70% do período de obra analisado.

A análise dos dados referentes à geração de resíduos revelou que 0,6% dos resíduos gerados durante o projeto correspondem a resíduos perigosos, enquanto 99,4% tratam-se de resíduos não perigosos. As principais correntes de resíduos geradas no projeto são entulho e de madeira. Em média, 750 t de resíduos foram geradas por mês, sendo coletadas no canteiro de obras pela empresa especializada em gestão de resíduos.

Durante a fase de construção e montagem do projeto, resíduos foram enviados para 14 destinações devidamente licenciadas (aterros, unidades de reciclagem ou tratamento de resíduos, empresas de outros setores industriais que incorporam determinados resíduos

em seus processos produtivos). A maior parte de tais unidades (mais de 99%) encontrava-se em um raio de 125 km do canteiro de obras.

A análise dos dados revelou que 46% dos resíduos gerados durante o projeto foram destinados para reciclagem e 9% dos resíduos gerados foram recuperados por meio de SI (intercâmbio de resíduos entre empreiteiras e outras empresas), totalizando 55% de resíduos desviados de aterros.

Com relação aos resíduos recuperados por meio de SI, 2,4% dos resíduos perigosos foram destinados para co-processamento em cimenteiras (7,5 t) e 99% dos resíduos de madeira (4987 t) foram destinados para reaproveitamento em empresa do setor madeireiro.

Segundo informação prestada pelo futuro operador do empreendimento, a implementação da estratégia de gestão conjunta de resíduos foi motivada não apenas por aspectos relacionados ao desempenho ambiental na fase de construção e montagem do projeto, mas também por questões regulatórias e pelos riscos relacionados à disposição inadequada de resíduos.

5.4 Análise comparada

Na Figura 11, são apresentadas as taxas de reciclagem, de recuperação de resíduos por meio de SI e as taxas de resíduos enviadas para outras alternativas de tratamento nos Projetos A e B. A taxa de resíduos desviados de aterros corresponde a soma das taxas mencionadas.

Conforme Figura 11, as taxas de reciclagem e de resíduos desviados de aterros observadas no Projeto B são ambas superiores àquelas verificadas no Projeto A. O desempenho da gestão de resíduos sólidos do Projeto A é impactado pelas diferenças existentes entre as taxas de reciclagem, de resíduos recuperados por meio de SI e de resíduos desviados de aterros observadas entre as empreiteiras envolvidas no Projeto A, apresentadas anteriormente na Tabela 14.

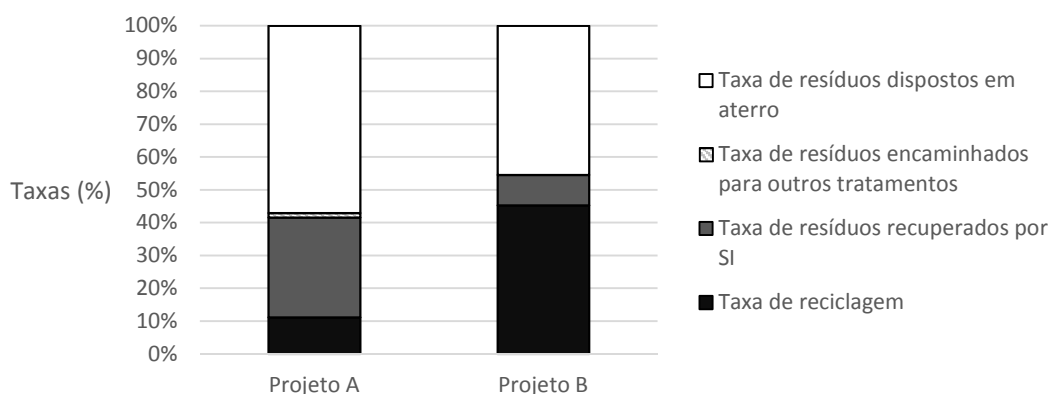


Figura 11. Destinação dos resíduos gerados nos Projetos A e B.

Fonte: Elaboração própria.

Ainda na Figura 11, observa-se que a recuperação de resíduos por meio da SI contribuiu para elevar a taxa de resíduos desviados de aterros em ambos projetos. No Projeto A, a taxa de recuperação de resíduos por meio da SI chega a ser superior à taxa de reciclagem.

No Projeto A, foi observado intercâmbio de resíduos entre empreiteiras e empresas localizadas fora do canteiro de obras. Por sua vez, no Projeto B, além do intercâmbio de resíduos entre as empreiteiras e empresas localizadas fora do canteiro de obras, foram adotadas práticas decorrentes da proximidade geográfica entre empreiteiras como a centralização do serviço de gestão de resíduos por meio da contratação de empresa especializada para prover tais serviços a todas empreiteiras envolvidas e o compartilhamento de área de armazenamento temporário de resíduos entre as empreiteiras.

Constata-se, portanto, que em ambos projetos foram adotadas práticas inter-organizacionais que buscam o aproveitamento de sinergias entre os atores envolvidos no projeto ou destes com outros atores da região (intercâmbio de resíduos entre empreiteiras e empresas da região). Entretanto, enquanto no Projeto A foram observadas práticas focadas no intercâmbio de resíduos, no Projeto B, foi observada uma maior diversidade de práticas dessa natureza, revelando que, assim como nos PIEs há variações quanto às práticas adotadas, nos canteiros de obras também pode-se adotar maior ou menor quantidade de práticas dessa natureza.

No Projeto B, já na fase de planejamento das atividades de construção e montagem, o futuro operador do empreendimento adotou como premissa a centralização do serviço de gestão de resíduos por meio da contratação de uma empresa especializada na provisão de serviços dessa natureza, o que levou à implementação de uma maior gama de práticas similares ao que se observa na gestão de resíduos em PIEs.

Dessa forma, o Projeto B aproxima-se mais da proposta de aplicação de práticas de gestão de resíduos, similares às aquelas observadas em PIEs, apresentada no item 4.2.2. Visando aprofundar o entendimento sobre a aplicação de tais práticas na construção e montagem de empreendimentos industriais, foi realizada análise SWOT da estratégia de gestão conjunta de resíduos adotada no Projeto B. Os resultados da análise SWOT são apresentados no Capítulo 6.

6. Contribuições da Ecologia Industrial para a construção e montagem

A aplicação dos conceitos e práticas da EI à fase de operação de empreendimentos co-localizados em áreas industriais tem gerado benefícios ambientais, econômicos e sociais já analisados e discutidos por diversos autores citados no Capítulo 3. A extensão de tais práticas para a fase de construção e montagem de empreendimentos industriais foi investigada no estudo de caso apresentado no Capítulo 5.

Ao longo do presente capítulo, as contribuições da EI para a gestão de resíduos sólidos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais são identificadas e discutidas. Inicialmente, no item 6.1, apresenta-se a análise SWOT realizada para identificar as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades associadas à aplicação de práticas da EI à fase de construção e montagem. Em seguida, no item 6.2, as contribuições da EI para a construção e montagem de empreendimentos industriais são discutidas à luz das forças identificadas na análise SWOT. Por fim, no item 6.3, recomendações quanto à aplicação de tais práticas ao contexto dos canteiros de obras de empreendimentos industriais são apresentadas com base nas fraquezas, ameaças e oportunidades identificadas; e a proposta de aplicação da EI à construção e montagem industrial, apresentada no item 4.2.2, é aprimorada.

6.1 Análise SWOT

A análise SWOT das práticas de gestão de resíduos adotadas no Projeto B, similares àquelas observadas nos PIEs, foi realizada com base em *workshops* realizados com seis analistas ambientais envolvidos nos projetos de empreendimentos industriais em questão. Os analistas envolvidos atuavam na construção e montagem de empreendimentos para o setor de óleo e gás há, no mínimo, 4 anos. A autora da presente tese participou dos *workshops*. Após cada *workshop*, os registros das discussões eram consolidados e distribuídos a todos os envolvidos para que, no próximo *workshop*, as discussões fossem retomadas do ponto em que haviam sido interrompidas. Ao final do trabalho, foi gerado um relatório contendo as principais conclusões do grupo sobre a aplicação de práticas de

gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs no âmbito dos canteiros de obras de empreendimentos industriais. O trabalho foi apresentado ao corpo gerencial dos dois projetos de empreendimentos em questão e as suas contribuições foram agregadas ao relatório final do trabalho. Com base nas discussões, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas à aplicação de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs foram identificadas, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Análise SWOT da estratégia de gestão conjunta de resíduos.

Forças	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformidade e qualidade no serviço de gestão de resíduos decorrente da contratação de empresa para prover tais serviços • Melhoria no <i>layout</i> do canteiro de obras decorrente do compartilhamento de uma área de armazenamento temporário de resíduos entre todas as empreiteiras • Simplificações administrativas • Empreiteiras dedicadas exclusivamente às atividades de construção e montagem industrial
Fraquezas	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciais conflitos entre os atores envolvidos • Dependência de uma equipe dedicada à coordenação do processo de gestão de resíduos • Potencial impacto de uma eventual má prestação de serviços de gestão de resíduos sobre as atividades de construção e montagem industrial
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial criação de requisitos legais que estimulem a implementação de práticas de produção mais limpa, ecologia industrial, soluções consorciadas de gestão de resíduos, dentre outras, em canteiros de obras • Condicionantes de licença que estimulem a adoção de estratégias de gestão de resíduos conjuntas
Ameaças	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa disponibilidade de alternativas de reciclagem e tratamento de resíduos na região do projeto • Preferência do mercado por modelos contratuais em que a gestão de resíduos é efetuada de forma independente entre as empreiteiras • Ausência de divulgação e investigação de estratégias de gestão conjunta de resíduos

Fonte: Elaboração própria.

A seguir, as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades relacionadas à aplicação de práticas comumente observadas em PIEs no âmbito dos canteiros de obras de empreendimentos industriais são discutidas.

6.1.1 Forças

A análise SWOT revelou que as forças da aplicação de práticas de gestão de resíduos similares às aquelas observadas nos PIEs na fase de construção e montagem industrial decorrem, principalmente, das vantagens propiciadas pela centralização da gestão de resíduos gerada pela contratação de uma empresa para prover tais serviços para todas as empreiteiras envolvidas no projeto. Maior eficiência e aumento na qualidade dos serviços de gestão de resíduos são considerados benefícios típicos da provisão conjunta de serviços, assim como a potencial redução do consumo de materiais e energia, uma vez que as empreiteiras envolvidas não precisam possuir infraestrutura e equipamentos individuais quando um prestador de serviços comum é engajado no processo (CHERTOW *et al.*, 2008).

O engajamento de uma empresa especializada em prover serviços de gestão de resíduos assegura uniformidade nas práticas adotadas, contribuindo para elevar o desempenho ambiental do projeto como um todo. Quando uma empresa de gestão de resíduos é contratada, não são observadas discrepâncias entre os procedimentos adotados para coleta dos resíduos nas frentes de trabalho e para gestão da área de armazenamento temporário de resíduos. Além disso, a gestão de resíduos constitui o negócio principal da empresa contratada para tal, diferentemente, do caso das empreiteiras, especializadas em atividades de construção e montagem, que paralelamente gerenciam seus resíduos a fim de atender requisitos legais e contratuais. Dessa forma, a qualidade dos serviços de gestão de resíduos tende a ser maior quando há a contratação de empresa especializada em tais serviços.

Adicionalmente, quando se contrata uma empresa para prover serviços de gestão de resíduos, como o objeto contratual é o próprio processo de gestão de resíduos, é possível exercer maior cobrança quanto à qualidade dos serviços prestados e ao desempenho alcançado, o qual pode ser medido em termos de alinhamento da destinação dos resíduos à hierarquia estabelecida pela PNRS, por exemplo. Em contrapartida, na gestão independente de resíduos, o objeto contratual dos contratos firmados com as empreiteiras consiste na construção e montagem da instalação. A gestão de resíduos é apenas uma das inúmeras atividades inseridas nos contratos, não sendo foco principal do trabalho da empreiteira, uma vez que seu desempenho contratual é medido principalmente pelo avanço físico das atividades de construção e montagem.

A melhoria de aspectos relacionados ao *layout* do canteiro de obras, decorrente do compartilhamento de uma área de armazenamento temporário de resíduos entre todas as empreiteiras envolvidas, também foi identificada como uma das forças da aplicação de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs. Tal compartilhamento contribui para aspectos relacionados ao *layout* do canteiro de obras, uma vez que esses costumam não dispor de muito espaço para infraestrutura e equipamentos relacionados à gestão de resíduos (WANG *et al.*, 2010).

As simplificações administrativas decorrentes da cooperação entre os atores envolvidos no projeto consistem em outra força da aplicação de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs. Como exemplo de práticas que geram tais simplificações, pode-se citar a elaboração e implantação de um único plano de gestão de resíduos por todos os atores envolvidos, a obtenção de licenças e autorizações que contemplam o transporte e a destinação dos resíduos gerados por todas as empreiteiras e a centralização do acompanhamento dos serviços de gestão de resíduos na equipe que coordena esse processo. Na estratégia de gestão independente de resíduos, cada empreiteira possui seu próprio plano de gestão de resíduos, além de precisar dispor de profissionais para coordenar seu processo de gestão de resíduos, obter as licenças e autorizações necessárias para transportar e destinar seus resíduos, firmar os contratos com as unidades de tratamento e destinação de resíduos, dentre outros.

6.1.2 Fraquezas

Uma vez que a aplicação de práticas de gestão de resíduos similares às observadas em PIEs requer a cooperação entre os atores envolvidos, a clara definição das responsabilidades de cada parte é essencial para evitar conflitos. Uma das fraquezas identificadas na análise SWOT é a potencial ocorrência de conflitos entre os envolvidos. É preciso que cada parte envolvida esteja ciente de suas responsabilidades e execute as suas atividades com comprometimento para que o processo de gestão de resíduos funcione adequadamente. A falta de comprometimento de qualquer uma das partes envolvidas pode prejudicar o desempenho alcançado. Por exemplo, se as empreiteiras não promoverem a correta segregação dos resíduos na fonte, a sua destinação para fins mais nobres, como a reciclagem, pode ser inviabilizada.

Outra fraqueza identificada está relacionada à dependência de uma equipe para coordenar o processo de gestão de resíduos, a qual, no caso em análise, foi formada por profissionais do futuro operador do empreendimento. A ausência de uma equipe coordenadora pode dificultar a gestão dos serviços de gestão de resíduos, uma vez que a equipe dedicada à coordenação do processo fornece as diretrizes para o trabalho da empresa prestadora de serviços, definindo critérios a serem adotados para coleta, armazenamento, transporte e destinação dos resíduos. Além disso, essa equipe acompanha os serviços prestados, visando assegurar a sua qualidade. Se esse papel fosse realizado por cada uma das empreiteiras individualmente, é possível que surgissem orientações e diretrizes diferentes, oriundas de cada empreiteira, gerando dificuldades para o estabelecimento de procedimentos uniformes e potencializando o surgimento de conflitos entre as partes envolvidas.

Constata-se, assim, que a formação de uma equipe para a coordenação do processo, por um lado, gera diversos benefícios, dentre os quais se destacam algumas das simplificações administrativas mencionadas anteriormente. Por outro lado, a formação dessa equipe mostra-se indispensável para a aplicação de práticas de gestão de resíduos similares às observadas em PIEs no âmbito dos canteiros de obras de empreendimentos industriais, criando-se uma dependência com relação a mesma. A análise SWOT revelou que a implantação de tais práticas seria dificultada sem a formação de uma equipe para a coordenação do processo e que um baixo comprometimento da equipe impactaria a gestão de resíduos como um todo.

Por fim, a última fraqueza identificada na análise SWOT corresponde ao impacto que a má prestação dos serviços de gestão de resíduos pode ter sobre as atividades de construção e montagem industrial realizadas pelas empreiteiras. Atrasos no serviço de coleta de resíduos nas frentes de trabalho, por exemplo, podem impactar a continuidade das atividades de construção e montagem. A dinâmica em canteiros de obras é muito intensa. Áreas que em um dado momento estão disponíveis para a permanência de coletores e contêineres de resíduos, em um momento seguinte precisam estar livres devido a alterações do *layout* do canteiro necessárias para o prosseguimento das atividades construtivas, para passagem de máquinas e equipamentos necessários para a continuidade destas, dentre outros. Dessa forma, é preciso assegurar que os serviços de gestão de resíduos sejam adequadamente prestados para não impactar o andamento da construção e montagem da planta industrial.

6.1.3 Oportunidades

As oportunidades identificadas pela análise SWOT compreendem a potencial criação de exigências (requisitos legais) que incentivem a implementação de práticas de produção mais limpa, ecologia industrial, soluções consorciadas de gestão de resíduos em canteiros de obras, dentre outras. Como exemplo de regulamentação que pode estimular a adoção de soluções consorciadas de gestão de resíduos pode-se citar o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que prevê, em seu Artigo 55, que empreendimentos sujeitos à elaboração de plano de gestão de resíduos sólidos localizados em um mesmo condomínio, município, microrregião, região metropolitana ou aglomeração urbana, que exerçam atividades de um mesmo setor produtivo e que possuam mecanismo formalizado de governança ou cooperação podem optar pela apresentação do referido plano de forma coletiva ou integrada. O plano deve conter a indicação individualizada das atividades desenvolvidas, resíduos gerados, ações e responsabilidades de cada gerador. Esse tipo de legislação regulamenta a adoção de soluções conjuntas ou integradas de gestão de resíduos, trazendo maior segurança jurídica aos envolvidos.

Ainda no que se refere às oportunidades, condicionantes de licença requerendo o estabelecimento de colaboração e maior integração entre as organizações envolvidas no projeto consistem também em motivadores para a implementação de estratégias conjuntas de gestão de resíduos. Uma vez que todas as empreiteiras estão envolvidas na construção e montagem do mesmo projeto, órgãos ambientais locais podem requerer a elaboração e implementação de um plano de gestão de resíduos integrado para todas as empreiteiras, por exemplo.

6.1.4 Ameaças

Com relação às ameaças identificadas por meio da análise SWOT, a baixa disponibilidade de alternativas de reciclagem e tratamento de resíduos pode comprometer o desempenho do processo de gestão de resíduos. Regiões deficientes em unidades de tratamento ou reciclagem de resíduos podem levar à destinação da maior parte dos resíduos para aterros. Entretanto, sob uma outra perspectiva, a baixa disponibilidade de alternativas de empresas de tratamento ou reciclagem de resíduos em uma dada região pode estimular a busca por empresas de outros setores econômicos que possam incorporar

em seus processos produtivos os resíduos gerados na construção e montagem de empreendimentos industriais, isto é, pode representar uma oportunidade para o desenvolvimento de relações de intercâmbio de resíduos (SI) entre diferentes empresas, visando evitar impactos sobre o desempenho do processo de gestão de resíduos.

Por fim, a preferência do mercado por estratégias de gestão independente de resíduos, na qual cada empreiteira é responsável por gerenciar seus próprios resíduos, pode representar uma ameaça à aplicação de práticas de gestão de resíduos similares às aquelas observadas em PIEs. Se o futuro operador do empreendimento não conseguir encontrar empreiteiras interessadas em se engajar na aplicação de tais práticas, a aplicação das mesmas torna-se inviável. Da mesma forma, a falta de interesse do futuro operador do empreendimento por tais práticas de gestão derivadas da EI pode inviabilizar a sua aplicação.

Na indústria de óleo e gás, há três estratégias de gestão de meio ambiente, saúde e segurança em grandes contratações identificadas pela *International Association of Oil and Gas Producers* (IOGP, 2017). Na primeira estratégia, o contratado (empreiteira) executa as atividades de meio ambiente, saúde e segurança com recursos próprios, sob a supervisão, orientação e de forma integrada ao Sistema de Gestão de Meio Ambiente, Saúde e Segurança da empresa de óleo e gás. Na segunda estratégia, o contratado executa as atividades relacionadas a meio ambiente, saúde e segurança com recursos próprios, de acordo com seu próprio sistema de gestão, podendo ser auditado pela empresa de óleo e gás. Por fim, na terceira estratégia, o contratado exerce as atividades de meio ambiente, saúde e segurança de acordo com seu sistema de gestão e sem interface com a empresa de óleo e gás.

A estratégia de gestão conjunta de resíduos, marcada pela aplicação de práticas similares às observadas em PIEs, pode ser considerada como uma derivação da primeira estratégia de gestão de meio ambiente, saúde e segurança descrita pela IOGP, uma vez que se baseia em uma integração ainda maior do que a descrita entre contratado e empresa de óleo e gás, já que recursos humanos da empresa de óleo e gás são disponibilizados para atuar no processo de gestão de resíduos do projeto e esse depende da atuação conjunta de todas as partes envolvidas. Já a estratégia de gestão independente de resíduos está alinhada à segunda estratégia descrita pela IOGP. A preferência das empresas de óleo e gás por determinada estratégia depende do contexto em que as mesmas estão inseridas (país, momento econômico, empreiteiras disponíveis no mercado, riscos mapeados para

os projetos, dentre outros). Um contexto que leve a uma preferência pela segunda ou terceira estratégia pode dificultar o surgimento de iniciativas que dependam de uma maior integração entre contratados e a empresa de óleo e gás, como a estratégia de gestão conjunta de resíduos investigada na presente tese.

A ausência de divulgação e de investigações sobre a aplicação de práticas derivadas da EI à fase de construção e montagem de empreendimentos industriais também foi identificada como uma ameaça, uma vez que devido à tal ausência faltam subsídios, tanto para o futuro operador do empreendimento quanto para as empreiteiras envolvidas em um projeto, avaliarem a possibilidade de implantar práticas dessa natureza.

Os fatores relacionados à adoção de práticas inter-organizacionais que buscam o aproveitamento de sinergias decorrentes da proximidade geográfica entre os atores envolvidos na construção e montagem de empreendimentos industriais ou destes com outros atores da região onde o projeto está inserido, revelados pela análise SWOT, são empregados para embasar a discussão apresentada no item a seguir.

6.2 Aplicação de práticas da Ecologia Industrial na construção e montagem: contribuições

Na presente seção, os resultados da análise SWOT são empregados para discutir a aplicação de práticas de gestão de resíduos, comumente observadas em PIEs, no contexto dos canteiros de obras de empreendimentos industriais. Para tal, inicialmente, as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades identificadas na análise SWOT são relacionadas às práticas de gestão de resíduos características dos PIEs consideradas na proposta apresentada no item 4.2.2. A Tabela 16 apresenta tal relação.

A partir da relação apresentada na Tabela 16 e dos resultados do estudo de caso apresentado no Capítulo 5, as contribuições da aplicação de cada uma das práticas consideradas na proposta apresentada no item 4.2.2 para a gestão de resíduos na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais são identificadas e discutidas.

Tabela 16. Práticas dos PIEs X Análise SWOT.

Forças, fraquezas, ameaças e oportunidades	Práticas dos PIEs				
	Prestação de serviços comuns de forma centralizada	Compartilhamento de Infraestrutura e áreas comuns	Intercâmbio de resíduos	Outras práticas inter-organizacionais	Engajamento dos atores
Fo1	X				
Fo2		X			
Fo3				X	
Fo4	X				
Fr1					X
Fr2					X
Fr3	X				
Op1				X	
Op2					X
Op3 / Am1			X		
Am2					X
Am3					X

Legenda: Fo: forças; Fr: fraquezas; Op: oportunidades; Am: ameaças. Fo1 - Uniformidade e qualidade no serviço de gerenciamento de resíduos decorrente da contratação de empresa para prover tais serviços; Fo2 - Melhoria no *layout* do canteiro de obras decorrente do compartilhamento de uma área de armazenamento temporário de resíduos entre todas as empreiteiras; Fo3 – Simplificações administrativas Fo4 - Empreiteiras dedicadas exclusivamente às atividades de construção e montagem industrial; Fr1 - Potenciais conflitos entre os atores envolvidos; Fr2 - Dependência da formação de uma equipe dedicada à coordenação do processo de gestão de resíduos; Fr3 - Potencial impacto de uma eventual má prestação dos serviços de gestão de resíduos; Op1 - Potencial criação de requisitos legais que estimulem ou regulamentem a implementação de práticas de produção mais limpa, ecologia industrial, soluções consorciadas de gestão de resíduos, dentre outras, em canteiros de obras; Op2 – Estabelecimento, pelo órgão ambiental, de condicionantes de licença que estimulem a adoção de estratégias de gestão de resíduos conjuntas; Op 3 / Am1 - Baixa disponibilidade de alternativas de reciclagem e tratamento de resíduos na região do projeto; Am2 - Preferência do mercado por modelos contratuais em que a gestão de resíduos é efetuada de forma independente entre as empreiteiras; Am3 - Ausência de divulgação e investigação de práticas inter-organizacionais de gestão de resíduos. **Fonte: Elaboração própria.**

6.2.1 Engajamento dos atores

Na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, os principais atores envolvidos com o processo de gestão de resíduos são as empreiteiras, suas sub-contratadas, o órgão ambiental local, o futuro operador do empreendimento e os prestadores de serviços relacionados a esse processo. No estudo de caso analisado, a estratégia de gestão conjunta de resíduos, marcada pela adoção de diversas práticas de gestão similares àquelas observadas em PIEs, foi proposta e coordenada pelo futuro operador do empreendimento, motivado por aspectos relacionados ao desempenho

ambiental da fase de construção do empreendimento, à conformidade legal e aos riscos ambientais associados à disposição inadequada de resíduos, conforme discutido no item 5.3.

A relevância de um agente com função de coordenação em PIEs, bem como em outras redes eco-industriais, já foi salientada na literatura (PATALA *et al.*, 2014). Experiências reportadas em estudos anteriores evidenciaram a existência de um agente central com função de coordenação em PIEs (BAAS e HUISINGH, 2008; CAROLI *et al.*, 2015). Mesmo em relações de SI espontâneas tem se observado que, após um período inicial em que os atores envolvidos não tem consciência da rede de simbiose formada, segue-se um período em que se avalia a formação de mecanismos formais de coordenação (CHERTOW, 2007).

Em um dos projetos em análise, o futuro operador do empreendimento, enquanto coordenador, buscou empreiteiras interessadas em atuar na construção e montagem do empreendimento e dispostas a adotar práticas inter-organizacionais de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs; negociou contratos com tais empreiteiras, na fase de contratação e também com a empresa prestadora de serviços de gestão de resíduos, na fase de mobilização; além de acompanhar os serviços prestados por essa empresa ao longo da construção do projeto e exercer outras atividades de coordenação.

Conforme apontado pela análise SWOT, apesar da atuação de um coordenador trazer benefícios, como algumas simplificações administrativas, a implantação e operacionalização de práticas inter-organizacionais de gestão de resíduos torna-se dependente da atuação desse coordenador.

No contexto de construção e montagem de empreendimentos industriais, é pouco provável que a implantação de práticas de gestão de resíduos dessa natureza ocorra sem a formação de uma equipe para coordenar o processo, uma vez que é preciso, ao menos, que um grupo formalize o contrato de prestação de serviços de gestão de resíduos com uma empresa provedora de tais serviços, bem como atue no acompanhamento desse contrato. É possível, entretanto, ao menos, reduzir a dependência com relação ao futuro operador do empreendimento, formando uma equipe de coordenação composta também por profissionais das empreiteiras envolvidas. Isso, possivelmente, contribuiria para uma integração e cooperação mais rápida e efetiva entre as empreiteiras.

Cabe destacar que, mesmo com a criação de uma equipe de coordenação mista (formada por profissionais do futuro operador do empreendimento e das empreiteiras), o futuro operador do empreendimento continua exercendo influência sobre a estratégia de gestão de resíduos adotada na fase de construção e montagem do projeto. Conforme identificado na análise SWOT, se houver uma preferência do futuro operador do empreendimento por uma estratégia de gestão de resíduos em que cada empreiteira atue de forma independente, esse influenciará as empreiteiras a adotarem tal estratégia.

A divulgação de casos e a realização de estudos referentes à adoção de práticas de gestão de resíduos, similares às observadas em PIEs, nos canteiros de obras industriais podem motivar empreiteiras e futuro operador do empreendimento a adotar práticas dessa natureza. Por um lado, estudos sobre esse tema podem subsidiar o futuro operador do empreendimento durante o planejamento da fase de construção e montagem do empreendimento industrial, fornecendo as informações necessárias para motivá-lo a propor a adoção de práticas dessa natureza e a buscar empreiteiras interessadas. Por outro lado, caso o futuro operador do empreendimento não tenha proposto, já na fase de planejamento, adotar tais práticas de gestão de resíduos, se as empreiteiras tiverem conhecimento das mesmas e de seus benefícios, é possível que busquem cooperar umas com as outras em direção à implantação de tais práticas.

Portanto, no que diz respeito à dinâmica de implantação, a adoção de estratégia de gestão de resíduos, marcadas por práticas similares às observadas em PIEs, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais, ocorre por iniciativa de atores privados envolvidos na construção do empreendimento (futuro operador ou empreiteiras), com diferentes motivações, que optam por adotar práticas que buscam o aproveitamento de sinergias entre os envolvidos. A principal contribuição da adoção de práticas dessa natureza consiste na implantação de uma estratégia de gestão cooperativa entre os envolvidos, marcada pela divisão de responsabilidades, integração e compartilhamento de experiências.

Cabe ainda mencionar que a clara definição de tarefas e responsabilidades entre todos os envolvidos em estratégias de gestão de resíduos caracterizadas pela adoção de práticas similares às observadas em PIEs é essencial para evitar conflitos, uma vez que há muitas interfaces nessas práticas e que o alcance dos resultados almejados depende do comprometimento de todos os envolvidos. Tal definição pode ser realizada por meio de instrumentos contratuais. O papel dos instrumentos contratuais para o sucesso do

processo de gestão de resíduos já foi apontado na literatura (AJAYI e OYEDELLE, 2017), sendo corroborado pelos aspectos levantados na análise SWOT do presente estudo de caso.

É preciso, também, registrar as responsabilidades de cada parte no Plano de Gestão de Resíduos Sólidos elaborado para a fase de construção e montagem industrial do projeto. Considerando que o plano é encaminhado ao órgão ambiental e aprovado pelo mesmo, sendo parte integrante do processo de licenciamento ambiental, conforme a PNRS, as responsabilidades assumidas no plano tornam-se compromisso firmado no processo de licenciamento devendo ser adequadamente cumpridas.

Com relação à atuação do órgão ambiental, conforme identificado na análise SWOT, esse pode estabelecer condicionantes ao longo do processo de licenciamento ambiental que estimulem uma maior integração e cooperação no canteiro de obras.

Cabe mencionar, ainda, que, nos casos analisados, observou-se que tanto o relacionamento com o órgão ambiental quanto o relacionamento com as comunidades se davam por meio do futuro operador do empreendimento, uma vez que esse era o único ator envolvido na fase de construção e montagem do empreendimento que permaneceria na região após o término da construção do empreendimento. Assim, a centralização de tais relacionamentos no futuro operador mostrou-se benéfica por gerar relacionamentos de longo prazo com o órgão ambiental e com a comunidade, bem como por definir um único interlocutor do empreendimento com os demais atores envolvidos.

6.2.2 Prestação de serviços comuns de forma centralizada

A provisão conjunta de serviços, tais como transporte, jardinagem, segurança e gestão de resíduos é prática comum em PIEs (VEIGA, 2007; CAROLI *et al.*, 2015, TADDEO, 2016; BELLANTUONO *et al.*, 2017) e suas vantagens já foram analisadas na literatura (CHERTOW *et al.*, 2008).

Na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, as empreiteiras envolvidas podem se beneficiar da centralização dos serviços de gestão de resíduos por meio da contratação de empresa provedora de tais serviços. A centralização dos serviços de gestão de resíduos pode, conforme identificado na análise SWOT, assegurar uniformidade nos serviços prestados a todas as empreiteiras e seus sub-contratados,

evitando que algumas empreiteiras apresentem baixo desempenho quanto à gestão de seus resíduos, o que pode impactar o desempenho ambiental geral do projeto.

Entretanto, conforme revelado pela análise SWOT, atrasos nos serviços de gestão de resíduos podem impactar as atividades de construção e montagem, uma vez que o acúmulo de resíduos em frentes de trabalho, por exemplo, pode gerar efeitos negativos sobre aspectos logísticos e operacionais do canteiro de obras. Portanto, a seleção criteriosa da empresa provedora de serviços de gestão de resíduos é crítica para o sucesso da centralização de tais serviços. É essencial que além dos critérios relacionados ao preço dos serviços prestados, sejam também considerados critérios técnicos referentes à gestão de resíduos, para a seleção da empresa prestadora de serviços.

Por fim, cabe mencionar que é preciso que uma equipe conduza o processo de contratação da empresa prestadora de serviços de gestão de resíduos e acompanhe a execução de tais serviços. Conforme já mencionado, o estudo de caso desenvolvido revelou que, no Projeto B, o futuro operador do empreendimento disponibilizou recursos humanos para compor tal equipe, mas essa poderia ser composta também por profissionais das empreiteiras.

6.2.3 Compartilhamento de infraestrutura e áreas comuns

O compartilhamento de áreas e de infraestrutura consiste em prática adotada com frequência em PIEs (LOWE, 2001; VEIGA, 2007; CHERTOW *et al.*, 2008; CAROLI *et al.*, 2015; TADDEO, 2016) que apresenta potencial para ser implantada em canteiros de obras, conforme apontado pelos resultados apresentados no Capítulo 5.

Na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais, uma única área de armazenamento temporário de resíduos pode ser compartilhada por todas as empreiteiras envolvidas no projeto. Veículos para transporte de resíduos, empilhadeiras e coletores de resíduos podem ser também compartilhados. Tais veículos e equipamentos podem ser fornecidos pela empresa contratada para prestar os serviços de gestão de resíduos, como observado no caso em análise, ficando sob gestão da mesma. Similarmente, a gestão da área de armazenamento temporário de resíduos pode ficar sob responsabilidade dessa empresa.

Uma vez que, em canteiros de obras, não há muito espaço disponível para a infraestrutura relacionada ao processo de gestão de resíduos (WANG *et al.*, 2010), empreiteiras podem se beneficiar do compartilhamento de tal infraestrutura, bem como dos equipamentos necessários à gestão de resíduos. No Projeto B, todas as empreiteiras compartilharam uma única área de armazenamento temporário de resíduos. Nesse projeto, o futuro operador do empreendimento disponibilizou parte de sua área de armazenamento de resíduos para uso das empreiteiras, ficando a gestão de tal parte da área sob responsabilidade da empresa contratada para prestação dos serviços de gestão de resíduos. Com isso, não foi preciso construir uma nova área de armazenamento temporário no canteiro, durante a fase de instalação do canteiro, economizando recursos e espaço físico.

Além disso, centros de reciclagem de solventes e centros de reciclagem de entulho podem ser instalados em canteiros de obras. Para tal, é preciso que seja conduzida avaliação técnica e econômica das opções disponíveis no mercado para identificar aquela com melhor retorno. Há equipamentos para reciclagem de solvente de pequeno porte disponíveis no mercado, conforme relatado no Projeto B. Quanto à reciclagem de entulho, a locação de equipamentos móveis de reciclagem de resíduos dessa natureza (britadores para produção de agregados reciclados) por períodos específicos de tempo ou a instalação de equipamentos estacionários de britagem no canteiro durante todo o período de obra são algumas das alternativas a serem avaliadas. Tal avaliação deve ser realizada na fase de planejamento das atividades de construção e montagem industrial para que as opções selecionadas sejam inseridas no Plano de Gestão de Resíduos do projeto e aprovadas pelo órgão ambiental.

6.2.4 Intercâmbio de resíduos

Estudos realizados anteriormente (ZHU e COTE, 2004; MAGRINI e MASSON, 2005; CHERTOW *et al.*, 2008; CHERTOW, 2012; PAJUNEN *et al.*, 2012; SIMBOLI, 2015; RAUT *et al.*, 2017) indicam que a diversidade industrial é um fator essencial para criar oportunidades para o intercâmbio de resíduos. A SI pode ocorrer em distritos dominados por um único setor industrial e em distritos multi-setoriais (CHERTOW *et al.*, 2008). Empresas de um mesmo setor, frequentemente, possuem os mesmos tipos de infraestrutura e necessitam de serviços de suporte similares, de forma que podem se beneficiar da provisão conjunta de serviços relacionados, por exemplo, à gestão

ambiental. Empresas instaladas em distritos industriais multi-setoriais podem, por sua vez, se beneficiar tanto do compartilhamento de serviços e de utilidades, quanto sua diversidade pode gerar opções para intercâmbio de resíduos (JENSEN, 2016).

O estudo de caso analisado na presente tese revelou que canteiros de obras de empreendimentos industriais comportam-se como distritos industriais dominados por empresas de um único setor produtivo. Portanto, oportunidades de compartilhamento de infraestrutura e provisão conjunta de serviços comuns podem ser aproveitadas. Entretanto, oportunidades de intercâmbio de resíduos entre empreiteiras localizadas no canteiro de obras não são muito numerosas e dependem de um planejamento tal que os cronogramas de atividades das empreiteiras favoreçam a realização de tais intercâmbios. É preciso que a geração dos resíduos nas atividades de uma dada empreiteira com potencial para aproveitamento nas atividades de outra empreiteira ocorra em um momento no qual essas atividades estejam sendo realizadas. Devido às limitações de espaço para armazenamento de resíduos em canteiros de obras, geralmente, não seria possível armazená-los por longos períodos de tempo, de forma a aguardar até que determinadas atividades nas quais tais resíduos poderiam ser aproveitados sejam iniciadas.

Por outro lado, as atividades de construção e montagem industrial geram resíduos que podem ser aproveitados por empresas de outros setores produtivos instaladas fora do canteiro de obras. Portanto, oportunidades para realização de intercâmbio de resíduos entre empreiteiras envolvidas no projeto e empresas fora do canteiro de obras devem ser investigadas, de forma a contribuir para elevar as taxas de resíduos desviados de aterros no projeto.

No Projeto A, discos abrasivos usados foram destinados para uma empresa de produção de grãos abrasivos, lã de rocha foi destinada para reaproveitamento por um fabricante de cerâmica, resíduos perigosos foram destinados para co-processamento em cimenteiras e entulho foi destinado para reaproveitamento por uma empreiteira envolvida em outro projeto de construção, em outro canteiro de obras, localizado no mesmo município. Já no Projeto B, resíduos de madeira foram destinados para uma empresa de produtos madeireiros e resíduos perigosos também foram destinados para co-processamento em cimenteiras.

A análise dos dados referentes à destinação de resíduos nos projetos A e B demonstrou que as taxas observadas de recuperação de resíduos por meio da SI (intercâmbio entre empreiteiras e outras empresas) são comparáveis às aquelas verificadas em alguns distritos industriais. Na Área Industrial de Nanjangud, na Índia, por exemplo, 18% dos resíduos gerados são recuperados por meio de relações de SI (BAIN *et al.*, 2010), enquanto na região metropolitana de Lisboa, em Portugal, a SI é responsável por processar 23% dos resíduos gerados (PATRÍCIO *et al.*, 2015). A SI amplia a quantidade de alternativas de destinação final de resíduos existente em uma dada região, contribuindo para evitar a disposição de resíduos em aterros. Conforme demonstrado pelos dados coletados no presente estudo de caso, por meio da SI, empresas em diferentes setores industriais podem receber os resíduos gerados em atividades de construção e montagem, empregando-os em seus processos produtivos.

A Tabela 17 apresenta uma matriz com alguns resíduos tipicamente gerados na fase de construção e montagem de empreendimentos industriais e os potenciais intercâmbios que podem ser estabelecidos com empresas de outros setores produtivos.

Tabela 17. Matriz de sinergia de resíduos de construção e montagem.

	Resíduos gerados							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Indústria de grãos abrasivos	R							
Indústria de artefatos de cerâmica		R						
Indústria de produtos madeireiros							R	
Cimenteira				R	R			
Siderúrgica			R			R		
Empreiteiras executando obras	G	G	G	G	G	G	G/R	G/R

R – potencial receptor de resíduos; G – gerador de resíduos

1. Discos abrasivos usados; 2. Sobras de lâ de rocha; 3. Sobras de eletrodos de solda; 4. Resíduos de pintura; 5. Resíduos oleosos; 6. Sucata metálica; 7. Resíduos de madeira; 8. Resíduos de concreto, cimento e argamassa.

Fonte: Elaboração própria.

Esse tipo de matriz pode ser elaborado na fase de planejamento das atividades de construção e montagem industrial, visando identificar oportunidades de intercâmbios de resíduos. A diversidade industrial na região em que a obra será realizada pode contribuir para a identificação de uma maior quantidade de oportunidades dessa natureza.

6.2.5 Sistema de gestão ambiental no canteiro

De acordo com trabalhos anteriores (KOPLIN *et al.*, 2007; GAVRONSKI, 2011; JABBOUR, 2015), práticas inter-organizacionais costumam ser adotada por empresas que possuem sistema de gestão ambiental implantado, de forma que esse critério pode ser adotado para a seleção de empresas que participarão de projetos em que se pretende implantar tais práticas. Além disso, a importância da seleção de empreiteiras, com base em seu desempenho quanto à gestão de resíduos em obras realizadas anteriormente pelas mesmas, já tem sido destacada na literatura (UDAWATTA *et al.*, 2015).

No estudo de caso desenvolvido na presente tese, observou-se que, em ambos projetos, todas as empreiteiras envolvidas possuíam sistema de gestão ambiental implantado. Entretanto, não foi observada a implantação de um sistema de gestão ambiental único no canteiro de obras. Em ambos projetos, cada empreiteira manteve seu sistema de gestão ambiental independente durante toda a obra.

6.2.6 Sistema de informações integrado

Em ambos projetos analisados neste trabalho, observou-se que o acompanhamento dos dados referentes à geração e à destinação dos resíduos sólidos foi realizado por meio de sistema informatizado do futuro operador dos empreendimentos. Tal sistema já era empregado pelo operador para monitorar os dados referentes aos resíduos gerados em suas outras plantas industriais, o que facilitou a sua adoção, pois não foi necessário proceder a sua aquisição e já haviam profissionais treinados para utilização do mesmo.

O uso de tal sistema permitiu a geração de relatórios consolidando as informações referentes à gestão dos resíduos gerados nas atividades de todas as empreiteiras envolvidas em cada projeto, facilitando a análise dos dados e também o atendimento a condicionantes de licenças ambientais.

6.2.7 Outras práticas inter-organizacionais

A literatura indica que a implementação de práticas inter-organizacionais de gestão requer comprometimento e integração entre os atores envolvidos (GAVRONSKI, 2011;

PERO *et al.*, 2017; REEFKE e SUNDARAM, 2017). O estudo de caso realizado no presente trabalho revelou que, no Projeto B, caracterizado por uma maior integração entre os envolvidos, foram observadas diversas práticas inter-organizacionais.

Dentre as práticas inter-organizacionais observadas, pode-se citar: (i) elaboração e implantação de um único Plano de Gestão de Resíduos Sólidos comum a todas as empreiteiras; (ii) obtenção de autorizações e licenças necessárias à gestão de resíduos abrangendo todas as empreiteiras envolvidas; (iii) estabelecimento de contratos com empresas de transporte e destinação de resíduos abrangendo os resíduos gerados por todas as empreiteiras envolvidas no projeto.

A implementação de tais práticas gerou algumas simplificações administrativas, dentre as quais podem-se citar: (i) redução da quantidade de procedimentos associados ao projeto; (ii) redução da quantidade de autorizações e licenças a serem obtidas, uma vez que essas não são obtidas individualmente pelas empreiteiras; (iii) redução da quantidade de contratos firmados, uma vez que esses não são firmados individualmente pelas empreiteiras, mas sim pela empresa prestadora de serviços de gestão de resíduos sólidos (a quantidade de contratos firmados por essa empresa no Projeto B com unidades de tratamento/reciclagem de resíduos foi inferior àquela observada no Projeto A).

Cabe mencionar ainda que, conforme apontado pela análise SWOT, requisitos legais podem estimular a adoção de práticas inter-organizacionais de gestão entre as empresas envolvidas em um dado projeto. A legislação pode exercer o papel de regulamentar práticas dessa natureza, trazendo segurança jurídica às empresas que pretendem adotá-las.

6.2.8 Síntese

O estudo de caso analisado na presente tese revelou que práticas, comumente observadas em PIEs, como o intercâmbio de resíduos, a prestação de serviços comuns de forma centralizada e o compartilhamento de infra-estrutura, podem contribuir para a gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras de empreendimentos industriais, conforme discutido nos itens anteriores. A Tabela 18 sintetiza as contribuições decorrentes da aplicação de tais práticas à construção e montagem industrial.

Tabela 18. Síntese das contribuições da aplicação de práticas da EI à construção e montagem industrial.

Prática da EI	Contribuição para a construção e montagem
Engajamento dos atores	Promoção de uma estratégia de gestão de resíduos cooperativa entre os atores envolvidos, marcada pela divisão de responsabilidades, integração e compartilhamento de experiências.
Prestação de serviços comuns de forma centralizada	Uniformidade nos serviços prestados a todas as empreiteiras e seus sub-contratados, evitando que algumas empreiteiras apresentem baixo desempenho quanto à gestão de seus resíduos, o que pode impactar o desempenho ambiental geral do projeto.
Compartilhamento de infraestrutura	Melhoria no <i>layout</i> do canteiro de obras, economia de espaço e de recursos relacionados à gestão de resíduos no canteiro.
Intercâmbio de resíduos	Redução da disposição de resíduos em aterros.
Sistema de gestão ambiental	Maior facilidade para implantação de práticas inter-organizacionais.
Sistema de informações integrado	Maior facilidade na análise dos dados e no atendimento a condicionantes de licenças ambientais.
Outras práticas inter-organizacionais	Simplificações administrativas, tais como: redução da quantidade de procedimentos associados ao projeto; redução da quantidade de autorizações e licenças a serem obtidas, uma vez que essas não são obtidas individualmente pelas empreiteiras; redução da quantidade de contratos firmados a serem gerenciados

Fonte: Elaboração própria.

As contribuições listadas na Tabela 18 foram identificadas a partir dos do estudo de caso apresentado no Capítulo 5 e dos resultados da análise SWOT. Alguns autores como OCHARÁN (2017) e HITT, IRELAND e HOSKISSON (2015) atribuem dimensões de análise aos fatores identificados pela ferramenta da análise SWOT. No ambiente interno, as dimensões consideradas consistem em: recursos humanos, recursos econômicos, recursos tecnológicos, operação, marketing, publicidade, posicionamento e imagem. Já no ambiente externo, são considerados aspectos econômicos, político-institucionais, tecnológicos, legais, ambientais e educativos-culturais.

À luz das dimensões de análise consideradas pelos autores mencionados, observa-se que quatro das práticas consideradas (prestação de serviços comuns de forma centralizada, compartilhamento de infraestrutura, uso de sistema de informações integrado e outras práticas inter-organizacionais) geram contribuições de caráter

operacional para o processo de gestão de resíduos, quais sejam: uniformidade nos serviços prestados, melhoria no *layout* do canteiro de obras, maior facilidade na análise de dados e no atendimento a condicionantes de licenças, bem como simplificações administrativas como redução da quantidade de contratos a serem gerenciados no projeto.

Adicionalmente, a prática referente à prestação de serviços de forma centralizada apresenta benefícios de caráter ambiental para o processo de gestão de resíduos, pois ao proporcionar maior uniformidade e qualidade nos serviços de gestão de resíduos contribui para o desempenho do processo como um todo, isto é, para assegurar a destinação de resíduos para fins mais nobres do que os aterros. Da mesma forma, a prática de intercâmbio de resíduos, ao proporcionar o reaproveitamento de resíduos nos processos produtivos de diferentes empresas, também contribui para a dimensão ambiental do processo de gestão de resíduos.

Por fim, duas das práticas consideradas (engajamento dos atores e adoção de sistema de gestão ambiental) geram contribuições de caráter cultural, mais especificamente, para a cultura do setor privado quanto à cooperação na gestão de resíduos, quais sejam: implementação de práticas inter-organizacionais, promoção de uma gestão cooperativa, maior integração e maior compartilhamento de experiências.

Assim, observam-se contribuições tanto para o ambiente interno do processo de gestão de resíduos (operação) quanto para o ambiente externo (meio ambiente e aspectos relacionados à cultura do setor privado quanto à cooperação na gestão de resíduos).

6.3 Recomendações

Nos itens 6.2.1 a 6.2.8, foram apresentadas e discutidas as principais contribuições associadas à aplicação de práticas da EI à construção e montagem industrial. Também foram discutidos fatores relevantes para a sua aplicação nesse contexto, com base nos resultados da análise SWOT. Conforme mencionado anteriormente, a análise SWOT tem por objetivo diagnosticar a situação de uma empresa e traçar estratégias para sua melhoria, já tendo sido aplicada para avaliar e aprimorar a situação da gestão de resíduos em diferentes países, cidades ou regiões.

Assim, apresentam-se, a seguir, recomendações para potencializar as forças, superar as fraquezas, aproveitar as oportunidades e evitar as ameaças referentes à aplicação de

práticas da EI na gestão de resíduos da construção e montagem de empreendimentos industriais.

Recomendações para evitar ameaças:

As três recomendações apresentadas, a seguir, visam evitar que práticas da EI não sejam aplicadas na construção e montagem de empreendimentos industriais por desconhecimento (falta de estudos e de divulgação) ou por preferência do mercado por modelos independentes de gestão, devido ao fato de não se avaliar a viabilidade de aplicação de práticas da EI aos canteiros de obras industriais e os seus potenciais benefícios.

➤ Recomenda-se que futuros operadores de empreendimentos industriais avaliem, na fase de planejamento das atividades de construção e montagem, a viabilidade técnica e econômica da aplicação de práticas de gestão de resíduos, similares às observadas em PIEs, no âmbito dos canteiros de obras industriais.

A avaliação da viabilidade de implementação de práticas similares às observadas em PIEs em canteiros de obras de empreendimentos industriais consiste no primeiro passo para que tais práticas sejam implementadas e gerem benefícios como elevar a taxa de resíduos desviados de aterros, otimizar o espaço interno em canteiros de obras, simplificar o processo de gestão de resíduos, uniformizar a qualidade dos serviços de gestão de resíduos prestados a todas empreiteiras, dentre outros.

A experiência obtida com o Projeto A indicou que, mesmo em projetos nos quais não há um interesse inicial por parte do futuro operador do empreendimento ou das empreiteiras em adotar práticas de gestão de resíduos que buscam aproveitar as sinergias existentes entre as empreiteiras, é possível adotar práticas tipicamente estudadas pela EI como o intercâmbio de resíduos entre empresas (nesse caso, entre empreiteiras e empresas externas à obra). Em regiões em que há poucas alternativas de destinação final para resíduos, essa prática pode consistir em solução para aumentar a reinserção de resíduos em processos produtivos, elevando a taxa de resíduos desviados de aterros.

Recomenda-se, dessa forma, que o intercâmbio de resíduos seja considerado como uma das alternativas de destinação de resíduos a ser investigada para a fase de construção e montagem de empreendimentos industriais. Após a identificação das correntes de resíduos que serão geradas na obra, sugere-se elaborar matriz similar àquela apresentada no item 6.2.4 e considerá-la no momento da seleção das alternativas de destinação que

serão adotadas na obra. Se o intercâmbio de resíduos se revelar interessante do ponto de vista econômico e ambiental, a tendência é que os gestores envolvidos na obra optem por adotá-lo.

Cabe ressaltar que podem surgir algumas dificuldades para implementar tal intercâmbio como, por exemplo, dificuldade de obtenção das autorizações e licenças necessárias. Nem sempre as licenças ambientais das empresas que poderiam receber os resíduos já preveem que as mesmas podem recebê-los, sendo necessário verificar esse aspecto junto ao órgão ambiental.

O projeto B, por sua vez, revelou é possível buscar a implementação de outras práticas da EI, além do intercâmbio de resíduos. Para tal, faz-se necessário avaliar aspectos como espaço no canteiro, disponibilidade de equipe para gerir esse processo, existência de prestadores de serviços de gestão de resíduos qualificados para atender a demanda da obra como um todo, dentre outros.

➤ Recomenda-se que futuros operadores de empreendimentos industriais e empresas de gestão de projetos busquem sistematizar a avaliação da aplicabilidade de práticas de gestão de resíduos, similares àquelas observadas em PIEs, em canteiros de obras de empreendimentos industriais, mediante a inserção de tal avaliação em sistemáticas consagradas de gestão de projetos

Projetos de empreendimentos industriais de grande porte costumam seguir metodologias de gestão de projetos bem estruturadas como, por exemplo, a metodologia *Front-End Loading* (FEL). A metodologia FEL sistematiza as fases de desenvolvimento de um projeto, estabelecendo critérios e passos que devem ser executados em cada etapa do projeto, desde seu início até a finalização (GALVÃO JÚNIOR, 2013).

O ciclo de vida de projetos dessa natureza compreende basicamente duas etapas: Concepção e Execução. Conforme MERROW (2011), a metodologia FEL divide a etapa de Concepção em três fases: FEL1 – Análise do Negócio; FEL 2 – Seleção da Alternativa; FEL 3 – Planejamento da Construção.

A etapa inicial (FEL 1) abrange a definição dos objetivos do projeto e avaliação da oportunidade de investimento e atratividade do negócio. Um conjunto de alternativas relacionadas ao escopo do projeto é delineado nessa fase para avaliação em fases posteriores. Já a etapa intermediária (FEL 2) compreende a seleção da melhor alternativa conceitual apresentada na etapa anterior, chegando-se a uma melhor definição de escopo

(ROMERO, 2010). Por fim, a fase final da etapa de concepção (FEL 3) refina os parâmetros de projeto e as alternativas de engenharia definidas nas etapas anteriores. Seu término coincide com o fim do Projeto Básico.

A etapa seguinte é a de Execução, que tem início com a elaboração da Engenharia Detalhada, seguida pela construção (obras civis e montagem) e, por fim, pelo comissionamento e a produção (GALVÃO JÚNIOR, 2013).

Ao final de cada fase, são estabelecidos portões de decisão, isto é, momentos em que as premissas e restrições do projeto são avaliadas para se tomar a decisão quanto ao prosseguimento ou não à fase seguinte.

Em termos ambientais, em FEL 1, normalmente, realiza-se um diagnóstico ambiental preliminar da área. Em FEL 2, a estratégia de licenciamento ambiental é elaborada e dá-se início à elaboração dos estudos ambientais (EIA/RIMA) (ROMERO, 2010). Por fim, em FEL 3, obtém-se a Licença Prévia. Na sequência, são obtidas as Licenças de Instalação e de Operação.

Ao longo da etapa de concepção do projeto, podem ser aplicadas Práticas de Melhoria de Valor (*Value Improving Practices – VIP*). Trata-se de um conjunto de práticas diferenciadas em relação ao desenvolvimento padrão da indústria, que buscam a utilização de recursos com mais eficiência, agregando valor ao projeto no âmbito de custo, cronograma e/ou confiabilidade (GALVÃO JÚNIOR, 2013).

Dentre essas VIPs, encontra-se a VIP de minimização e gestão de resíduos. Essa VIP consiste em realização de análise de cada fluxo do processo, visando identificar os resíduos gerados e as alternativas existentes para minimizá-los ou transformá-los em subprodutos utilizáveis. Trata-se de VIP bastante alinhada aos conceitos da EI que, entretanto, é comumente aplicada apenas aos fluxos de processo da fase de produção do empreendimento, não abrangendo a análise dos fluxos das atividades da fase de construção e montagem, nem tão pouco a análise dos resíduos gerados em tal fase.

Recomenda-se que essa VIP passe a ser aplicada pelas empresas também à fase de construção e montagem de seus empreendimentos, visando identificar oportunidades para minimizar a geração de resíduos e oportunidades para reaproveitar os resíduos gerados, seja por meio do reuso, da reciclagem ou do aproveitamento em processos produtivos de empresas externas à obra ou de empreiteiras envolvidas no projeto.

Essa VIP poderia abranger também a avaliação do potencial de aproveitamento de outras sinergias quanto à gestão de resíduos, decorrentes da proximidade geográfica entre os atores envolvidos no projeto como compartilhamento de infraestrutura e prestação de serviços comuns de forma centralizada. Tal avaliação poderia ser realizada na fase em que é efetuado o planejamento das atividades de construção e montagem industrial (passagem de FEL3 para FEL4 – execução).

➤ Recomenda-se que universidades e centros de pesquisa investiguem e divulguem casos de aplicação de práticas de gestão de resíduos, similares àquelas observadas em PIEs, no contexto de canteiros de obras, visando fornecer subsídios técnicos a empreiteiras e a operadores de empreendimentos industriais para avaliar o potencial de adoção de práticas dessa natureza em futuros projetos.

Recomendações para superar fraquezas:

➤ Em canteiros de obras industriais, quando se opta pela adoção de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs, recomenda-se que o futuro operador do empreendimento e as empreiteiras envolvidas na obra formem uma equipe para coordenar o processo de gestão de resíduos. Tal equipe poderá conduzir o processo de contratação do prestador de serviços de gestão de resíduos para a obra, acompanhar a execução de tais serviços, obter licenças e autorizações necessárias ao processo, bem como gerir planos e documentos. O envolvimento de profissionais do futuro operador do empreendimento e das empreiteiras em tal equipe, além de promover maior integração entre todos os envolvidos na gestão de resíduos da obra, evita que apenas um dos envolvidos tenha seus recursos humanos sobrecarregados.

➤ Em canteiros de obras de empreendimentos industriais, quando se opta pela centralização da prestação de serviços de gestão de resíduos, recomenda-se selecionar criteriosamente empresa provedora de tais serviços, pois esse fator é crítico para o sucesso da centralização desses serviços e para evitar impactos sobre as atividades das empreiteiras.

➤ Em canteiros de obras de empreendimentos industriais, quando se opta pela adoção de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs, recomenda-se definir tarefas e responsabilidades entre todos os atores envolvidos, por meio de instrumentos contratuais, registrando também as responsabilidades de cada parte no Plano de Gestão de Resíduos Sólidos da fase de construção e montagem do

empreendimento industrial. Com isso, busca-se evitar o surgimento de potenciais conflitos entre os envolvidos.

➤ Recomenda-se adotar sistema informatizado para registro e acompanhamento das informações referentes à geração e à destinação dos resíduos gerados nas atividades de todas as empreiteiras, priorizando o uso de sistemas já adotado por um dos atores envolvidos (empreiteiras ou futuro operador do empreendimento). O uso de um único sistema para registrar todos os dados referentes à gestão de resíduos da obra facilita o acompanhamento das mesmas, a melhoria contínua e o atendimento às condicionantes ambientais como, por exemplo, a apresentação de informações consolidadas do projeto.

Recomendações para potencializar as forças:

➤ Em estratégias de gestão de resíduos em que se pretende adotar práticas inter-organizacionais, o futuro operador do empreendimento deve priorizar a contratação de empreiteiras que possuam sistema de gestão ambiental implantado, pois, de acordo com a literatura, esse fator facilita a adoção de práticas inter-organizacionais com potencial para gerar benefícios, tais como maior uniformidade no processo de gestão de resíduos, melhoria no *layout* do canteiro de obras, simplificações administrativas e redução da quantidade de resíduos enviados a aterros. Aos poucos, essa priorização pode levar a um aumento na quantidade de empreiteiras com sistema de gestão ambiental implementado e a uma maior aceitação de práticas de gestão como aquelas propostas pela EI.

Recomendações para aproveitar oportunidades:

➤ Recomenda-se que futuros operadores de empreendimentos industriais aproveitem legislações que estimulam a adoção de práticas inter-organizacionais como, por exemplo, a PNRS que permite a adoção de um único Plano de Gestão de Resíduos Sólidos para conjuntos de empresas que atuam co-localizadas, para propor às empreiteiras a implementação de estratégias de gestão de resíduos baseadas em práticas de colaboração como as práticas derivadas da EI. Caso as empreiteiras se comprometam com a adoção de práticas dessa natureza, deve-se definir as responsabilidades de cada parte envolvida na fase de contratação, por meio de instrumentos contratuais.

➤ Recomenda-se que futuros operadores de empreendimentos industriais aproveitem condicionantes de licença que exigem uma certa integração da gestão de resíduos nas obras industriais como, por exemplo, a apresentação de relatórios consolidados sobre a geração de resíduos nas obras, para estimular as empreiteiras a

atuarem de forma cooperativa, adotando práticas que levem ao compartilhamento de informações e recursos. Novamente, caso as empreiteiras se comprometam com esse tipo de estratégia de atuação, faz-se necessário definir as responsabilidades dos envolvidos na fase de contratação.

➤ Sugere-se aos órgãos governamentais criar ou incentivar programas que busquem o desenvolvimento de relações de simbiose industrial, tanto para a fase de operação dos empreendimentos quanto para a sua fase de construção, tomando como base princípios estabelecidos por legislações vigentes como, por exemplo, a PNRS que tem dentre seus princípios a ecoeficiência, a redução do consumo de recursos naturais e a cooperação entre diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade.

➤ Sugere-se aos órgãos governamentais incluir, nos planos municipais e estaduais de gestão de resíduos da construção, orientações às obras de grande porte quanto às práticas inter-organizacionais que podem ser adotadas nos canteiros de obras, tais como compartilhamento de infra-estrutura, instalação de centrais de reciclagem internas ao canteiro, práticas de aproveitamento dos resíduos gerados por uma empreiteira nas atividades desenvolvidas por outras empreiteiras, dentre outros. Recomenda-se também inserir, em tais planos, as principais alternativas de destinação final de resíduos da construção existentes no município, incluindo oportunidades de intercâmbio de resíduos com outras empresas instaladas no mesmo.

➤ Sugere-se aos órgãos governamentais que analisem as grandes obras realizadas simultaneamente em um município de maneira integrada, considerando as sinergias existentes entre as mesmas e propondo às empreiteiras envolvidas estratégias de gestão que busquem aproveitar, ao máximo, os resíduos gerados em cada canteiro, tanto por meio de reaproveitamento na própria obra, quanto por meio de aproveitamento dos resíduos gerados em uma obra nas atividades de outra obra. O compartilhamento de infraestruturas, como britadores de resíduos da construção civil, também pode ser considerado como uma alternativa para viabilizar a sua reciclagem.

A partir das discussões realizadas com os especialistas ambientais envolvidos na gestão de resíduos da fase de construção dos empreendimentos analisados no estudo de caso, constatou-se que a aplicação de práticas da EI à construção e montagem ainda não se encontra disseminada no setor da construção, devendo tomar-se medidas para que essa

passa de um estágio inicial para as fases de crescimento e desenvolvimento. Para que isso se concretize, foram apresentadas diversas recomendações.

As recomendações aqui apresentadas para superar as fraquezas visam, principalmente, viabilizar a aplicação de práticas da EI na construção e montagem de empreendimentos industriais, ao assegurar que alguns aspectos que dificultam sua aplicação sejam superados. As recomendações para evitar as ameaças tem por objetivo assegurar a continuidade da aplicação de tais práticas em diferentes projetos, isto é, a sua manutenção, por meio de divulgação e incorporação em sistemáticas de gestão de projetos. As recomendações focadas na potencialização de forças podem contribuir para o crescimento da aplicação de práticas da EI na gestão de resíduos de construção e montagem. Já as recomendações focadas no aproveitamento de oportunidades podem levar a um maior desenvolvimento do processo de gestão de resíduos de construção com base em práticas derivadas da EI, a partir de leis, planos e programas que estimulem o seu desenvolvimento.

A Tabela 19 resume as recomendações apresentadas e relaciona-as às etapas da fase de construção e montagem industrial. As recomendações que não foram relacionadas a nenhuma etapa possuem caráter mais abrangente, estando relacionadas à aplicação de práticas da EI ao processo de gestão de resíduos na construção e montagem industrial de forma geral.

Considerando as recomendações apresentadas, propõe-se um aprimoramento da proposta de aplicação de práticas de gestão de resíduos derivadas da EI nos canteiros de obras de empreendimentos industriais apresentada, anteriormente, no item 4.2.2. Considera-se necessário incluir, na fase de planejamento das atividades de construção e montagem, a avaliação da viabilidade de aplicação de práticas de gestão de resíduos derivadas da EI durante a execução da obra, seguida pela seleção/definição das práticas que serão aplicadas.

Adicionalmente, o engajamento das empreiteiras, na fase de contratação, deve considerar as práticas derivadas da EI que serão aplicadas durante a construção, mediante a inclusão, nos contratos, de informações sobre a estratégia de gestão de resíduos que será adotada, sobre as práticas que serão aplicadas e sobre as responsabilidades das empreiteiras no processo de gestão de resíduos.

Tabela 19. Recomendações apresentadas com base na análise SWOT.

Recomendações	Fase da construção e montagem
1. Investigar e divulgar casos de aplicação de práticas de gestão de resíduos, similares àquelas observadas em PIEs, no contexto de canteiros de obras.	-
2. Sistematizar a avaliação da aplicabilidade de práticas de gestão de resíduos, similares àquelas observadas em PIEs, em canteiros de obras de empreendimentos industriais.	-
<p>3. Realizar avaliação da viabilidade técnica e econômica da aplicação de práticas de gestão de resíduos da EI nos canteiros de obras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - elaborar matriz com as oportunidades de intercâmbio de resíduos entre empreiteiras e destas com empresas externas ao canteiro; - avaliar a infraestrutura necessária para promover aproveitamento interno de resíduos; - avaliar possibilidade de utilizar uma única área de armazenamento de resíduos para todas as empreiteiras, bem como de compartilhar outros equipamentos; - avaliar potencial para centralizar os serviços de gestão de resíduos. 	Planejamento
4. Quando se opta pela adoção de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs, nos canteiros de obras, formar equipe mista para coordenar o processo de gestão de resíduos.	Mobilização
5. Quando se opta pela centralização da prestação de serviços de gestão de resíduos, selecionar criteriosamente empresa provedora de tais serviços.	Mobilização
6. Quando se opta pela adoção de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs, nos canteiros de obras, definir tarefas e responsabilidades de todos os atores envolvidos.	Contratação
7. Em estratégias de gestão de resíduos em que se pretende adotar práticas inter-organizacionais, priorizar a contratação de empreiteiras que possuam sistema de gestão ambiental implantado.	Contratação
8. Adotar sistema de informações único para registro e acompanhamento dos dados referentes à geração e à destinação dos resíduos.	Obra
9. Aproveitar legislações que estimulam a adoção de práticas inter-organizacionais para propor às empreiteiras a implementação das mesmas.	Contratação
10. Aproveitar condicionantes de licença que exigem integração da gestão de resíduos nas obras industriais nas obras para estimular as empreiteiras a atuarem de forma cooperativa.	Contratação
11. Sugere-se aos órgãos governamentais criar ou incentivar programas que buscam o desenvolvimento de relações de simbiose industrial.	-
12. Sugere-se aos órgãos governamentais incluir, nos planos municipais e estaduais de gestão de resíduos da construção, orientações às obras de grande porte quanto às práticas inter-organizacionais que podem ser adotadas.	-
13. Sugere-se aos órgãos governamentais que analisem as grandes obras realizadas simultaneamente em um município de maneira integrada, considerando as sinergias existentes entre as mesmas.	-

Fonte: Elaboração própria.

A formação de uma equipe para coordenar o processo de gestão de resíduos no canteiro também se mostrou necessária, quando pretende-se adotar práticas como a centralização da prestação dos serviços de gestão de resíduos, sendo incluída na fase de mobilização. Cabe, ainda, mencionar que, conforme observado no presente estudo de caso, na etapa de instalação do canteiro de obras, a construção de infraestrutura para a gestão de resíduos, em especial, área de armazenamento temporário, poderá não ser necessária, caso o futuro operador do empreendimento disponibilize parte de sua área de armazenamento de resíduos para as empreiteiras.

Com relação ao sistema de gestão ambiental, apesar de não ter se observado a implantação de um sistema integrado no canteiro de obras em nenhum dos projetos analisados, constatou-se que todos os envolvidos possuíam sistema de gestão ambiental implantado, razão pela qual, manteve-se, na proposta, a implantação de sistema de gestão ambiental, ainda que individualmente em cada empreiteira. Procurou-se incorporar essas observações na proposta apresentada, conforme Figura 12.

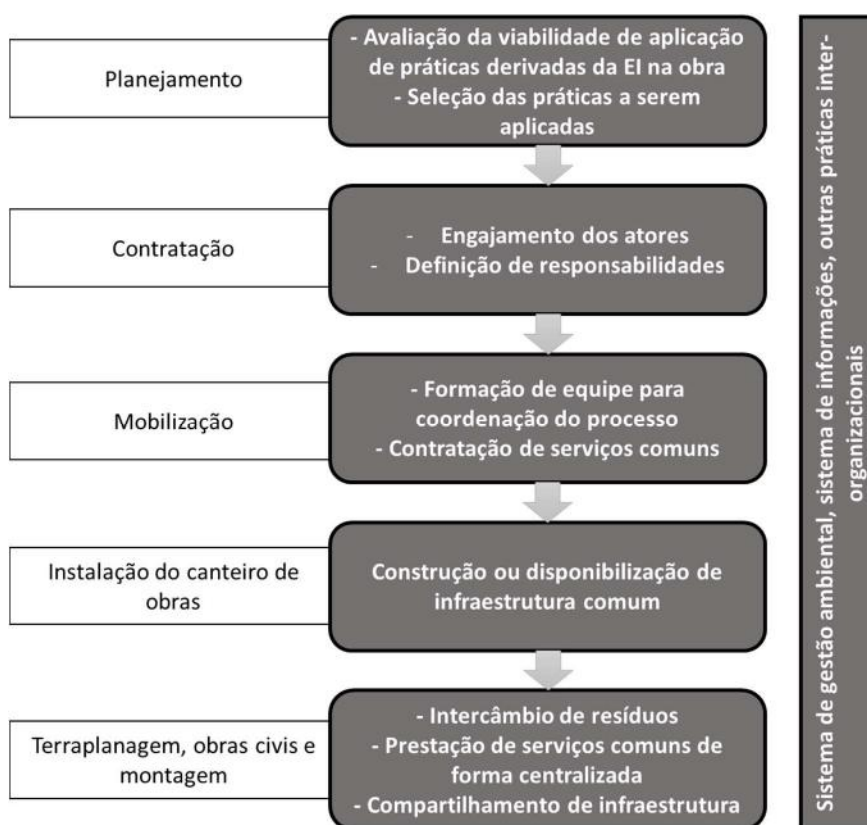


Figura 12. Aplicação das práticas de gestão de resíduos derivadas da EI nos canteiros de obras de empreendimentos industriais.

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, os resultados obtidos neste trabalho indicam que a aplicação de práticas de gestão de resíduos, similares àquelas comumente observadas em PIEs, nos canteiros de obras industriais, apresenta grande flexibilidade, podendo-se aplicar uma única prática ou diversas práticas simultaneamente. Assim, a partir dos projetos analisados, identificam-se três níveis de aplicação de práticas dessa natureza em canteiros de obras industriais, conforme ilustrado na Figura 13.

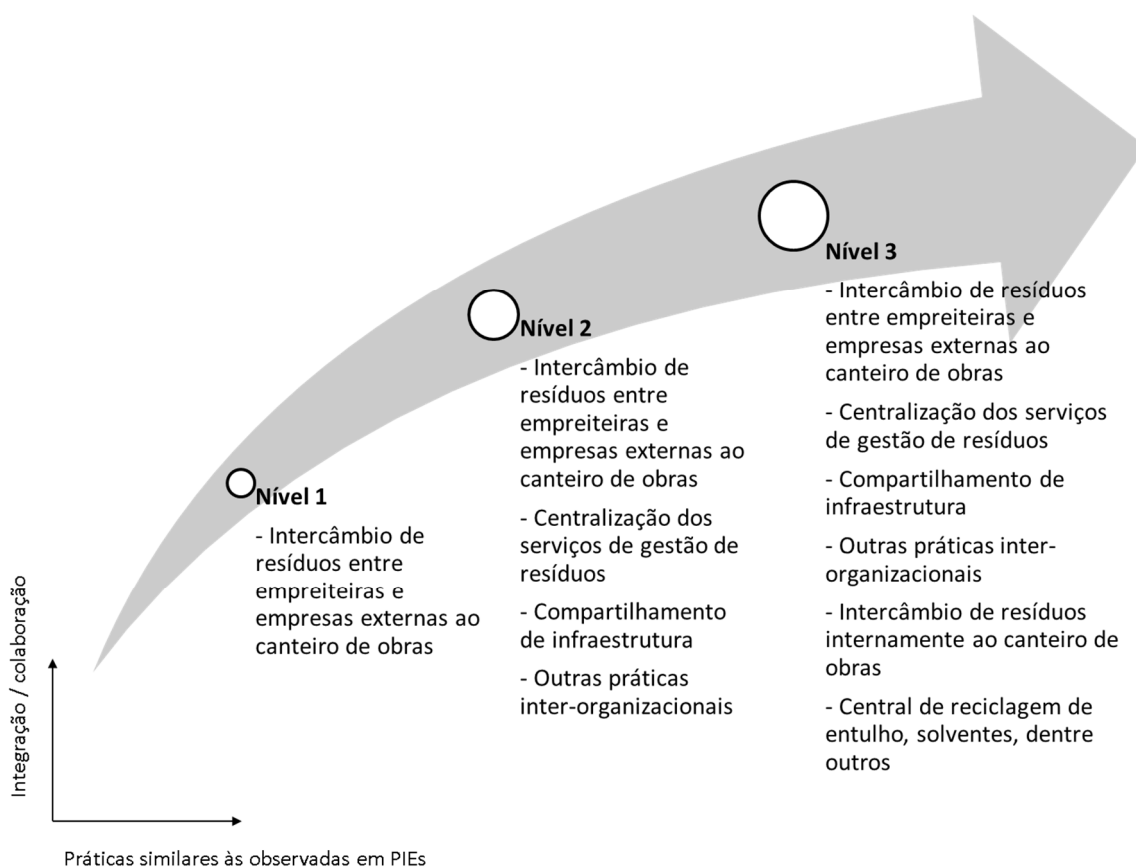


Figura 13. Práticas de gestão de resíduos características dos PIEs em canteiros de obras de empreendimentos industriais: níveis de aplicação.

Fonte: Elaboração própria.

O primeiro nível é marcado pela adoção de práticas de intercâmbio de resíduos entre empreiteiras e empresas externas a obra. Trata-se, portanto, de nível em que o reaproveitamento de resíduos por meio de SI é considerado como uma das alternativas existentes para destinação final dos resíduos gerados na obra. Essa prática não exige integração ou colaboração entre as empreiteiras envolvidas, similar ao observado no Projeto A.

O segundo nível é marcado pela adoção de diversas práticas inter-organizacionais de gestão de resíduos, exigindo maior integração entre os atores envolvidos no projeto, de forma similar ao observado no Projeto B. Por fim, o terceiro nível é marcado por forte interação e colaboração entre as empreiteiras envolvidas, sendo o nível em que as ações de cada parte envolvida tem maior impacto sobre as atividades das demais partes e no qual há uma maior quantidade de práticas similares às observadas em PIEs, incluindo o intercâmbio de resíduos entre as empreiteiras.

Sob uma perspectiva incremental, o primeiro nível pode ser considerado como um caso mais simples de aplicação de práticas e conceitos derivados da EI. O segundo nível aproxima-se mais do modelo de gestão de resíduos característico dos PIEs, apesar de ainda não apresentar práticas de intercâmbio de resíduos entre as empreiteiras, enquanto o terceiro nível envolve maior complexidade e apresenta maior potencial para alcançar o objetivo final da EI que consiste em reduzir o consumo de recursos naturais por meio de sua ciclagem nos ecossistemas industriais, especialmente, entre atores co-localizados.

A implantação do terceiro nível pode seguir a proposta apresentada na Figura 12. Para a implantação dos outros dois níveis, basta excluir, da proposta apresentada, aquelas práticas não contempladas nos mesmos, sendo que a avaliação de viabilidade, a seleção das práticas e o engajamento dos atores devem ser mantidos para qualquer um dos três níveis. Conclui-se, assim, que a proposta de aplicação de práticas de gestão de resíduos, similares às observadas em PIEs, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais, apresentada anteriormente, não representa um padrão rígido, devendo ser tratada com a devida flexibilidade para se adaptar ao contexto em que cada projeto está inserido. A seleção das práticas de gestão de resíduos, similares àquelas observadas em PIEs, que serão aplicadas durante a construção e montagem de um empreendimento envolve diversos aspectos como a identificação de oportunidades de intercâmbio de resíduos, a disponibilidade de recursos humanos para coordenar a aplicação de tais práticas, o interesse dos atores envolvidos em adotar práticas que dependem de colaboração entre os mesmos, a existência de empresas prestadoras de serviços de gestão de resíduos bem qualificadas na região, dentre outros aspectos que foram discutidos ao longo do presente capítulo.

7. Conclusões e recomendações

O presente trabalho propôs a aplicação de práticas da EI em canteiros de obras de empreendimentos industriais, com base na análise de metodologias de implantação de PIEs clássicos frente às especificidades de tais canteiros.

A análise dos PIEs clássicos revelou um conjunto de práticas que diferenciam a gestão de resíduos sólidos nessas áreas daquela observada em distritos industriais. O cruzamento de tais práticas com as etapas da construção e montagem industrial permitiu identificar aquelas práticas que podem ser adaptadas às características da construção e montagem, resultando na proposta metodológica para aplicação da EI aos canteiros de obras industriais mencionada.

A partir da realização de estudo de caso envolvendo a construção de dois empreendimentos industriais, evidenciou-se que é possível aplicar práticas da EI à construção e montagem industrial, validando a proposta apresentada. Constatou-se que a gestão de resíduos durante a construção e montagem de empreendimentos industriais pode se beneficiar das seguintes práticas comumente observadas em PIEs: (i) recuperação de resíduos por meio de SI (intercâmbio de resíduo); (ii) centralização da prestação dos serviços de gestão de resíduos sólidos; (iii) compartilhamento da infraestrutura e dos equipamentos de gestão de resíduos no canteiro de obras; (iv) adoção de práticas inter-organizacionais de gestão; (v) uso de sistema de informações integrado. Dentre os principais benefícios decorrentes da aplicação de tais práticas, pode-se citar: uniformidade no serviço de gestão de serviços prestado a todas as empreiteiras envolvidas no projeto, melhorias no *layout* do canteiro de obras com relação ao espaço disponibilizado para a infraestrutura de gestão de resíduos, simplificações administrativas decorrentes das práticas de gestão inter-organizacionais no canteiro e aumento das taxas de resíduos desviados de aterros por meio do reaproveitamento dos mesmos a partir da SI.

Com relação à SI, os resultados obtidos no estudo de caso demonstraram que, durante a construção de ambos empreendimentos, mais de 40% do total de resíduos gerados foram desviados de aterros, tendo se verificado que 9% (Projeto B) e 30% (Projeto A) dos resíduos gerados foram reaproveitados por meio da SI (intercâmbio de resíduos). Embora oportunidades para o estabelecimento de intercâmbio de resíduos entre as empreiteiras

envolvidas na construção dos empreendimentos não sejam numerosas, verificou-se que é possível buscar oportunidades de intercâmbio com empresas externas ao canteiro de obras. Constatou-se, assim, que a SI traz novas alternativas para a destinação de resíduos de construção e montagem. Em ambos projetos, a recuperação de resíduos por SI contribuiu para evitar a disposição de resíduos em aterros.

O emprego da análise SWOT para avaliar a aplicação de práticas da EI à construção e montagem industrial demonstrou que é preciso que os futuros operadores de empreendimentos industriais, empreiteiras e órgãos governamentais tenham uma visão abrangente das obras, buscando identificar oportunidades de aproveitamento de sinergias entre os atores envolvidos desde a fase de planejamento das atividades de construção e montagem. Os canteiros de obras configuram-se como áreas de interação entre diversos atores que estabelecem relações entre si e com as indústrias e demais empresas da região, revelando uma oportunidade para aplicação de práticas inter-organizacionais propiciada pela proximidade geográfica entre tais atores.

Entretanto, a adoção de práticas da EI em canteiros de obras depende de diversos aspectos como o comprometimento dos atores envolvidos com uma estratégia de gestão de resíduos baseada na adoção de práticas marcadas por maior cooperação e integração, a disponibilidade de recursos humanos para compor uma equipe para promover a coordenação do processo, a clara definição de tarefas e responsabilidades de cada ator envolvido, assim como a seleção criteriosa da empresa prestadora dos serviços centralizados de gestão de resíduos. Esses aspectos precisam ser avaliados na fase de planejamento das atividades de construção de cada empreendimento industrial para que sejam adotadas apenas práticas que se mostrem viáveis no contexto em que se insere cada empreendimento.

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas nesse trabalho, sugere-se sistematizar a avaliação da viabilidade de aplicação de práticas da EI na fase de planejamento das atividades de construção e montagem, por meio de sua inserção em sistemáticas consagradas de gestão de projetos, uma vez que essa pode ser considerada crítica para a manutenção da aplicação de tais práticas nesse contexto. Tal sistematização consiste no primeiro passo para que a aplicação de práticas da EI no setor da construção seja considerada como uma das estratégias possíveis de serem adotadas em obras.

Já o aproveitamento de legislações e condicionantes de licença pelos futuros operadores de empreendimentos industriais para estimular a adoção de práticas da EI

pelas empreiteiras, assim como a formulação de leis e programas pelos órgãos governamentais para estimular a aplicação da EI na construção e montagem, são essenciais para o crescimento e desenvolvimento dessas práticas no setor da construção.

A partir da literatura analisada acerca da gestão de resíduos da construção, conclui-se que práticas para reduzir a geração de resíduos e aumentar seu potencial de reaproveitamento tem sido desenvolvidas e aplicadas nas obras desse setor, observando-se uma tendência que busca incorporar tais práticas desde a fase de projeto até a fase de construção, propriamente dita, de um empreendimento. Entretanto, apesar da importância dada ao comprometimento de projetistas e de empreiteiras com a redução da geração de resíduos e com a sua destinação para diferentes alternativas de reaproveitamento, não tem se investigado, tão pouco estimulado, a adoção de práticas baseadas no aproveitamento de sinergias decorrentes da proximidade geográfica entre as empreiteiras envolvidas na obra e destas com outras empresas da região em que a obra ocorre, revelando a necessidade de atuação de futuros operadores, órgãos governamentais e demais envolvidos nesse sentido.

A presente tese traz inovação ao campo de pesquisa da EI ao estender sua aplicação da fase operacional dos empreendimentos à fase de instalação/construção dos mesmos. O trabalho também inova ao propor a aplicação de práticas da EI à gestão de resíduos da construção, trazendo novas estratégias para a gestão de resíduos nessa fase.

A metodologia de aplicação da EI à construção e montagem proposta apresenta diretrizes para aplicação da EI em futuras obras. Cabe mencionar que tal metodologia não se restringe apenas à construção e montagem de empreendimentos do setor de óleo e gás. Embora o estudo de caso utilizado para a presente investigação tenha abrangido a construção e montagem de dois empreendimentos do setor de óleo e gás, a aplicação da proposta apresentada à fase de construção e montagem de empreendimentos de outros setores industriais é promissora, uma vez que a gestão de resíduos de construção e montagem apresenta aspectos bastante similares, independentemente do setor industrial ao qual pertence o empreendimento em construção.

Além disso, a proposta apresentada não pode ser considerada como um padrão rígido a ser seguido, pois, assim como nos PIEs, nos canteiros de obras industriais, identificou-se que há variações quanto às práticas aplicadas, observando-se diferentes níveis de aplicação. Assim, a proposta apresentada não representa um padrão rígido, devendo ser

tratada com a devida flexibilidade para se adaptar ao contexto em que cada projeto está inserido.

O presente trabalho pretende também contribuir para que órgãos governamentais passem a analisar as diversas obras realizadas simultaneamente na região sob sua jurisdição de maneira integrada, buscando identificar potenciais sinergias existentes entre as mesmas e estimular o seu aproveitamento, por exemplo, por meio da aplicação dos resíduos gerados em uma obra na execução de outras obras da região, bem como por meio do compartilhamento de infraestrutura como equipamentos ou centrais para reciclagem de determinados tipos de resíduos (centrais de reciclagem de solventes, de entulho, dentre outros). O estudo e a proposição de soluções dessa natureza pode ser estimulado pelos órgãos quando da apresentação dos planos de gestão de resíduos da fase de construção de tais empreendimentos.

Para a realização deste trabalho, não foram fornecidos dados referentes aos custos associados à gestão de resíduos sólidos durante a construção e montagem dos dois projetos de empreendimentos industriais em análise. Com isso, não foi possível efetuar uma análise comparada dos custos associados a cada uma das estratégias de gestão de resíduos adotadas. Dessa forma, não foi possível analisar se a estratégia de gestão conjunta, marcada pela adoção de maior diversidade de práticas da EI, apresenta menores custos e, portanto, vantagens sob o ponto de vista econômico, em relação à estratégia de gestão independente de resíduos. Sugere-se, assim, que trabalhos futuros avaliem os aspectos econômicos relacionados à aplicação de práticas de gestão de resíduos, derivadas da EI, nos canteiros de obras de empreendimentos industriais.

Cabe ainda mencionar que o presente trabalho investigou a aplicação de práticas de gestão de resíduos similares àquelas observadas em PIEs em canteiros de obras de empreendimentos industriais, não tendo sido investigada a aplicação de práticas relacionados a outros processos como, por exemplo, a gestão de efluentes. Canteiros de obras de empreendimentos industriais chegam a empregar milhares de trabalhadores, de forma que há uma geração significativa de efluentes sanitários. Além destes, são gerados também efluentes associados às atividades e processos construtivos propriamente ditos. Assim, a adoção de uma estratégia conjunta de tratamento de tais efluentes, marcada pelo uso de infraestrutura comum para tratamento dos efluentes gerados no canteiro de obras, poderia ser investigada em trabalhos futuros.

8. Referências

ABDULEBDAH, A. T., MUSHARAVATI, F., 2016. “A SWOT analysis of the construction and demolition waste management practices in Qatar”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, v. 210, p. 749 – 759.

AFFONSO, F. L., 2001. *Metodologia para implantação de sistema de gestão ambiental em serviços de engenharia para empreendimentos petrolíferos: um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Autorização nº 190, de 26 de maio de 2008. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 de maio de 2008. Seção 1, pp. 52.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Autorização nº 215, de 06 de maio de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 de maio de 2009. Seção 1, pp. 75.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Autorização nº 390, de 25 de agosto de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de agosto de 2011. Seção 1, pp. 65.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Autorização nº 6, de 5 de janeiro de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 de janeiro de 2012. Seção 1, pp. 80.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Avaliação da competitividade do fornecedor nacional com relação aos principais bens e serviços*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round1/docs/compet.pdf>. Acesso em: junho de 2015.

AGOPYAN, V. *et al.*, 1998, *Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: introdução*. In: Relatório final V. 1 a 5, Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC – EPUSP, São Paulo/SP.

AGRANOFF, R., McGuire, M., 1998. “Multi-network management: collaboration and the hollow state in local economic policy”, *Journal of Public Administration Research and Theory*, v. 8, pp. 67–92.

AHI, P.; SEARCY, C., 2013. “A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management”, *Journal of Cleaner Production*, v. 53, p. 329 – 341.

AJAYI, S. O., OYEDELLE, L. O., 2017. “Policy imperatives for diverting construction waste from landfill: Experts’ recommendations for UK policy expansion”, *Journal of Cleaner Production*, v. 147, pp. 57-65.

AJAYI, S.O., OYEDELE, L.O., BILAL, M., AKINADE, O., ALAKA, H.A., OWOLABI, H.A., 2017. “Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects”, *Waste Management*, v. 59, pp. 330–339.

ALLENBY, B., FINK, J., 2005. “Toward inherently secure and resilient societies”, *Science*, v. 309, pp. 1034 – 1036.

ANDIÇ, E., YURT, O., BALTACIOLGU, T., 2012. “Green supply chains: efforts and potential applications for the Turkish market”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 58, pp. 50 – 68.

ARDENTE, F., CELLURA, M., LO BRANO, V., MISTRETTA, M., 2010. “Life cycle assessment-driven selection of Industrial Ecology strategies”, *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 6, n. 1, p. 52 – 60.

ARMIJO, C., PUMA, A., OJEDA, S., “A set of indicators for waste management programs”. *Proceedings of 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications*, Shanghai, China, 2011.

ASHTON, W., 2008. “Understanding the organization of industrial ecosystems”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 12, pp. 34–51.

ASHTON, W. S., 2009. “The structure, function and evolution of a regional industrial ecosystem”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 13, pp. 228 – 246.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – ABETRE. *Perfil do setor de tratamento de resíduos - 2013*. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/biblioteca/publicacoes/publicacoes-abetre/copy2_of_ABETREPerfildoSetordeTratamentodeResduos042013.pdf>. Acesso em 25 de maio de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 11174: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes – Procedimento. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12235: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.004: Resíduos Sólidos Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 14.062: Gestão ambiental – integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7503: Transporte terrestre de produtos perigosos - Ficha de emergência e envelope - Características, dimensões e preenchimento. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7500: Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 19.011: Diretrizes para auditoria de sistema de gestão. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 14.031: Gestão Ambiental – Avaliação de Desempenho Ambiental. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. *Pesquisa Setorial Abrecon - 2013*. Disponível em: <https://issuu.com/sanchocom/docs/pesquisa_setorial_abrecon_2013>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE CAMPOS ELÍSEOS – ASSECAMPE. Disponível em: <<https://lucaschristian.wixsite.com/assecampe>>. Acesso em: 24 de julho de 2017.

ASSOCIAÇÃO DE INDÚSTRIAS DO DISTRITO INDUSTRIAL FAZENDA BOTAFOGO. Disponível em: <<http://www.asdin.com.br>>. Acesso em: 24 de julho de 2017.

AVISO, K. B., TAN, R. R., CULABA, A. B., CRUZ, J. B., 2011. “Fuzzy input-output model for optimizing eco-industrial supply chains under water footprint constraints”, *Journal of Cleaner Production*, v. 19, pp. 187 – 196.

BAAS, L. W., BOONS, F. A., 2004. “An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems”, *Journal of Cleaner Production*, v. 12, pp. 1073–1085.

BAAS, L. W., HUISINGH, D., 2008. “The synergistic role of embeddedness and capabilities in industrial symbiosis: illustration based upon 12 years of experiences in Rotterdam Harbour and Industry Complex”, *Progress in Industrial Ecology – An International Journal*, v. 5, pp. 399 – 421.

BAI, L., QIAO, Q., YAO, Y., GUO, J., XIE, M., 2014. “Insights on the development progress of National Demonstration eco-industrial parks in China”, *Journal of Cleaner Production*, 70, pp. 4 – 14.

BAIN, A., SHENOY, M., ASHTON, W., CHERTOW, M., 2010. “Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area”, *Resources Conservation and Recycling*, v. 54, pp. 1278–1287.

BAYULKEN, B., HUISINGH, D., 2015. “Are lessons from eco-towns helping planners make more effective progress in transforming cities into sustainable systems: a literature review (part 2 of 2)”, *Journal of Cleaner Production*, v. 109, pp. 152 – 165.

BEGUN, R.A., SIWAR, C., PEREIRA, J.J., JAAFAR, A.H., 2007. “Implementation of waste management and minimization in construction industry of Malaysia”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 53, pp. 321–328.

BELLANTUONO, N., CARBONARA, N., PONTRANDOLFO, P., 2017. “The organization of eco-industrial parks and their sustainable practices”, *Journal of Cleaner Production*, v. 161, pp. 362 – 375.

BOIX, M., MONTASTRUC, L., AZZARO-PANTEL, C., DOMENECH, S., 2015. “Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review”, *Journal of Cleaner Production*, v. 87, pp. 303 – 317.

BOONS, F., SPEKKINK, W., MOUZAKITIS, Y., 2011. “The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review”, *Journal of Cleaner Production*, v. 19, pp. 905-911.

BOONS, F., SPEKKINK, W., 2012. “Levels of institutional capacity and actor expectations about industrial symbiosis”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, pp. 61 – 69.

BOONS, F., CHERTOW, M. R., PARK, J., SPEKKINK, W., SHI, H., 2016. “Industrial symbiosis dynamics and the problem of equivalence – proposal for a comparative framework”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, pp. 938 – 952.

BRAGA, B. *et al.*, 2002. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo, Prentice Hall.

BRASIL. Decreto nº 96.044, de 18 de maio, de 1988. Aprova o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d96044.htm>. Acesso em 02 de setembro de 2017.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/7404.htm>. Acesso em 12 de agosto de 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 25 de novembro de 2015.

BRASIL. Resolução ANTT nº 420, de 12 de fevereiro de 2004. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=84&data=31/05/2004>>. Acesso em: 02 de setembro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 264, de 26 de agosto de 1999. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 02 de setembro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 307, de 05 de julho 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 03 de setembro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 362, de 23 de junho de 2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 401, de 04 de novembro de 2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=589>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

CAMPOS, L. M. C.; TRIERWEILLER, A. C.; BORNIA, A. C.; CARVALHO, D. N.; SANTOS, T. H. S.; PEIXE, B. C. S., 2013. “Um levantamento exploratório sobre o tema gestão ambiental no setor da construção.” *Revista Espacios*, v. 34, pp. 7 – 20.

CAROLI, M., CAVALLO, M., VALENTINO, A., 2015, *Eco-industrial parks: a Green and place marketing approach*. Roma, Luiss University Press.

CARVALHO, P. M., 2008. *Gerenciamento de resíduos de construção civil e sustentabilidade em canteiros de obras de Aracaju*. Dissertação de mestrado, Núcleo de pós-graduação em desenvolvimento e meio ambiente, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, Brasil.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE, 2009. *Estudo do Panorama Setorial de Construção Civil*. Brasília, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

CHAVEZ, A., ARMIJO DE VEGA, C., BENITEZ, O. “Measuring progress of waste management programs”, *International Journal of Environmental Sciences and Development*, v. 2, pp. 372–376.

CHERTOW, M., 2000. “Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy”, *Annual Review of Energy and Environment*, v. 25, pp. 313-337.

CHERTOW, M. R., 2007. “Uncovering industrial symbiosis”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 11, pp. 11 – 30.

CHERTOW, M. R., ASHTON, W., ESPINOSA, J. C., 2008. “Industrial symbiosis in Puerto Rico: environmentally related agglomeration economies”, *Regional Studies Association*, v. 42, pp. 1299-1312.

CHERTOW, M., EHRENFELD, J., 2012. “Organizing self-organizing systems: towards a theory of industrial symbiosis”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, pp. 13 – 27.

CHUN, S., HWANG, H. J., BYUN, Y., 2015. “Supply Chain Process and Green Business Activities: Application to Small and Medium Enterprises”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 186, pp. 862-867.

COCHRAN, K., TOWNSEND, T., REINHART, D., HECK, H., 2007. “Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US”, *Waste management*, v. 27, pp. 921 – 931.

COMITÊ DE FOMENTO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI – COFIC. Disponível em: <<http://www.coficpolo.com.br>>. Acesso em: 26 de outubro de 2014.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION – CSIRO, 1998, *A guidebook to environmental indicators*. Australia, 1998.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Portal da Indústria. Disponível em: <<http://perfilestados.portaldaindustria.com.br>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

COSTA, M. M, 2002. *Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço*. Tese de doutorado, Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

COSTA, I., MASSARD, G., AGRAWAL, A., 2010. “Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries”, *Journal of Cleaner Production*, v. 18, pp. 815 – 822.

CÔTE, R. P., COHEN-ROSENTHAL, E., 1998. “Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences”, *Journal of Cleaner Production*, v. 6, pp. 181 – 188.

DA SILVA, O. H., UMADA, M. K., POLASTRI, P., DE ANGELIS NETO, G., DE ANGELIS, B. L. D., MIOTTO, J.L., 2015. “Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil”, *Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental*, v. 19, pp. 39 – 48.

DANTAS, N. G. S., MELO, R. S., 2008. “O método de análise SWOT como ferramenta para promover o diagnóstico turístico de um local: o caso do município de Itabaiana, Paraíba”, *Caderno Virtual de Turismo*, v. 8, pp. 118 – 130.

DESMOND, M., 2006. “Municipal solid waste management in Ireland: assessing for sustainability”, *Irish Geography*, v. 39, pp. 22–33.

DESPEISSE, M., BALL, P.D., EVANS, S., LEVERS, A., 2012. “Industrial ecology at factory level—A conceptual model”, *Journal of Cleaner Production*, v. 31, pp. 30 – 39.

DESROCHERS, P., 2001. “Eco-Industrial Parks: the case of private planning”, *The Independent Review*, v. 5, pp. 345 – 371.

HELIYAGODA, D., 2016. “SWOT analysis of urban waste management: a case study of Balangoda suburb”, *Journal of Global Ecology and Environment*, v. 5, pp. 73 – 82.

ELTAYEB, T., K., ZAILANI, S., RAMAYAH, T., 2011. “Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: Investigating the outcomes”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, pp. 495-506.

ESA, M. R., HALOG, A., RIGAMONTI, L., 2016. “Strategies for minimizing construction and demolition waste in Malaysia based on the concept of circular economy.” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 120, pp. 219 – 229.

EUROPEAN COMMISSION. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: closing the loop – an EU action plan for Circular Economy – COM(2015)614. Disponível em:

<<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/EN/1-2015-614-EN-F1-1.PDF>>
Acesso: em 08 de outubro de 2017.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2003. “Environmental Indicators: typology and use in reporting”, EEA Internal Working Paper, Copenhagen.

EUROPEAN PARLIAMENT. Waste Framework Directive – Directive 2008/98/EC. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>>. Acesso em: 08 de outubro de 2017.

EUROPEAN TOPIC CENTRE ON SUSTAINABLE CONSUMPTION AND PRODUCTION – ETC/SCP. Approaches to using waste as a resource: lessons learnt from UK experiences. Disponível em: <http://scp.eionet.europa.eu/publications/wp2013_4/wp/wp2013_5>. Acesso em: 24 de novembro de 2015.

FANG, Y.; RAYMOND, P.C.; QIN, R., 2007. “Industrial sustainability in China: Practice and prospects for eco-industrial development”, *Journal of Environmental Management*, v. 83, pp. 315 – 328.

FARIA, F. P., 2011, *Avaliação do desempenho ambiental do processo de reciclagem de poliolefinas utilizando as ferramentas produção mais limpa, análise envoltória de dados e análise SWOT*. Tese de D. Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG. Programa Mineiro de Simbiose Industrial. Disponível em: <<http://www.fiemg.org.br/Default.aspx?tabid=10954>>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – FIESP. Cadeia construtiva da construção. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/infografico-cadeia-da-construcao/#setor--5--desce>>. Acesso em: 28 de agosto de 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN, 2006, *Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimentos passo a passo*. 2ª edição, Rio de Janeiro, GMA.

FELICIO, M., AMARAL, D., ESPOSTO, K., DURANY, X. G., 2016. “Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems”, *Journal of Cleaner Production*, v. 118, pp. 56 – 64.

FRAGOMENI, A. L., 2005, *Parques Industriais Ecológicos como Instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental Cooperativa*. Dissertação de Mestrado, Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FROSCH R.A, GALLOPOULOS, N.E., 1989. “Strategies for manufacturing”, *Scientific American*, v. 261, pp. 94–102.

FUERTES, A., CASALS, M., GANGOLELLS, M., FORCADA, N., MACARULLA, M., ROCA, X., 2013. “An Environmental Impact Causal Model for improving the

environmental performance of construction process”, *Journal of Cleaner Production*, v. 52, pp. 425 – 437.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. Instrumentos de Gestão Ambiental Empresarial – curso online. 2012.

GALVÃO JUNIOR, P. R., 2013, *Estudo de ferramentas de avaliação de maturidade em projetos de capital*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

GANGOLLELS, M.; CASALS, M.; MARCARULLA, M., 2014. “Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites.” *Resources, Conservation and Recycling*, v. 93, pp. 99–111.

GAVRONSKI, I., KLASSEN, R.D., VACHON, S., do NASCIMENTO, L.F.M., 2011. “A resourcebased view of green supply management”, *Transportation Research Part E*, v. 47, pp. 872-885.

GERTLER, N., 1995, *Industrial Ecosystems: Developing Sustainable Industrial Structures*. Master Dissertation, Massachusetts Institute of Technology – MIT, Massachusetts, USA.

GHISELLINI, P., CIALANI, C., ULGIATI, S., 2016. “A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems”, *Journal of Cleaner Production*, v. 114, pp. 11 – 32.

GIBBS, D., DEUTZ, P., 2004. “Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA”, *Geoforum*, v. 36, pp. 452 – 464.

GIBBS, D., DEUTZ, P., 2005. “Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA”, *Geoforum*, v. 36, pp. 452 – 464.

GIBBS, D., DEUTZ, P., 2007. “Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development”, *Journal of Cleaner Production*, v. 15, pp. 1683 – 1695.

GOMES, C. K., 2008, *Proposta de um modelo de Sistema de gestão integrada de meio ambiente, saúde e segurança industrial para ambientes de construção e montagem de componentes modulados para plataformas off-shore de petróleo*, Dissertação de mestrado, UFF, Niterói, RJ, Brasil.

GRAEDEL, T., “Industrial ecology: definition and implementation”. In: Socolow, R., Andrews, C., Berkhout, F., Thomas, V. (eds.), *Industrial Ecology and Global Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

GRAEDEL, T., 1996, “On the concept of Industrial Ecology”, *Annual Review of Energy and the Environment*, v.21, pp.69-98.

GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R., 2010, *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*. Michigan, Prentice Hall.

GREENE, K. L., TONJES, D. J., 2014 “Quantitative assessments of municipal waste management systems: using different indicators to compare and rank programs”, *Waste Management*, v. 34, pp. 825 – 836.

GULATI R, NOHRIA N, ZAHEER A, 2000. “Strategic networks”, *Strategic Management Journal*, v. 21, pp. 203–215.

H.-M., LEE, M.C., YU, J.C.P., WANG, C.E., 2011. “Optimal replenishment policy for a deteriorating green product: life cycle costing analysis”, *International Journal of Production Economics*, v. 133, pp. 608-611.

H’MIDA, S., LAKHAL, S.Y., 2007. “A model for assessing the greenness effort in a product supply chain”, *International Journal of Global Environmental Issues*, v. 7, pp. 4-24.

HÄMÄLÄINEN, K., “Network Dynamics of an Energy Supply Chain: Applicability of the Network Approach to Analysing the Industrial Ecology Practices of Companies”. In: SARKIS, J. (eds.), *Greening the Supply Chain*, Springer, London, 2006.

HEERES, R. R., VERMEULEN, W. J. V., WALLE, F. B., 2004. “Eco-industrial park initiatives in the USA and Netherlands: first lessons”, *Journal of Cleaner Production*, v. 12, pp. 985 – 995.

HIRSCHNITZ-GARBERS, M.; TAN, A. R.; GRADMANN, A.; SREBOTNJAK, T., 2016. “Key drivers for unsustainable resource use – categories, effects and policy pointers”, *Journal of Cleaner Production*, v. 132, pp. 13 – 31.

HITT, M. A., IRELAND, D., HOSKISSON, R. E., 2015, *Administracion estratégica: competitividade y globalizacion, conceptos y casos*, 11ª ed. Santa Fe: Cengage Learning Editores S. A.

HU, D.; MOHAMED, Y., 2014. “A dynamic programming solution to automate fabrication sequencing of industrial construction components”, *Automation in Construction*, v. 40, pp. 9–20.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil – Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf>. Acesso em 24 de novembro de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais – Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. Disponível em: <http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em 24 de novembro de 2015.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL AND GAS PRODUCERS – IOGP. HSE Management Guidelines for Working Together in a Contract Environment. Disponível em: <www.iogp.org/bookstore>. Acesso em: 12 de agosto de 2017.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – ISO. ISO Survey 2012. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home/standards/certification/iso-survey.htm?certificate=ISO%209001&countrycode=AF>>. Acesso em: 13 de julho de 2014.

JABBOUR, A.B.L.S., 2015. “Understanding the genesis of green supply chain management: Lessons from leading Brazilian companies”, *Journal of Cleaner Production*, v. 87, pp. 385–390.

JENSEN, P. D., 2016. “The role of geospatial industrial diversity in the facilitation of regional industrial symbiosis”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 107, pp. 92 – 103.

JEONG, MI-HOOH. “Eco-Industrial Park - Sustainable Industrial Park for Green Growth & Climate Change response.” Proceedings of the 4th Green Industry Conference: Green Industry for Sustainable Cities, South Korea, Ulsan.

JIA, S., YAN, G., SHEN, A., ZHENG, J., 2017. “Dynamic simulation analysis of a construction and demolition waste management model under penalty and subsidy mechanism”, *Journal of Cleaner Production*, v. 147, pp. 531 – 545.

JIAO, W., BOONS, F., 2014. “Toward a research agenda for policy intervention and facilitation to enhance industrial symbiosis based on a comprehensive literature review”, *Journal of Cleaner Production*, v. 67, pp. 14 – 25.

JIN, R., LI, B., ZHOU, T., WANATOWSKI, D., PIROOZFAR, P., 2017. “An empirical study of perceptions towards construction and demolition waste recycling and reuse in China”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 126, pp. 86 – 98.

JOHN, V. M., 2000, *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. Tese de livre docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

JHONSON, G.; SCHOLES, K.; WHITTINGTON, R., 2006. *Dirección estratégica*. Madrid, Pearson Education, S.A..

KALE, P., SINGH, H., PERLMUTTER, H., 2000. “Learning and protection of proprietary assets in strategic alliances: building relational capital”, *Strategic Management Journal*, v. 21, pp. 217–237.

KALUNDBOURG SYMBIOSIS. The world first working industrial symbiosis. Disponível em: <www.symbiosis.dk/en>. Acesso em: 03 de agosto de 2017.

KANTOR, I., BETANCOURT, A., FOWLER, M., ALMANSORI, A., 2015. “Generalized mixed-integer nonlinear programming modeling of eco-industrial networks to reduce cost and emissions”, *Journal of Cleaner Production*, v. 99, pp. 160 – 176.

KIM, E. J., 2017. Greening Industrial Parks – A Case Study on South Korea’s Eco-Industrial Park Program. Disponível em: <http://www.greengrowthknowledge.org/sites/default/files/downloads/best-practices>. Acesso em 21 de julho de 2017.

KOPLIN, J., SEURING, S., MESTERHARM, M., 2015. “Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry—The case of Volkswagen AG”, *Journal of Cleaner Production*, v. 15, pp. 1053–1062.

KORHONEN, J., 2001. “Regional industrial ecology: Examples from regional economic systems of forest industry and energy supply in Finland”, *Journal of Environmental Management*, v. 63, pp. 367 – 375.

KORHONEN, J., 2005. “Theory of industrial ecology: the case of the concept of diversity”, *Progress in Industrial Ecology – An International Journal*, v. 2, pp. 35 – 72.

LAKHAL, S.Y., H’MIDA, S., ISLAM, M.R., 2007. “Green supply chain parameters for a Canadian petroleum refinery company”, *International Journal of Environmental Technology and Management*, v. 7, pp. 56 – 67.

LAMBERT, D. M., EMMELHAINZ, M. A., GARDNER, J. T., 1996. “So you think you want a partnership?”, *Marketing Management*, v. 5, pp. 25 – 41.

LAYBOURN, P., MORRISSEY, M., 2009. *National Industrial Symbiosis Programme – The Pathway to a Low Carbon Sustainable Economy*. Birmingham, International Synergies Ltda.

LEE, S.-Y., KLASSEN, R.D., 2008. “Drivers and enablers that foster environmental management capabilities in small- and medium-sized suppliers in supply chains”, *Production and Operations Management*, v. 17, pp. 573-586.

LEIGH, M., LI, X., 2015. “Industrial ecology, industrial symbiosis and supply chain environmental sustainability: a case study of a large UK distributor”, *Journal of Cleaner Production*, v. 106, pp. 632 – 643.

LI, Y., ZHANG, X., 2013. “Web-based construction waste estimation system for building construction projects”, *Automation in Construction*, v. 35, pp. 142 – 156.

LI, Y., SHI, L., 2015. “The resilience of interdependent industrial symbiosis networks: a case of Yising economic and technological development zone”, *Journal of Industrial Ecology*, v. 19, pp. 264 – 273.

LI, B., XIANG, P., HU, M., ZHANG, C., DONG, L., 2017. “The vulnerability of industrial symbiosis: a case study of Qijiang Industrial Park, China”, *Journal of Cleaner Production*, v. 157, pp. 267 – 277.

LIFSET, R., GRAEDEL, T. E., 2001. “*Industrial Ecology: goals and definitions*”. In: Ayres, R. U., Ayres, L. (eds), *Handbook for industrial ecology*, chapter 1, Northampton, USA, Edward Elgar Publishing, 2002.

LINGHARD, H.; GRAHAM, P.; SMITHERS, G., 2000. “Employee perceptions of the solid waste management system operating in a large Australian contracting organization: Implications for company policy implementation”, *Construction, Management and Economics*, v. 18, pp. 383–393.

LIU, Z., ADAMS, M., COTE, R. P., GENG, Y., LI, Y., 2016. “Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada”, *Resources, Conservation and Recycling*, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.012>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

- LIWARSKA-BIZUKOJC, E., BIZUKOJC, M., MARCINKOWSKI, A., DONIEC, A., 2009. “The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships”, *Journal of Cleaner Production*, v. 17, pp. 732 – 741.
- LLATAS, C., 2011. “A model for quantifying construction waste in projects according to the European list”, *Waste Management*, v. 31, pp. 1261–1276.
- LOWE, E. A. Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks, Indigo Development, USA, 1996. Disponível em : <<http://indigodev.com>>. Acesso em: 15 de julho de 2017.
- LOWE, E. A. Eco-Industrial Park Handbook for Asian Developing Countries, Indigo Development, USA, 2001. Disponível em: <<http://indigodev.com>>. Acesso em: 15 de julho de 2017.
- LOWE, E. A. South Korean EIP Initiative, Indigo Development, 2005. Disponível em: <<http://www.indigodev.com>>. Acesso em 15 de julho de 2017.
- LU, W., YUAN, H., 2011. “A framework for understanding waste management studies in construction”, *Waste management*, v. 31, pp. 1252 – 1260.
- LUZZINI, D.; BRANDON-JONES, E.; BRANDON-JONES, A.; Spina, G.; 2015. “From sustainability commitment to performance: The role of intra- and inter-firm collaborative capabilities in the upstream supply chain”, *International Journal of Production Economics*, v. 165, pp. 51-63.
- MAGRINI, A., MASSON, C.G.M.J., 2005. Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: relatório final. Consórcio COPPE/UFRJ/IBAM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MALIA, M., BRITO, J., PINHEIRO, M. D., BRAVO, M., 2013. “Construction and demolition waste indicators”, *Waste Management & Research*, v. 31, pp. 241 – 255.
- MANOWONG, E., 2017. “Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand”, *Waste Management & Research*, v. 30, pp. 56 – 71.
- MATOS, J. G., MATOS, R. M. B., ALMEIDA, J. R., 2007. *Análise do ambiente corporativo: do caos organizado ao planejamento*. 1 ed. Rio de Janeiro, E-papers.
- MAZUR, J., 2015. *Resíduos sólidos da construção civil e a logística reversa no canteiro de obras vinculados à saúde e segurança do trabalhador*. Monografia de especialização, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.
- MCREADIE, K., 2008, *A Arte da Guerra Sun Tzu: uma interpretação em 52 ideias brilhantes*. 1 ed. São Paulo, Globo.
- MENTZER, J. T., DEWITT, W., KREEBLER, J. S., MIN, S., SMITH, C. D., ZACHARIA, Z. G., 2001. “Defining supply chain management”, *Journal of Business Logistics*, v. 22, pp. 1 – 25.

MERROW, E. W., 2011, *Industrial megaprojects concepts, strategies and practices for success*. 1 ed. New Jersey, Wiley.

MILCHRAHM, E., HASLER, A., 2002. “Knowledge transfer in recycling networks: fostering sustainable development”, *Journal of Universal Computer Science*, v. 8, n. 5, p. 546 – 556.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2011. Disponível em: <http://mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em 18 de junho de 2017.

MIRATA, M., 2004. “Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and co-ordination challenges”, *Journal of cleaner production*, v. 12, pp. 967 – 983.

MODI, S. B., MABERT, V. A., 2007. “Supplier development: improving supplier performance through knowledge transfer”, *Journal of Operations Management*, v. 25, pp. 42 – 64.

MUELLER, W., 2013. “The effectiveness of recycling policy options: waste diversion or just diversion?”, *Waste Management*, v. 33, pp. 508–518.

MURAKAMI, F.; SULZBACH, A.; PEREIRA, G. M.; BORCHARDT, M.; SELLITO, M. A., 2015. “How the Brazilian government can use public policies to induce recycling and still save Money?”, *Journal of Cleaner Production*, v. 96, pp. 94 – 101.

NAGALLI, A., 2014. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo, Oficina de textos.

NORAN, O., ROMERO, D., “A pluralistic approach towards sustainable eco-industrial networking.” *Proceedings of the 19th World Congress - The International Federation of Automatic Control*, 4292 - 4297, Cape Town, South Africa, 24 – 29 August 2014.

NUNES, K. R. A., 2004. *Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição*. Tese de D.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OCHARÁN, J. L. S., 2017, *Avaliação da coleta e reciclagem do poliestireno expandido visando o incremento da logística reversa no Brasil*. Dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OHNISHI, S., FUJITA, T., CHEN, X., FUJII, M., 2012. “Econometric analysis of the performance of recycling projects in Japanese Eco-Towns”, *Journal of Cleaner Production*, v. 33, pp. 217 – 225.

OHNISHI, S., FUJII, M., FUJITA, T., MATSUMOTO, T., DONG, L., AKIYAMA, H., DONG, H., 2016. “Comparative analysis of recycling industry development in Japan following the Eco-town program for eco-industrial development”, *Journal of Cleaner Production*, v. 114, pp. 95 – 102.

OLIVEIRA, D. P. R., 2007. Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas. São Paulo, Atlas.

OYEDELE, L.O., REGAN, M., MEDING, J.V., AHMED, A., EBOHON, O.J., ELNOKALY, A., 2013. “Reducing waste to landfill in the UK: Identifying impediments and critical solutions”, *World Review of Science Technology and Sustainable Development*, v. 10, pp. 131–142.

PAJUNEN, N., WATKINS, G., WIERINK, M., HEISKANEN, K., 2012. “Drivers and barriers of effective industrial material use”, *Minerals Engineering*, v. 29, pp. 39–46.

PAKARINEN, S., MATTILA, T., MELANEN, M., NISSINEN, A., SOKKA, L., 2010. “Sustainability and industrial symbiosis. The evolution of a Finnish industry complex”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, pp. 1393 – 1404.

PARK, H. S., RENE, E. R., CHOI, S. M., CHIU, A. S., 2008. “Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea – from spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis”, *Journal of Environmental Management*, v. 87, pp. 1 – 13.

PATALA, S., HÄMÄLÄINEN, S., JALKALA, A., PESONEN, H., 2014. “Towards a broader perspective on the forms of eco-industrial networks”, *Journal of Cleaner Production*, v. 82, pp. 166–178.

PATRÍCIO, J., COSTA, I., NIZA, S., 2015. “Urban material cycle closing—Assessment of industrial waste management in Lisbon region”, *Journal of Cleaner Production*, v. 106, pp. 389–399.

PERO, M., MORETTO, A., BOTTANI, E., BIGLIARDI, B., 2017. “Environmental collaboration for sustainability in the construction industry: An exploratory study in Italy”, *Sustainability*, v. 9, pp. 125 – 150.

PILOUK, S., KOOTTATEP, T., 2017. “Environmental performance indicators as the key for eco-industrial parks in Thailand”, *Journal of Cleaner Production*, v. 156, pp. 614 – 623.

PIMENTA, H. C. D., BALL, P. D., 2015. “Analysis of environmental sustainability practices across upstream supply chain management”, *Procedia CIRP*, v. 26, pp. 677 – 682.

PIRES, S. I. R., 2004. *Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management) Conceitos, Estratégias, Práticas e Casos*. São Paulo, Atlas.

PÖIRY TECNOLOGIA LTDA, 2011. *Estudo de Impacto Ambiental- EIA/RIMA da expansão da unidade industrial – Fibria Celulose S.A. Unidade Três Lagoas*. Disponível em: <<http://www.fibria.com.br/shared/midia/publicacoes/rima.pdf>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2018.

QU, Y., LIU, Y., NAYAK, R. R., LI, M., 2014. “Sustainable development of eco-industrial parks in China: effects of managers environmental awareness on the relationship between practice and performance”, *Journal of Cleaner Production*, v. 87, pp.328 – 338.

RAMOS, R. R., 2013. “Gestão de resíduos sólidos urbanos: indicadores de sustentabilidade aplicados a programas de gestão e associações de catadores de materiais recicláveis”, *Geografia (Londrina)*, v. 22, pp. 27 – 45.

RAMOS, M. A., BOIX, M., AUSSEL, D., MONTASTRUC, L., DOMENECH, S., 2016. “Water integration in eco-industrial parks using a multi-leader-follower approach”, *Computers and Chemical Engineering*, v. 87, pp. 190 – 207.

RAUT, R.D., NARKHEDE, B., GARDAS, B.B., 2017. “To identify the critical success factors of sustainable supply chain management practices in the context of oil and gas industries: ISM approach”, *Renewable and Sustainable Energy Review*, v. 68, pp. 33–47.

REEFKE, H., SUNDARAM, D., 2017. “Key themes and research opportunities in sustainable supply chain management—Identification and evaluation”, *Omega*, v. 66, pp. 195–211.

REZENDE, D. A., 2008, *Planejamento estratégico para organizações: públicas e privadas*. 1 ed. Rio de Janeiro, Brasport.

ROMERO, F., 2010, *Contribuição ao estudo da concepção de projetos de capital em mega empreendimentos*. Dissertação de mestrado, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

RUIZ, R. H., 2013, *Ecologia Industrial: Avaliação do Ecopolo Industrial de Santa Cruz, no Rio de Janeiro*. Monografia apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SAIKKU, L. *Eco-industrial Parks: a background report for the eco-industrial project at Rantasalmi*, 2006. Disponível em: <<http://www.mv.helsinki.fi/home/lsaikku/publications/Julkaisu,%20englanti.pdf>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

SANCHES, L. E., 2008, *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo, Oficina de Textos.

SANJEEVI, V., SHAHABUDEEN, P., 2015. “Development of performance indicators for municipal solid waste management (PIMS): a review”, *Waste Management and Research*, v. 33, pp. 1052 – 1065.

SANTIAGO, L. S., DIAS, S. M. F., 2012. “Matriz de indicadores de sustentabilidade para gestão de resíduos sólidos urbanos”, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, pp. 203 – 212, 2012.

SARKIS, J., ZHU, Q., LAI, K.-H., 2011. “An organizational theoretic review of green supply chain management literature”, *International Journal of Production Economics*, v. 130, pp. 1-15.

SCHILLER, F., PENN, A. S., BASSON, L., 2014. “Analyzing networks in industrial ecology – a review of social-material network analysis”, *Journal of Cleaner Production*, v. 76, pp. 1 – 11.

SCHWARZ, E. J., STEININGER, K. W., 1997. “Implementing nature’s lessons: the industrial recycling network enhancing regional development”, *Journal of Cleaner Production*, v. 5, pp. 47 – 56.

SCUR, G., BARBOSA, M. E., 2017. “Green supply chain management practices: multiple case studies in the Brazilian home appliance industry”, *Journal of Cleaner Production*, v. 141, pp. 1293 – 1302.

SEGNESTAM, L., *Indicators of environment and sustainable development – theories and practical experience*, 2002. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTEEI/936217-1115801208804/20486265/IndicatorsofEnvironmentandSustainableDevelopment2003.pdf>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE, *Cadeia produtiva da construção civil: cenários econômicos e estudos setoriais*, 2008. Disponível em: <http://189.39.124.147:8030/downloads/Construcao_civil.pdf>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

SEURING, S., MUELLER, M., 2008. “From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management”, *Journal of Cleaner Production*, v. 16, pp. 699 – 710.

SHI, H., CHERTOW, M., SONG, Y., 2010. “Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China”, *Journal of Cleaner Production*, v. 18, pp. 191 – 199.

SILVA, N. S., BARBOSA, A. B., HENRIQUE, M. R., BAPTISTA, J. A., “A utilização da matriz SWOT como ferramenta estratégica – um estudo de caso em uma escola de idioma de São Paulo.” *VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, Resende, Rio de Janeiro, Brasil, 19 – 21 de outubro de 2011.

SILVA, A., ROSANO, M., STOCKER, L., GORISSEN, L., 2017. “From waste to sustainable materials management: Three case studies of the transition journey”, *Waste Management*, v. 61, pp. 547–557.

SIMBOLI, A., TADDEO, R., MORGANTE, A., 2015. “The potential of industrial ecology in agri-food clusters (AFCs): a case study based on valorisation of auxiliary materials”, *Ecological Economics*, v. 111, pp. 65 – 75.

SOARES, N. L., 2013, *Gerenciamento de resíduos na construção civil de planta petroquímica*. Monografia de especialização, USP, São Paulo, SP, Brasil.

SOBOTKA, A.; SAGAN, J., 2016. “Cost-saving environmental activities on construction site—Cost efficiency of waste management: Case study”, *Procedia Engineering*, v. 161, pp. 388–393.

SOIBELMAN, L., 1993, *As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e controle*. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

SOLÍZ-GUSMÁN, J., MARRERO, M., MONTES-DELGADO, M. V., RAMÍREZ-DE-ARELLANO, A., 2009. “A Spanish model for quantification and management of construction waste”, *Waste management*, v. 29, pp. 2542 – 2548.

SOUZA, U.E.L., 2005, *Como reduzir perdas nos canteiros: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil*. São Paulo, Pini.

SRIVASTA, P. K., KULSHRESHTA, K., MOHANTY, C. S., PUSHANGADAN, P., SINGH, A., 2005. “Stakeholder-based SWOT analysis for successful municipal solid waste management in Lucknow, India”, *Waste Management*, v. 25, pp. 531 – 537.

SRIVASTA, S.K., 2007. “Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review”, *International Journal of Management Reviews*, v. 9, pp. 53-80.

SU, B., HESHMATI, A., GENG, Y., YU, X., 2013. “A review of circular economy in China: moving from rhetoric to implementation”, *Journal of Cleaner Production*, v. 42, pp. 215 – 227.

SUN, J., ZHANG, P., 2011. “Owner organization design for mega industrial construction projects”, *International Journal of Project Management*, v. 29, pp. 828 – 833.

TADDEO, R., 2016. “Local industrial systems towards the eco-industrial parks: the model of the ecologically equipped industrial areas”, *Journal of Cleaner Production*, v. 131, pp. 189–197.

TAM, V. W. Y., TAM, C. M., 2006. “A review on the viable technology for construction waste recycling”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 47, pp. 209 – 221.

TAM, V.W.Y., 2008. “On the effectiveness in implementing a waste-management plan method in construction”, *Waste Management*, v. 28, pp. 1072–1080.

TAN, Y.; SHEN, L.; YAO, H. 2011. “Sustainable construction practice and contractors’ competitiveness: a preliminary study”, *Habitat International*, v. 35, pp. 225 – 230.

TANIMOTO, A. H., 2004, *Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo de Camaçari*. Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador, Bahia, Brasil.

TESSITORE, S., DADDI, T., IRALDO, F., 2015. “Eco-industrial Parks Development and Integrated Management Challenges: findings from Italy”, *Sustainability*, v. 7, pp 10036 – 10051.

TIAN, J., LIU, W., LAI, B., LI, X., CHEN, L., 2014. “Study of the performance of eco-industrial park development in China”, *Journal of Cleaner Production*, v. 64, pp. 486 – 494.

TIAN, J., SHI, H., CHEN, Y., CHEN, L., 2012. “Assessment of industrial metabolisms of sulfur in a Chinese fine chemical industrial park”, *Journal of Cleaner Production*, v. 32, pp. 262 – 272.

TIU, B. T. C., CRUZ, D. E., 2017. “An MILP model for optimizing water exchanges in eco-industrial parks considering water quality”, *Resources, conservation and recycling*, v. 119, pp. 89 – 96.

TRAMA, C. P., 2014, *Um estudo sobre Ecologia Industrial e avaliação da possibilidade de adaptação e transformação de Distritos Industriais em Parques Ecológicos Industriais: o caso do Município de Vespasiano, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG*. Monografia de graduação, UFOP, Ouro Preto, Belo Horizonte, Brasil.

TRAMA, C. P., 2016, *Proposta de transformação de um distrito industrial em parque industrial ecológico: um estudo de caso em Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

TSENG, M., BUI, T., 2017. “Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: a novel hierarchical approach”, *Journal of Cleaner Production*, v. 140, pp. 1376 – 1389.

TUDOR, T., ADAM, E., BATES, M., 2007. “Drivers and Limitations for Successful Development and Functioning of EIPs: a literature review”, *Ecological Economics*, v. 61, pp. 199 – 207.

TURK, A. M., 2009. “The benefits associated with ISO 14001 certification for construction firms: Turkish case”, *Journal of Cleaner Production*, v. 17, pp. 559-569.

UDAWATTA, N., ZUO, J., ZILLANTE, G., 2015. “Improving waste management in construction projects: An Australian study”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 101, pp. 73–83.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION – UNIDO, *Eco-industrial Parks*. Disponível em: <www.unido.org>. Acesso em: 15 de julho de 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US-EPA, *Eco-Industrial Parks: A Case Study and Analysis of Economic, Environmental, Technical and Regulatory Issues, Final Report*, 1996. Disponível em: <<https://www.rti.org/sites/default/files/resources/case-study.pdf>>. Acesso em: 09 de novembro de 2017.

VACHON, S., KLASSEN, R.D., 2008. “Environmental management and manufacturing performance: the role of collaboration in the supply chain”, *International Journal of Production Economics*, v. 111, pp. 299-315.

VALENTINE, S. V., 2016. “Kalundborg Symbiosis: fostering progressive innovation in environmental networks”, *Journal of Cleaner Production*, v. 118, pp. 65 – 77.

VALENZUELA-VENEGAS, G., SALGADO, J. C., DÍAZ-ALVARADO, F. A., 2016. “Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection”, *Journal of Cleaner Production*, v. 133, pp. 99 – 116.

VAN BERKEL, R., FUJITA, T., HASHIMOTO, S., GENG, Y., 2009. “Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-town program 1997 – 2006”, *Journal of Environmental Management*, v. 90, pp. 1544 – 1556.

VEIGA, L. B. E., 2007, *Diretrizes para a Implantação de um Parque Industrial Ecológico: uma proposta para o PIE de Paracambi*. Tese de D. Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

VEIGA, L.B.E., MAGRINI, A., 2009. “Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: A tool for sustainable development”, *Journal of Cleaner Production*, v. 17, pp. 653–661.

VEIGA, L.B.E., MAGRINI, A., 2010. “Eco industrial parks in Rio de Janeiro State, Brazil: a proposal for revitalization”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, v. 141, pp. 195 – 205.

WANG, J., YUAN, H., KANG, X., LU, W., 2010. “Critical success factors for on-site sorting of construction waste: a China study”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, pp. 931 – 936.

WASTE AND RESOURCE ACTION PROGRAMME – WRAP. Industrial Symbiosis. Disponível em: <<http://www.wrap.org.uk/content/industrial-symbiosis-uk>>. Acesso em: 18 de julho de 2017.

YEHEYIS, M., HEWAGE, K., ALAM, M. S., ESKICIOGLU, C., 2013. “An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability”, *Clean technologies and environmental policy*, v. 15, pp. 81 – 91.

YIN, R. K., 2001, *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2 ed. São Paulo, Bookman.

YUAN, H., 2013. “A SWOT analysis of successful construction waste management”, *Journal of Cleaner Production*, v. 39, pp. 1 – 8.

YUAN, H., 2017. “Barriers and countermeasures for managing construction and demolition waste: A case of Shenzhen in China”, *Journal of Cleaner Production*, v. 157, pp. 84–93.

ZAMAN, A. U., 2014. “Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems”, *Ecological Indicators*, v. 36, pp. 682 – 693.

ZENG, Y., XIAO, R., LI, X., 2013. “Vulnerability analysis of symbiosis networks of industrial ecology parks”, *Procedia Computer Science*, v. 17, pp. 965 – 972.

ZHANG, C., ZHUO, L., PAN, M., ROMAGNOLI, A., KRAFT, M., 2017a. “Towards intelligent energy management of eco-industrial park ontology-based approach”, *Energy Procedia*, v. 105, pp. 3295 – 3300.

ZHANG, C., ROMAGNOLI, A., ZHOU, L., KRAFT, M., 2017b. “Knowledge management of eco-industrial park for efficient energy utilization through ontology-based approach”, *Applied Energy*, v. 204, pp. 1412 – 1421.

ZHANG, L., YUAN, Z., BI, J., ZHANG, B., LIU, B., 2010. “Eco-industrial parks: national pilot practices in China”, *Journal of Cleaner Production*, v. 18, pp. 504 – 509.

ZHAO, W., LEEFTINK, R. B., ROTTER, S., 2008. “Construction and demolition waste management in China: analysis of economic instruments for solving a growing problem”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, v. 109, pp. 471 – 480.

ZHAO, W., LEEFTINK, R. B., ROTTER, S., 2010. "Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China – The case of Chongqing", *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, pp. 377 – 389.

ZHAO, Z.; ZHAO, X.; DAVIDSON, K.; ZUO, J. 2012. "A corporate social responsibility indicator system for construction enterprises", *Journal of Cleaner Production*, v. 29, pp. 277 – 289.

ZHU, Q., COTE, R.P., 2004. "Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group", *Journal of Cleaner Production*, v. 12, pp. 1025 – 1035.

ZHU, L., ZHOU, J., CUI, Z., LIU, L., 2010. "A method for controlling enterprises access to an eco-industrial park" *Science of the Total Environment*, v. 408, pp. 4817 – 4825.

ZUTSHI, A; CREED, A., 2014. "An international review of environmental initiatives in the construction sector", *Journal of Cleaner Production*, v. 98, pp. 92 – 106.