



MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DO POLIACRILATO DE SÓDIO

Guilherme Almeida Féres

João Carlos Carneiro Corrêa

Projeto Final de Curso

Orientadores:

Prof. Felipe Sombra dos Santos, D.Sc.

Prof. Tatiana Felix Ferreira, D.Sc.

Outubro de 2021

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DO POLIACRILATO DE SÓDIO

Guilherme Almeida Féres

João Carlos Carneiro Corrêa

Monografia submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Magali Christe Cammarota, D.Sc.

Estevão Freire, D.Sc.

Orientado por:

Felipe Sombra dos Santos, D.Sc.

Tatiana Felix Ferreira, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Outubro de 2021

Féres, Guilherme Almeida. Corrêa, João Carlos Carneiro.

Mapeamento Tecnológico do Poliacrilato de Sódio / Guilherme Almeida Féres / João Carlos Carneiro Corrêa. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

xi, 71 p.; il.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientadores: Felipe Sombra dos Santos e Tatiana Felix Ferreira.

1. Poliacrilato de Sódio. 2. Polímero Superabsorvente. 3. Prospecção Tecnológica. 4.

Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Felipe Sombra dos Santos e Tatiana Felix Ferreira.

I. Mapeamento Tecnológico do Poliacrilato de Sódio.

Aos nossos pais, por todo carinho, dedicação e paciência.

*Tem dia
Que é dia
...
Mas tem dia
Que é noite.*

Autor desconhecido

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Escola de Química – UFRJ por todo o conhecimento a nós passado, possibilitando a realização deste trabalho de conclusão de curso,

Ao Professor Felipe Sombra, por ter nos orientado e contribuído com seu conhecimento na Gestão de Resíduos,

À Professora Tatiana Felix, por ter nos orientado, nos guiando na parte de Prospecção Tecnológica, e por ter aberto as portas ao tema,

E ao nosso amigo Matheus Oliva, que foi um grande companheiro durante a graduação.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DO POLIACRILATO DE SÓDIO

Guilherme Almeida Féres
João Carlos Carneiro Corrêa

Outubro, 2021.

Orientadores: Prof. Felipe Sombra dos Santos, D.Sc.
Prof. Tatiana Felix Ferreira, D.Sc.

O poliacrilato de sódio, também conhecido como polímero superabsorvente (SAP), é obtido a partir da polimerização de ácido acrílico e pós-tratamento com soda cáustica. Pela sua característica de alta absorção de água, com expansão de até 1000 vezes o seu volume, é usado para diversas aplicações, como por exemplo: agricultura, construção civil, mineração, tratamento de água e higiene pessoal. A maior aplicação é na parte de produtos de higiene absorventes (PHA), englobada por fraldas descartáveis de uso adulto e infantil e absorventes íntimos. Considerando apenas esse seguimento de mercado, o volume de venda de produtos teve uma ascensão de 532 bilhões de unidades no ano de 2017 para 691 bilhões em 2020, um aumento de 30%, impulsionado significativamente em 2020 pela pandemia COVID-19. Conforme o problema relacionado à geração de resíduos pós-consumo de PHA se torna maior, a indústria de PHA está enfrentando restrições e legislações como a Diretiva de Plásticos de Uso Único na UE, e legislação semelhante está pendente de aprovação nos EUA, enquanto no Canadá está sendo elaborada. Sendo assim, é notória a problemática do descarte deste volume, que vai majoritariamente para aterros sanitários. Nesse sentido, realizou-se uma prospecção tecnológica buscando tecnologias para a circularidade da cadeia de SAP, utilizando-se artigos científicos e patentes. Após este mapeamento, observou-se uma das tendências principais de estudo do poliacrilato de sódio, que são os documentos que abordam tratamentos químicos e físicos como soluções para circularidade do SAP, chegando a abranger 73,7 % e 61,5% dos artigos publicados e patentes concedidas, respectivamente. Além disso, pôde-se observar também China e EUA como líderes em publicações de artigos com 40,8% e 14,6% das participações, respectivamente e EUA e Japão como maiores depositantes de patentes com 55,9% e 20,6% do total de patentes mapeadas. Por fim, foi analisado e evidenciado os períodos de maior publicação, universidades e empresas que mais participam, e como as questões econômicas e sociais do mundo podem impactar nesta distribuição.

Palavras-chave: Poliacrilato de sódio; Polímero superabsorvente; política dos 3R's; Prospecção tecnológica.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVO	3
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 O Poliacrilato de Sódio	4
3.1.1 Síntese do Poliacrilato de Sódio	5
3.1.1.1 Polimerização em Solução Aquosa	5
3.1.1.2 Polimerização em solução inversa	6
3.1.2 Aplicação / Utilização	7
3.1.3 Mercado	8
3.2 Pós Uso	9
3.2.1 Aterro Sanitário	9
3.2.2 Tratamento Térmico	10
3.2.3 Tratamento Biológico	11
3.2.4. Tratamento Mecânico Biológico (TMB)	12
3.2.5 Reciclagem e reaproveitamento	13
3.3 Prospecção Tecnológica	14
3.3.1 Entrevista com Especialistas	14
3.3.2 Análise de Tendências e Análise SWOT	15
3.3.3 Métodos de Monitoramento e Inteligência - Bibliometria (análise de patentes e artigos)	16
3.3.4 Métodos Descritivos e Matriciais	18
4 - METODOLOGIA	20
4.1 Busca por artigos científicos	20
4.2 Busca por Patentes	22
4.3 Análise sistemática de artigos científicos e patentes	24

4.3.1 Análise MACRO	24
4.3.2 Análise MESO	24
4.3.3 Análise MICRO	25
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. PATENTES	26
5.1.1 Análise MACRO	26
5.1.2 Análise MESO	30
5.1.3 Análise MICRO	31
5.1.3.1 – Análise MICRO - Taxonomia “APLICAÇÃO”	32
5.1.3.2 – Análise MICRO – Taxonomia “CIRCULARIDADE”	34
5.2 Artigos científicos	35
5.2.1 Análise MACRO	36
5.2.2 Análise MESO	39
5.2.3 Análise MICRO	42
5.2.3.1 Análise MICRO – Taxonomia “APLICAÇÃO”	43
5.2.3.2 Análise MICRO – Taxonomia “CIRCULARIDADE”	44
6. OPORTUNIDADES E DESAFIOS	49
7. CONCLUSÕES	50
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fórmula estrutural do Poliacrilato de Sódio.....	4
Figura 2: Hidratação de um polímero superabsorvente.....	5
Figura 3: Fluxograma de reciclo de fraldas pela <i>Unicharm</i>	14
Figura 4: Fluxograma da metodologia <i>Delphi</i>	15
Figura 5: Fluxograma da metodologia.....	17
Figura 6: Modelo de <i>RoadMap</i> Tecnológico.....	19
Figura 7: Evolução temporal das patentes depositadas.....	28
Figura 8: Evolução temporal de patentes depositadas para APLICAÇÃO E CIRCULARIDADE.....	30
Figura 9: Evolução temporal do total de artigos científicos publicados entre os períodos de 2010 a 2021.....	37
Figura 10: Países responsáveis pela publicação dos 103 artigos científicos analisados....	38
Figura 11: Gráfico percentual da natureza de todos os 103 artigos.....	40
Figura 12: Evolução temporal do total de artigos científicos publicados entre os períodos de 2010 a 2021 para as duas taxonomias.....	41
Figura 13: Fluxograma de processo de recuperação de SAP e reinserção na cadeia.	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Combinações de palavras-chave e o número de documentos obtidos durante a fase prospectiva.....	26
Tabela 2: Combinações usadas entre compostos e processos.....	28
Tabela 3: Países e número de patentes concedidas.....	29
Tabela 4: Taxonomias MESO, subcategorias MICRO e o número de patentes concedidas em cada uma.....	31
Tabela 5: Países enquadrados como “Outros” com o total artigos publicados entre 2010 e 2021..	39
Tabela 6: Categorias MICRO e número de patentes concedidas em cada uma.....	43

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Palavras-chave utilizadas na busca de artigos científicos realizada na base de dados SCOPUS durante a fase pré-prospectiva.....	21
Quadro 2: Combinações de palavras-chave usadas na plataforma SCOPUS durante fase prospectiva.....	22
Quadro 3: Combinações de palavras-chave usadas na busca de patentes concedidas na plataforma ESPACENET.....	23
Quadro 4: Resultados da pesquisa de artigos científicos utilizando combinações das palavras-chave na base de dados SCOPUS.....	36

1- INTRODUÇÃO

Ao longo de toda sua história, a humanidade sempre esteve em contato com polímeros naturais, como borracha e algodão, e em sua própria estrutura corporal, como é o caso de proteínas, polissacarídeos, DNA e RNA. Após a revolução industrial no século XIX, começou-se a entender melhor o manuseio e produção deste tipo de material, surgindo assim os polímeros sintéticos, que são obtidos a partir de processos industriais (YOUNG & LOVELL, 2011).

Dentre estes polímeros sintéticos, estão os polímeros superabsorventes (SAPs), que são materiais hidrofílicos que podem absorver e reter grandes quantidades de água ou soluções aquosas, podendo alcançar um aumento de aproximadamente 1.000 vezes o valor do seu volume (ZOHURIANN-MEHR, 2008).

Por apresentar essas características, os SAPs são amplamente utilizados em diferentes áreas da indústria, tais como, agricultura, mineração, produtos sanitários humanos e veterinários, medicamentos e fraldas descartáveis de diferentes faixas etárias e usos, bandejas contendo alimentos à base de proteínas, absorventes íntimos femininos, esponjas cirúrgicas, tapetes descartáveis para banheiros, lixo doméstico, tapetes higiênicos para animais de estimação, bandagens e curativos para feridas (KIATKAMJORNWONG, 2007).

Dentre os polímeros superabsorventes disponíveis no mercado, destaca-se o poliacrilato de sódio, que é majoritariamente empregado na produção de fraldas descartáveis, e por este motivo, é esperado que sua recuperação passe por estratégias que estejam direcionadas aos produtos de higiene pessoal (SOMERS, 2021). Há uma preocupação voltada justamente para a recuperação (ou reciclagem) desse material de natureza polimérica (SAP), visto que a destinação deste material é feita, em sua maioria, em aterros sanitários, incineradores e lixões à céu aberto, o que pode vir ocasionar problemas ambientais, como emissão excessiva de gases do efeito estufa, poluição do ar, contaminação dos corpos hídricos, e o fato deste tipo de polímero não ser facilmente biodegradável (TRILOKESH, 2020). Além disso, o preço das matérias-primas está em constante elevação, acompanhando a crescente demanda de produtos de higiene pessoal, como absorventes íntimos, fraldas descartáveis infantis e de adultos, o que acaba impulsionando também uma busca por uma reinserção deste polímero na sua cadeia produtiva (EDANA, 2020).

Atualmente, os esforços empregando a reciclagem de fraldas e de produtos absorventes para higiene pessoal são voltados para a recuperação da fração plástica que reveste os produtos, podendo ser de polietileno ou polipropileno (SOMERS, 2021).

Entretanto, a maioria das fraldas descartáveis tem como destinação final os aterros sanitários ou a incineração. Por isso, esforços vêm sendo realizados para desenvolver novas formas de tratamento destes resíduos, como por exemplo o tratamento mecânico-biológico (TMB), compostagem, separação mecânica das partes para tratamento de cada uma delas separadamente e digestão anaeróbia (COLÓN, 2010).

Sendo assim, esse trabalho se propõe a mapear a tecnologias emergentes e promissoras empregadas para reuso, reciclagem, aplicação e tratamento final do poliacrilato de sódio através da metodologia de prospecção tecnológica.

Ao longo dos anos, a prospecção tecnológica vem sendo utilizada, no cenário nacional e internacional, como uma ferramenta analítica para prever e contornar as possíveis transformações econômicas, sociais e ambientais que possam ocorrer em médio e longo prazo (TEIXEIRA, 2013).

2 - OBJETIVO

Esse trabalho tem por objetivo realizar o mapeamento de tecnologias emergentes para retorno do poliacrilato de sódio (SAP), à cadeia produtiva, a fim de identificar oportunidades de circularidade dessa cadeia. Desse modo, tem-se como objetivos específicos:

Identificar, através de prospecção tecnológica de artigos científicos, meios de aplicação, tratamento e reciclagem do poliacrilato de sódio (SAP), utilizando a base de dados SCOPUS;

Identificar, através de prospecção tecnológica de patentes concedidas, meios de aplicação, tratamento e reciclagem do poliacrilato de sódio (SAP), utilizando a base de dados ESPACENET;

Elaborar um panorama geral dos principais processos de reinserção do poliacrilato de sódio na cadeia produtiva, assim como suas oportunidades e desafios.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Poliacrilato de Sódio

Os polímeros são definidos como macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e por suas interações de natureza intra e intermoleculares. Possuem as unidades químicas ligadas através de ligações covalentes, que são repetidas com determinada frequência, ao longo da cadeia, denominadas meros (MANO, 1999).

O poliacrilato de sódio é um polímero constituído de polieletrólitos e contém ânions carboxilato e cátions de sódio, como pode ser visto na Figura 1. A concentração de grupos iônicos dentro da rede de gel resulta em uma diferença de pressão osmótica, o que justifica sua alta capacidade de absorção de água. A solvatação dos íons pela água causa uma diminuição da energia do sistema, com um consequente aumento da entropia deste, visto que com a absorção de água as cadeias poliméricas tendem a se dispersar, promovendo um aumento do número de configurações do sistema (MINGZHU, 2000).

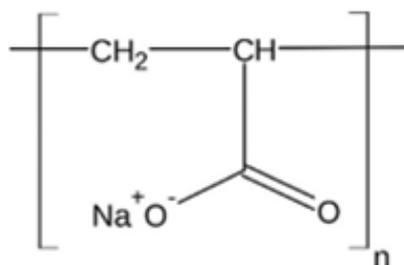


Figura 1: Fórmula estrutural do Poliacrilato de Sódio. Fonte: Mingzhu, 2000

A capacidade de absorção de água da estrutura desse polímero é extremamente elevada, como mencionado anteriormente, o que poderia promover uma dissolução da estrutura molecular, visto que as cadeias tendem a se conformar de forma mais rígida, diminuindo assim, a entropia do sistema, e consequentemente desfavorecendo a absorção de mais moléculas de água, como pode ser notado na Figura 2. Durante a fase de absorção de água pela cadeia polimérica, há uma organização estrutural das cadeias hidratadas, com um aumento de volume do material, associado à retenção das moléculas de água aderidas. Entretanto, as ligações cruzadas exercem uma força elástica contrária à expansão da cadeia da macromolécula, tendo então, um limite de absorção, quando esta força elástica se iguala à força de expansão das cadeias (ELLIOT, 2010).

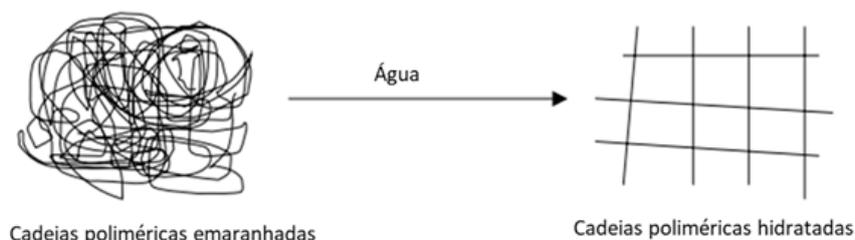


Figura 2: Hidratação de um polímero superabsorvente. Fonte: Elliot, 2010

3.1.1 Síntese do Poliacrilato de Sódio

A síntese do poliacrilato de sódio, pode ser realizada através da neutralização do grupo carboxila do ácido acrílico antes ou depois da reação de polimerização. É possível obter o ácido poliacrílico e depois o poliacrilato de sódio (neutralização após polimerização) ou sintetizar o acrilato de sódio e posteriormente o poliacrilato de sódio (neutralização antes da polimerização). A iniciação pode ser realizada através de uso de propagadores da reação, como peróxido ou sistema redox (ZOHURIANN-MEHR, 2008).

O poliacrilato de sódio pode ser sintetizado através de polimerização em massa, em solução e em solução inversa. O que as distingue é a presença ou não de solvente, e o caráter dele quando presente. Entretanto, a polimerização em massa não é muito utilizada no mercado, visto que há dificuldade de controle térmico da reação, e alcançando baixos rendimentos, o que faz com que as outras formas sejam priorizadas (XIAOFANG, 2020).

3.1.1.1 Polimerização em Solução Aquosa

A polimerização em solução aquosa tem por característica principal a adição de um solvente no meio reacional na presença de um monômero e do iniciador, para que haja um maior controle de temperatura, visto que as reações de polimerização são de caráter exotérmicas e possuem uma constante reacional elevada (CANEVAROLO JR, 2001).

Ao final da reação de polimerização, tem-se o SAP em forma de gel, já que é insolúvel no meio reacional, mas absorve a água que foi utilizada como solvente. Este gel é separado da solução aquosa, triturado e passa por um processo de secagem (SANTOS, 2015).

Para os iniciadores pode-se usar peróxido orgânico ou ácido eritórbico, possibilitando a iniciação da reação, em temperaturas mais baixas. Além desses iniciadores, é possível ainda utilizar bisulfito de sódio e sorbitol ou monoestearato de sorbitol. Pode-se ainda usar uma mistura de 2,2-dimetoxi-2-fenil acetofenona, 4,4 -bis (dietilamino) benzofenona e 2-hidroxietil acetofenona (PÓ, 1994).

Conforme esta polimerização em solução aquosa vai ocorrendo, a viscosidade do meio vai aumentando devido à absorção de água pelo próprio produto. Desta forma, o controle térmico passa a ser uma dificuldade nesta reação exotérmica. Logo, a polimerização em solução inversa passa a ser uma alternativa mais viável (HUNKELER, 1991).

3.1.1.2 Polimerização em solução inversa

A polimerização em solução inversa consiste na dispersão do monômero, em água, e em um solvente orgânico, mantendo o sistema sob agitação constante, além de adição de agentes estabilizantes, e iniciação térmica ou química. Ao final do processo, pode ser gerada uma lama, para caso o produto seja solúvel ou parcialmente solúvel no solvente escolhido, e caso o produto precipite, tal fenômeno é devido à ausência da solubilidade no solvente (MACHADO, 2017).

Neste processo de polimerização, é usado o persulfato de potássio como iniciador, o ciclohexano como solvente orgânico, o surfactante solúvel sendo um óleo (monooleato de sorbitano – SPAN 65 ou SPAN 80), e metilenobisacrilamida, como um agente de *crosslink*. A fase dispersa, constituída pelos monômeros, forma gotas na fase contínua (solvente orgânico), que após a polimerização, há a produção de grãos, que decantam (XIAOFANG, 2020). Essa polimerização é realizada sob agitação constante, e em uma faixa de temperatura compreendida entre 50 e 70°C, dependendo da faixa de conversão desejada. Após o fim da reação, o poliacrilato de sódio é obtido pela precipitação, e em seguida é seco (WANG, 1996).

A vantagem da utilização da rota de suspensão inversa sobre outros métodos é que ao término do processo se obtém um produto em pó fino, com o tamanho da partícula facilmente controlado pelas condições reacionais (ZOHURIANN-MEHR, 2002).

3.1.2 Aplicação / Utilização

O SAP foi introduzido no mercado, no final da década de 1970, como um substituto do algodão em fraldas infantis, uma vez que a necessidade de lavagem e reuso foi se tornando incompatível com o ritmo acelerado da vida moderna, principalmente após a revolução industrial, além da inserção cada vez maior da mulher no mercado de trabalho, entre outros (KRAFCHIK, 2016). Com as propriedades absorventes dos SAP, foi conveniente o uso dessa substância nestes tipos de artigos de higiene pessoal (SOMERS, 2021). Além de acompanhar a mudança de comportamento da sociedade, as fraldas descartáveis oferecem maior higiene, já que evitam vazamento de fezes e urina, impedindo contaminação das crianças (por meio das mãos) e do meio em volta (objetos) (KAMAT & MALKANI, 2003). Como a maioria do SAP utilizado está ainda no setor de higiene pessoal, os esforços passaram a ser a redução da quantidade usada nas fraldas aliada a uma maior capacidade de absorção, ou seja, uma melhora da performance (ZOHURIAAN, 2008).

Na mineração, o SAP vem sendo utilizado para tratamento de rejeitos. Nesta atividade, se produz grande quantidade de rejeito de mina, que vem em forma de lama, e normalmente são armazenados em diques. Entretanto, esta forma de armazenamento pode causar instabilidade no solo e do dique. Sendo assim, o SAP pode ser usado para realizar uma densificação, ou seja, retirar excesso de água deste rejeito, para que haja um melhor armazenamento, podendo ser uma alternativa à filtração (BELEM, 2019).

O SAP também vem sendo estudado na construção civil. O cimento, dentro da construção civil, passa por um processo de hidratação chamado cura, que tem por objetivo evitar a evaporação precoce da água, fazendo com que haja menor risco de fissuras e trincas ao final (TECNOSIL, 2021). Com isso, o SAP pode ser adicionado ao concreto, já que com sua alta capacidade de absorção de água esse processo de cura seria prolongado e os efeitos negativos de trincas e fissuras seriam diminuídos ou até mesmo evitados. A performance do cimento que teve adição de SAP é considerada melhor do que os que tiveram adição de agentes de cura interna clássicos, como a vermiculita, perlita, pó de alumínio e alfa-olefina sulfonato de sódio (SENF, 2015).

Já na agricultura, o SAP pode ser utilizado para maior controle na liberação de nutrientes para raízes. No plantio tradicional, há a perda de nutrientes por lixiviação, principalmente em solos do tipo mais poroso. Logo, o uso de SAP no solo pode funcionar como

um sistema de liberação de nutrientes e fertilizantes, oferecendo uma maior estabilidade e regularidade às plantas (AKIL, 2015).

3.1.3 Mercado

O início da comercialização do poliacrilato de sódio ocorreu no Japão durante o ano de 1978, quando esse material foi empregado em lençóis íntimos femininos (WANG, 2000). Com o passar dos anos, o SAP passou a ser utilizado na composição de fraldas na Alemanha e na França em 1980. Já no ano de 1983, as fraldas com baixo teor de penugem (continham 4-5 g SAP) eram comercializadas no Japão. E ao longo do tempo as fraldas se tornaram mais finas e modernas no mercado mundial (ZOHURIANN-MEHR & KABIRI *et al.*, 2010).

Os materiais não-tecidos são fibras sintéticas dispostas em forma de rede e unidas por um material ligante (BATRA *et al.*, 2012). Na grande Europa (UE27 mais Turquia e Rússia), a indústria destes materiais gerou um volume de receitas anuais maior que 6,3 bilhões de euros no ano de 2013, promovendo a geração de empregos diretos para 24.000 pessoas (EDANA, 2013).

No ano de 2019, o mercado global de PHAs (produtos de higiene absorventes) no varejo foi avaliado em US\$ 90 bilhões no ano de 2019, e as vendas foram impulsionadas significativamente em 2020, em função da pandemia do COVID-19. Estima-se que, em média, 1,5 bilhão de fraldas são descartadas todos os dias no mundo e a maior parte do lixo é incinerada ou enviada para aterro (RESEARCH AND MARKETS, 2020).

Para o mercado global de fraldas descartáveis é possível observar um aumento na produção e nas vendas, por dois fatores: envelhecimento da população em países desenvolvidos e em desenvolvimento, e o descontrole da taxa de natalidade em países subdesenvolvidos. Nos países desenvolvidos, para fraldas infantis, observa-se um crescimento abaixo de 2% ao ano no consumo, enquanto este crescimento se dá em torno de 10% ao ano em países africanos, asiáticos e latino-americanos (NIELSEN, 2015). Já para fraldas geriátricas, os países desenvolvidos da América do Norte e Europa lideram o mercado, com quase 50% de todo consumo mundial (GRAND VIEW RESEARCH, 2018).

3.2 Pós Uso

O gerenciamento de resíduos de forma eficiente está se tornando um desafio para a sociedade moderna. Em suas origens, as práticas de gerenciamento de resíduos sólidos foram desenvolvidas para lidar com os efeitos adversos à saúde pública das quantidades cada vez maiores de resíduos sólidos que são descartados sem a coleta ou destinação adequada. A sociedade precisa exercer o papel de cidadania, através de práticas atuais mais sustentáveis, principalmente voltadas para geração mais seletiva de resíduos sólidos (EDANA, 2007).

Na Europa, o desenvolvimento de sistemas de gestão de resíduos é caracterizado pela adoção de uma abordagem integrada mais sustentável, através de coletas otimizadas e separação eficiente dos resíduos, possibilitando assim, uma melhor valorização e recuperação dos materiais, antes de serem enviados à destinação final (EDANA, 2007).

Atualmente, o aterro sanitário é o método mais utilizado para destino dos produtos de higiene absorventes devido a sua larga faixa de aceitação de resíduos de forma geral (Classe II). Além disso, o aterro também recebe as frações não tratadas e recuperadas dos processos alternativos como reciclagem, a compostagem e o tratamento químico, biológico e térmico. O uso de outras opções é essencial para uma gestão de resíduos integrada, uma vez que garante a recuperação de boa parte dos compostos com valor de mercado, assim como possibilita a geração de energia, proveniente da degradação anaeróbia das frações orgânicas. (EDANA, 2007).

3.2.1 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é uma destinação comum aos artigos absorventes de higiene pessoal, visto que possui menor custo e facilidade de operação (MA, 2020). Produtos contendo materiais absorventes se comportam como outras formas de resíduos sólidos urbanos, e são prontamente compactados e armazenados nos aterros sanitários. Estes aterros geram gases e chorume decorrentes da biodegradação da fração orgânica deste resíduo, e que em grandes centros urbanos, como o Rio de Janeiro, a fração orgânica corresponde a aproximadamente 50% de todo o resíduo coletado pela companhia de limpeza local. Já a geração de materiais

absorventes, por exemplo, no Rio de Janeiro, só fica atrás de materiais como orgânicos, plástico e papel (IPP, 2019).

É possível utilizar os gases gerados durante a decomposição para geração de energia térmica (geração de vapor), gás veicular, iluminação a gás, ou geração de energia elétrica por cogeração. Este vapor obtido da queima do biogás pode ser usado para vaporização do chorume, a fim de concentrá-lo, retirando sua parcela de água. Sendo assim, ao final desta etapa, obtém-se uma espécie de lama, chamada Lodo, que pode ser destinado às Estações de Tratamento de Esgoto, retornar ao aterro, ou ainda ser misturado em leiras de compostagem após a estabilização do lodo (ICLEI, 2009).

3.2.2 Tratamento Térmico

O tratamento térmico é uma técnica de tratamento para redução rápida do volume de resíduos sólidos, gerando no final do processo cinzas de natureza classe I ou classe II, dependendo do resíduo a ser queimado. Em comparação com as outras destinações (aterros sanitários, por exemplo), é possível destacar algumas das vantagens, como a redução imediata dos resíduos (sem exigir grandes períodos de residência) e das pequenas áreas requeridas. Entretanto, esse tipo de tecnologia possui desvantagens, como grandes custos de implementação, nem todos os resíduos sólidos são incineráveis (resíduos da construção civil e da mineração, radioativos, por exemplo), liberação de gases, como CO, HF, HCl, SO_x, NO_x, que são controlados, segundo os padrões de emissão, da Resolução CONAMA n° 316 de 2002 e da NBR 11.175 de 1990. Além disso, em alguns tipos de fornos, o custo energético pode ser elevado, pois necessita de combustível suplementar para iniciar as operações, e manter a taxa de queima constante, que varia de acordo com a composição dos resíduos sólidos que alimentam o forno (TCHOBANOGLIOUS, 2002).

Os resíduos que apresentam o poliacrilato de sódio na sua composição podem ser incinerados em todos os tipos de fornos, pois não afetam negativamente a segurança ou emissões regulamentadas dos processos de incineração para produção de energia (MAKARICHI, 2018). Primeiramente, os resíduos são encaminhados a uma câmara de combustão que possui a temperatura, em torno de 900 °C. Nesta etapa, há a formação de vapor superaquecido, que quando anexado a um processo de cogeração, produz energia elétrica (MOYA, 2017). A qualidade desse tipo de material possibilita reduzir a concentração de metal pesado, proveniente de outras fontes de resíduos e que foram queimados misturados ao SAP.

E ainda, a produção de cinzas geradas durante a queima de materiais absorventes é reduzida, em função da composição química do SAP ser predominantemente de natureza carbonácea, gerando no final um quantitativo considerável de CO₂ (EDANA, 2007; MAKARICHI, 2018).

Uma outra forma de tratar o resíduo termicamente é a pirólise, que consiste na degradação por aquecimento em uma atmosfera deficiente de oxigênio, e que termodinamicamente é um processo endotérmico. Ao final do processo, é gerado um óleo pirolítico, que pode ser usado na indústria química, gases para cogeração e sólidos com propriedades combustíveis e adsorventes (OLIVEIRA, 2009).

Como uma alternativa a este processo clássico e amplamente difundido, estuda-se a carbonização hidrotérmica, que consiste numa “pirólise úmida”, sendo este tipo de tratamento indicado para resíduos com alta teor de umidade. A maior vantagem é que a água presente permanece líquida em todo o processo, sendo responsável por gerar um menor gasto de energia. Este tipo de processo ocorre em uma faixa de temperatura entre 180 e 300°C. Durante esta etapa diversas reações químicas ocorrem de forma simultânea, como hidrólise, desidratação, descarboxilação e aromatização (BUDYK, 2019).

Estes resíduos ainda podem, futuramente, ser usados em processos de coprocessamento, que empregam alguns tipos de resíduos para fabricação do clínquer, que é usado na indústria de cimento (GOMES, 2017). O clínquer é obtido a partir da queima de rocha calcária em fornos rotativos em torno de 1450°C (COSTA, 2013). Os resíduos são utilizados como combustível em fornos de cimento, substituindo os combustíveis fósseis tradicionais, como coque por exemplo. Neste processo não há a geração de cinzas, haja vista que o material de queima é incorporado à matriz do cimento. Sendo assim, não há a necessidade de dispor os subprodutos indesejáveis do processo em aterros, como ocorre na incineração tradicional (SOUSA, 2018).

3.2.3 Tratamento Biológico

O SAP é majoritariamente utilizado nos produtos relacionados à higiene pessoal e animal. Por apresentar um quantitativo de matéria orgânica na composição, proveniente da celulose e dos resíduos ali depositados, é possível utilizar em um tratamento biológico, como a digestão anaeróbia ou a compostagem (VÁZQUEZ-MORILLAS, 2014).

A compostagem de resíduos contendo materiais absorventes é um desafio à comunidade científica, pois a camada de plástico convencional (polietileno ou polipropileno) dificulta a degradação do material pela ação microbiana, necessitando então de um pré-tratamento mecânico. Além disso, o SAP não é facilmente biodegradável, tornando o processo de compostagem difícil. Entretanto, existem no mercado produtos que substituem esta camada de PE e PP utilizada na camada plástica, por ácido polilático, que possui uma degradação rápida, e que pode ser usada em uma leira de compostagem. A reação de decomposição do ácido gera o ácido lático. Nestes produtos, o SAP também é substituído por biopolímeros à base de amido (SÁNCHEZ, 2013).

3.2.4. Tratamento Mecânico Biológico (TMB)

O tratamento mecânico-biológico é um processo híbrido e conjugado, que remove mecanicamente uma parte do resíduo através de processos físicos como a trituração, a centrifugação, a lavagem, e trata de forma biológica a outra parte, gerando no final uma menor fração residual; e, às vezes, podendo converter o material residual em combustível derivado de resíduos (CDR) (ARCHER, 2005).

Este tipo de processo é capaz de processar resíduos contendo SAP, embora alguns processos se prestem a manuseá-los de maneira mais eficaz do que outros. O processo consiste na etapa de trituração que separa efetivamente as várias frações de matéria-prima. Os resíduos da estrutura e a polpa dos produtos são degradados biologicamente. A fração inerte restante, contendo as diferentes substâncias presentes no material plástico, podem ser direcionados para incineração, reciclagem e aterros sanitários. (ARCHER, 2005; EDANA, 2007).

O TMB possibilita a redução dos impactos ambientais dos resíduos absorventes, visto que com a etapa de biodegradação há um menor conteúdo orgânico sendo disposto em aterros sanitários, e conseqüentemente, uma redução do quantitativo de lixiviado e dos gases emitidos (TORRETTA, 2017). Entretanto, estes artigos de higiene pessoal participam parcialmente deste tratamento, visto que o revestimento de PE ou PP são separados, mas o SAP junto à polpa de celulose não teria uma biodegradabilidade adequada (SÁNCHEZ, 2013).

3.2.5 Reciclagem e reaproveitamento

A reciclagem pode possibilitar destinações diferentes ao poliacrilato de sódio, ou até mesmo a sua reutilização, reinserindo-o na sua própria cadeia produtiva (CONCEIÇÃO, 2016). A busca por técnicas de reaproveitamento e reciclagem de plásticos vem crescendo nos últimos 50 anos, tendo em vista que esse tipo de material demora centenas de anos para ser degradado nas condições ambientais normais (FRATERNALI, 2017).

A reciclagem das fraldas descartáveis e produtos semelhantes é uma opção que está sendo cada vez mais estudada no mundo (VÁZQUEZ-MORILLAS, 2014). A valorização econômica e o aperfeiçoamento de processo são desafiantes. Um dos exemplos que vem sendo utilizado é através da empresa canadense *Knowaste* que realiza a reciclagem de fraldas descartáveis, e no final do processo, é gerada uma corrente de plástico (PE). O SAP existente no material é desativado e retirado de uma outra corrente de fibra de celulose que é vendida ao final (KNOWASTE, 2021).

Já a empresa japonesa *Unicharm*, desenvolveu um processo único de reciclo de fraldas descartáveis. O tratamento da fralda contendo todos os constituintes é realizado através de ozonização, para que haja a sanitização, o branqueamento da polpa e a quebra das moléculas de odor. O SAP é tratado com ácido para que tenha a umidade reduzida e retorne ao estado original, retomando uma especificação para uso higiênico. Sendo assim, tanto o SAP quanto a polpa de celulose são usados na fabricação de novas fraldas (UNICHARM, 2021). O fluxograma do processo pode ser observado na Figura 3:

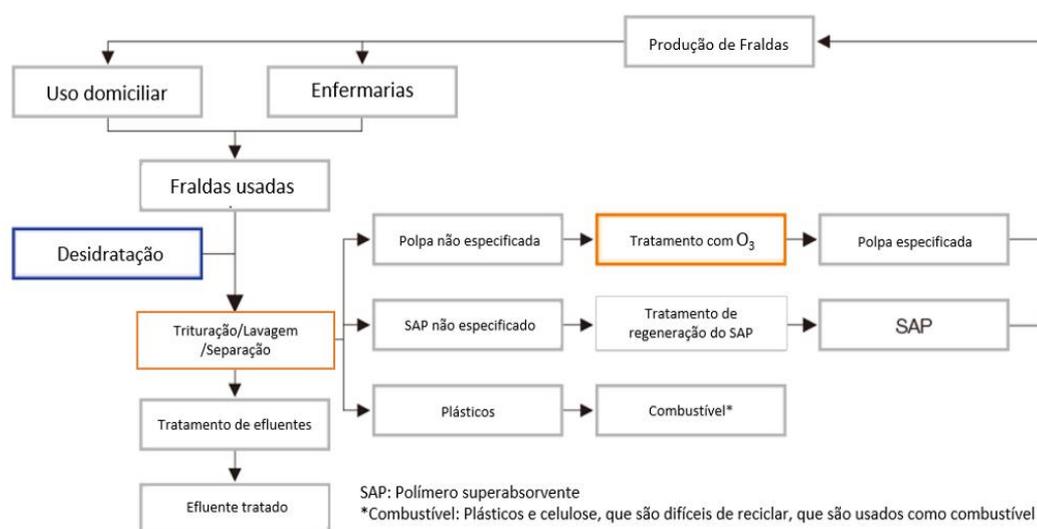


Figura 3: Fluxograma de reciclo de fraldas realizado pela Unicharm. Fonte: Unicharm, 2021.

3.3 Prospecção Tecnológica

A Prospecção Tecnológica é um mapeamento sistemático de tecnologia e de desenvolvimento tecnológico que podem impactar a sociedade, uma indústria ou um setor econômico (MAYERHOFF, 2008). Sendo assim, tende a prever possíveis tendências futuras de uma tecnologia ou setor, ou até mesmo condições que afetem metas estabelecidas (AMPARO, 2012).

As organizações empresariais têm implementado tecnologias modernas para enfrentar os desafios atuais em relação à modernização dos produtos, processos, serviços e práticas, para oferecer uma maior eficiência e eficácia financeira e tecnológica aos processos (KUMAR et al., 2015). Portanto, análise das implicações de tecnologias ajuda não somente em redução de custo, mas também, na identificação da alternativa mais adequada para um determinado tipo de negócio. As metodologias de prospecção tecnológica e avaliação de tecnologia auxiliam na tomada de decisões e no estabelecimento de prioridades de pesquisa e desenvolvimento (P&D). A prospecção tecnológica é amplamente utilizada para satisfazer as necessidades crescentes de inovação e direcionamento de mercado (HUANG et al., 2014).

Existem vários métodos de prospecção tecnológica disponíveis na literatura e os mais utilizados são as opiniões de especialistas, análise de tendências, métodos de monitoramento e inteligência, métodos estatísticos, modelagem e simulação, métodos descritivos e matriciais, entre outros (HALEEM, 2018).

3.3.1 Entrevista com Especialistas

A opinião de especialistas incorpora a previsão ou a compreensão de melhorias inovadoras por meio de recolhimento e análise de opiniões de forma meticulosa e padronizada com especialistas da área ou assunto a ser estudado. Nesse grupo, a estratégia mais prevalente é o método *Delphi*. A técnica *Delphi*, representada na Figura 4, consolida as conclusões dos especialistas; trata-se da probabilidade de compreensão da tecnologia (HAQUE et al, 2013).

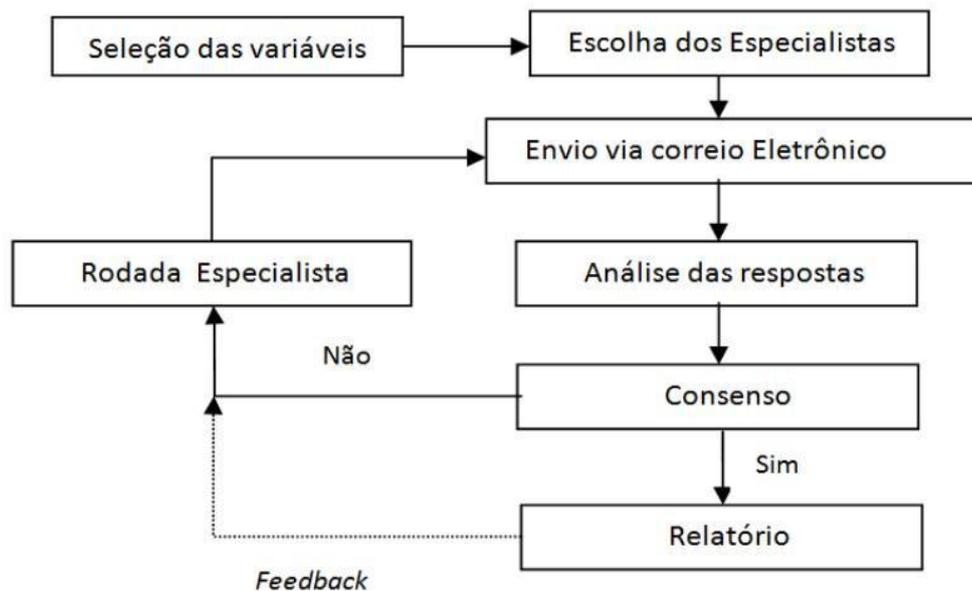


Figura 4: Fluxograma da metodologia Delphi. Fonte: Adaptado de Santos; Vidotto; Giublin (2005).

Neste modo de prospecção, as sugestões de especialistas guiam o processo de obtenção de dados, e o resultado é usado para guiar em previsões, podendo ser modificado ao longo do tempo devido à aquisição de novos dados (LEVARY e HAN, 1995). Esta técnica é amplamente difundida, sendo reconhecida pela sua precisão e confiabilidade (WOUDENBERG, 1991), e está presente em diversos trabalhos (GUSTAFSON, 1973; FOWLES, 1975; PARENTE, 1984). Esta é uma alternativa quando há escassez de dados, ou para contornar sigilos de organizações, seja em processo, serviço, tecnologia etc. (HALEEM, 2018).

3.3.2 Análise de Tendências e Análise SWOT

A análise de tendências atua na prospecção por meio da continuação de informações quantitativas anteriores sobre o que está por vir (LEVARY e HAN, 1995). Cada tecnologia tem um ciclo de vida composto de alguns estágios específicos, abrangendo o início, o desenvolvimento e maturidade e o declínio. Estimando-se parâmetros desse ciclo de vida, a curva de crescimento pode ser determinada para avaliar o máximo que o nível de crescimento da tecnologia alcança ou uma diminuição na fase do ciclo de vida, ou mesmo servindo para determinar a antecipação dos estágios do ciclo de vida da inovação (KIVIKUNNAS, 1998). Os métodos de análise de tendências são usados como referência quando a organização produz continuamente tecnologias, produtos e serviços (HALEEM, 2018).

Já a análise SWOT é uma relação das forças e fraquezas de uma empresa ou tecnologia, com as oportunidades e ameaças a elas quando vistas em uma lógica externa, ou seja, dependente de mercado, economia etc. (RIBEIRO, 2018). Quando se faz este cruzamento de informações, consegue-se compreender o cenário como um todo e planejar estrategicamente os próximos passos da tecnologia (MORAES, 2011).

3.3.3 Métodos de Monitoramento e Inteligência - Bibliometria (análise de patentes e artigos)

A bibliometria consiste basicamente no monitoramento de fontes básicas de informação relevantes e sistemas de inteligência e, por isso, são comumente utilizados em estudos prospectivos. O método se baseia no monitoramento, observação, checagem e correlação às informações relativas aos desenvolvimentos e inovações em uma área de interesse, definida para uma finalidade bem específica. Entre os objetivos mais comuns, tem-se: Identificação de eventos científicos relevantes e definir mudanças potenciais, implícitas nesses eventos; identificação de oportunidades envolvidas nas mudanças nesse cenário; alertar sobre tendências que estão convergindo, divergindo, ampliando, diminuindo ou interagindo (SANTOS, 2010).

Segundo Porter et al (1991), o monitoramento é uma técnica básica e amplamente utilizada provendo o pano de fundo necessário no qual a prospecção se baseia e, assim sendo, é fundamental. Pode ser usado para buscar todas as fontes de informação e produzir um rico e variado conjunto de dados. As principais fontes em que se baseia são as de natureza técnica (revistas, patentes, artigos científicos etc.).

Por sua vez, a análise de patentes é baseada no pressuposto de que o aumento do interesse por novas tecnologias se refletirá no aumento da atividade de P&D e que isso, por sua vez, se refletirá no aumento de depósito de patentes. Assim, presume-se que se podem ser identificadas novas tecnologias pela análise dos padrões de pedidos de patentes em determinados campos. Os resultados são muitas vezes apresentados de forma quantificada, mas seu uso no processo decisório tem por base uma avaliação qualitativa (SANTOS, 2010).

De acordo com Borschiver (2016), a metodologia de análise de artigos e patentes, pode ser explicada pelo fluxograma abaixo apresentado na Figura 5.

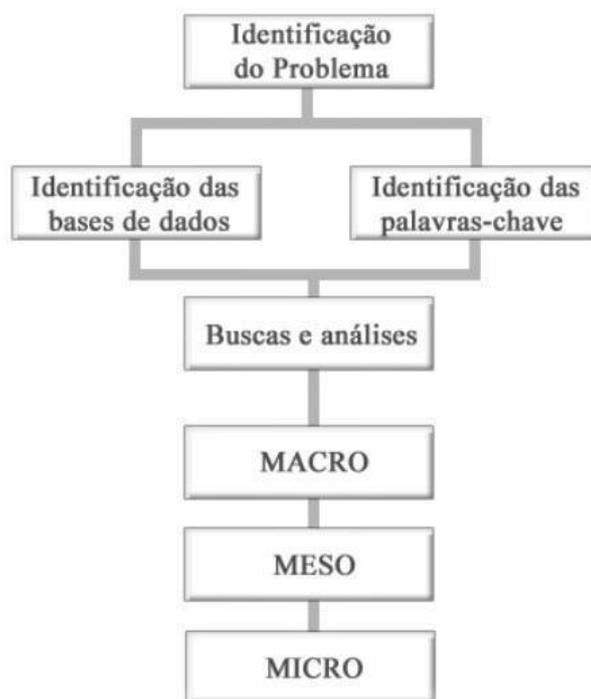


Figura 5: Fluxograma da metodologia de prospecção tecnológica. Fonte: Borschiver, 2019.

Na etapa de identificação do problema define-se qual assunto será pesquisado e seus objetivos dentro das bases de dados. Esse momento é de suma importância, pois direciona toda metodologia e palavras chaves utilizadas. Na etapa seguinte, ocorre a escolha da base de dados para as patentes e artigos, buscando sempre uma fonte que tenha abrangência e confiabilidade científica e que forneça, de preferência, materiais abertos ao público e de fácil leitura e acesso. Em paralelo, utiliza-se uma gama de palavras-chaves e correlações, na tentativa de abranger o maior número de patentes e artigos relevantes ao estudo. A etapa de análises divide-se em momentos: MACRO, MESO E MICRO. O nível MACRO consiste numa análise mais abrangente, na qual é abordada a cronologia dos depósitos de patentes e artigos, assim como a origem dos países participantes dos estudos e os tipos de depositantes (Empresas, Institutos, Universidades ou parcerias entre as organizações). No nível MESO, os documentos são analisados de forma individual, procurando definir em qual nicho aquele estudo se encontra; tais nichos são definidos pelo próprio pesquisador e irão variar quantitativamente e qualitativamente de acordo com o objeto de estudo. Por fim, na etapa MICRO, são analisados individualmente e minuciosamente os documentos de interesse do estudo, a fim de detectar e

relatar tendências, realidades e cenários atuais daquele assunto e permitir uma previsão a curto e médio prazo da tecnologia, mercado, processo etc. (BORSCHIVER, 2016).

Essa metodologia é mais uma que permite gerar uma base de dados e interpretações sobre a prospecção tecnológica da reciclagem, reuso, reciclo e reaproveitamento do poliacrilato de sódio.

3.3.4 Métodos Descritivos e Matriciais

Métodos descritivos e matrizes podem ser usados para ampliar a criatividade, quer seja de forma individual, quer seja coletiva, para possibilitar a identificação de futuros alternativos (SANTOS, 2010).

Entre as metodologias desse grupo descritas na literatura, o *Roadmap* Tecnológico ou *Technology Roadmap* (TRM) é reportado como uma ferramenta de grande destaque no campo da Prospecção Tecnológica pelo seu desempenho e versatilidade em estabelecer tendências de mercado, estudar trajetórias tecnológicas e perfil dos atores atuantes no setor, monitorar concorrentes ao longo do tempo e identificar oportunidades de novos negócios (BORSCHIVER e Da SILVA, 2016).

Segundo Lee e Park (2005), o *Technology Roadmap* (TRM) é uma técnica de planejamento estratégico e gerenciamento corporativo que possibilita alinhar objetivos organizacionais e recursos tecnológicos em uma instituição, indústria ou empresa. Na literatura, é possível encontrar variadas formas de se organizar um *Roadmap* Tecnológico, um modelo base que pode ser observado na Figura 6.

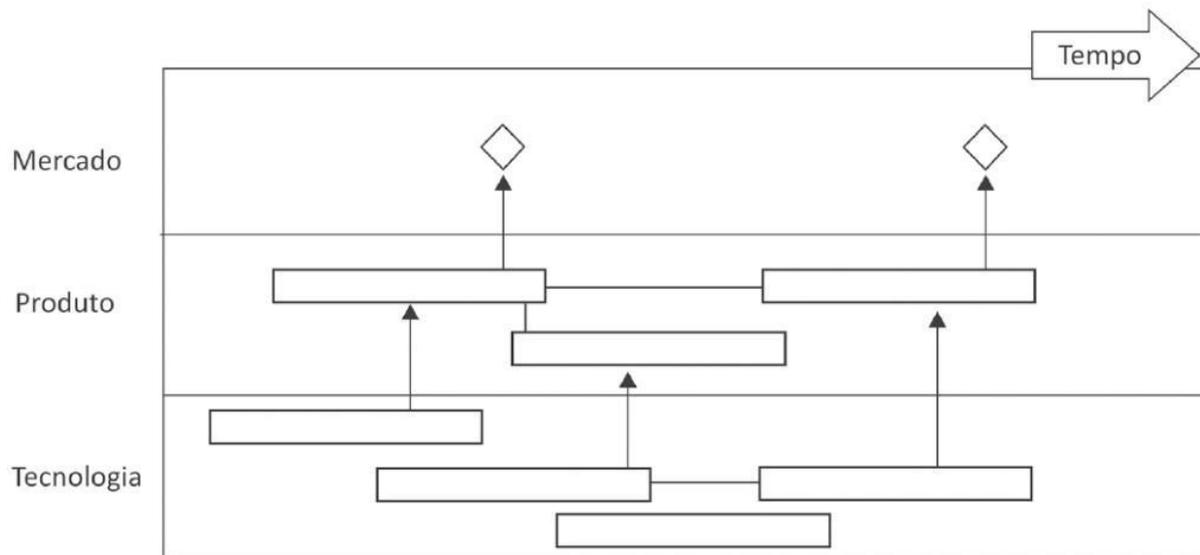


Figura 6: Modelo de *Roadmap* Tecnológico. Fonte: Borschiver e Da Silva, 2016

Basicamente, os *roadmaps* atuam como ferramentas prospectivas de suporte ao processo de tomada de decisão, pois permitem visualizar a evolução de uma tecnologia ou produto no mercado global ao longo do tempo. Eles revelam oportunidades e fornecem maior segurança nas decisões de alocação de recursos, reduzindo os riscos associados (BORSCHIVER et al., 2019).

De acordo com Jegorova (2020), os *roadmaps* tecnológicos estão se tornando uma ferramenta vital para alinhar os objetivos futuros da empresa e as atividades presentes na organização, permitindo identificar e priorizar uma vantagem competitiva sustentável e alocar corretamente os recursos tecnológicos e humanos da organização. Com isso, incluir tal ferramenta agrega valor às empresas, abrindo novos horizontes de desenvolvimento impulsionados pelo progresso tecnológico.

4 - METODOLOGIA

4.1 Busca por artigos científicos

A busca de artigos científicos foi realizada através da plataforma SCOPUS, que é uma plataforma da editora ELSEVIER. Essa plataforma possui uma interface de fácil acesso aos mais de 82 milhões de arquivos e 17 milhões de autores (SCOPUS, 2021).

A estratégia de busca por artigos científicos voltados para o tema deste trabalho na plataforma SCOPUS ocorreu pelo uso da ferramenta de “*advanced document search*” na qual é possível encontrar as publicações segundo o nome do autor, afiliação dele, pelo título, palavras-chave, resumo ou uma combinação entre elas. Neste trabalho foi realizada a busca utilizando palavras-chave (Quadros 1 e 2) presentes no título (*TITLE*), resumo (*ABSTRACT*) ou palavra-chave (*KEYWORD*) do artigo em questão. Além disso, foram também utilizados os operadores lógicos (booleanos), como o “*AND*” e “*OR*” a fim de tentar refinar os resultados.

Na fase pré-prospectiva (Quadro 1) foram utilizadas diversas combinações de palavras a fim de mapear de forma rápida o tema em estudo e determinar quais seriam as palavras-chave ideais, como também as combinações que iriam direcionar a busca na fase de prospecção (Quadro 2). As palavras-chaves foram subdivididas em dois subgrupos: aquelas que apresentam os possíveis nomes que o polímero “poliacrilato de sódio” que pode ser citado nas publicações; e o segundo grupo, as possíveis variações de processos descritos nos artigos científicos que seriam de interesse para o presente estudo.

Quadro 1: Palavras-chave utilizadas na busca de artigos científicos realizada na base de dados SCOPUS durante a fase pré-prospectiva. Fonte: Elaboração própria.

Produtos	Processos
<i>Sodium Polyacrylate</i>	<i>Recovery</i>
<i>Polyacrylate</i>	<i>Recovering</i>
<i>Superabsorbent Polymer</i>	<i>Recycle</i>
<i>SAP</i>	<i>Recycling</i>
	<i>Reprocess</i>
	<i>Reprocessing</i>
	<i>Reuse</i>
	<i>Reusing</i>
	<i>Circular economy</i>
	<i>Reduction</i>

A partir das análises iniciais, foi possível restringir e alinhar o universo de busca para a fase prospectiva. Foi descartada a pesquisa isolada dos termos poliméricos por apresentarem retornos não específicos, e extremamente abrangentes, mas sim, realizada uma combinação entre elas utilizando os operadores “AND” e “OR”.

Pelos mesmos motivos, os termos “*Polyacrylate*” e “*SAP*” também foram descartados, como objeto de estudo por apresentarem um quantitativo elevado de documentos, sendo que muitos destes não abordavam o assunto de interesse. No subgrupo de processos, os termos “*Reprocess*” e “*Reprocessing*” foram descartados, haja vista que não retornaram nenhum quantitativo de documentos para objeto desse trabalho. A palavra “*Reduction*” também foi retirada, devido à quantidade considerável de artigos retornados, que não estavam alinhados com o que se espera da pesquisa. Portanto, na fase prospectiva foram usados os termos que estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Combinações de palavras-chave usadas na busca de artigos científicos na plataforma SCOPUS durante a fase prospectiva.

Combinações de palavras-chave

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recovery"

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recovering"

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recycle"

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recycling"

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Reuse"

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Reusing"

TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Circular economy"

TITLE: título; ABS: resumo; KEY: palavras-chave

Os documentos que foram utilizados durante este estudo possuem data de publicação entre o período de janeiro de 2010 a junho de 2021. A fase de busca e leitura dinâmica dos documentos foi realizada durante o período do dia 03 de maio de 2020 a 28 de julho de 2021. Após a análise dos documentos, e seguindo a metodologia proposta por Borschiver e Da Silva (2016), os artigos científicos foram avaliados em três perspectivas: MACRO, MESO e MICRO (descritas nos itens 4.3).

4.2 Busca por Patentes

A busca de patentes foi realizada utilizando a plataforma Espacenet, que é um sistema de busca de patentes que pertence ao Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office* – EPO). Esta plataforma foi escolhida devido à sua enorme abrangência de arquivos, além de facilidades na operabilidade da plataforma e nas possibilidades de busca, já que possui mais de 65 milhões de patentes de 90 países. Assim como realizado no item 4.1 para artigos científicos, o período considerado foi de janeiro de 2010 a junho de 2021.

A estratégia de combinações de palavras teve por base a escolha das nomenclaturas mais usuais do polímero em questão, tipo de aplicação, uso e destinação do material. Os termos de produtos “*Superabsorbent Polymer*”, “SAP” e “*Sodium Polyacrylate*”, foram cruzados com os processos “*Recovery*”, “*Recovering*”, “*Reuse*”, “*Reusing*”, “*Recycle*”, “*Recycling*”, “*Reprocess*”, “*Reprocessing*”, “*Circular economy*” e “*Reduction*”.

Para realizar a busca na plataforma, foi utilizada a função *Advanced Search*, que possibilita cruzar as palavras-chave escolhidas, variando o tipo de combinação. Entretanto, deve se atentar ao tipo de conectivo e aos resultados obtidos por ele, pois pode-se usar o “OR” ou o “AND”. Como era de interesse que os documentos obtidos tivessem ambas as palavras-chave de produtos quanto de processos, utilizou-se somente o conectivo “AND”. Além desse fato, conseguiu-se direcionar em qual(is) parte(s) do documento as palavras-chave se encontram, podendo ser em algumas específicas ou no documento como um todo. Em virtude disso, buscou-se realizar a busca no título ou no resumo (*title or abstract*), pois entende-se que a patente que não possui os termos de busca, em pelo menos uma dessas duas partes, não tem o foco desejado no trabalho. Ainda, em um segundo passo, fez-se a busca cruzando-se duas palavras-chave de produtos com um de processos, ainda com o conectivo “AND” (Quadro 3).

Quadro 3: Combinações de palavras-chave usadas na busca de patentes concedidas na plataforma ESPACENET durante a fase prospectiva.

Combinações de palavras-chave

TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Recovery"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Recovering"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Recycle"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Recycling"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reuse"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reusing"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reuse"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reusing"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Circular economy"

TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reprocess"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reprocessing"
TITLE or ABSTRACT "Superabsorbent Polymer" and "Sodium Polyacrylate" and "Reduction"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Recovery"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Recovering"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Recycle"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Recycling"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reuse"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reusing"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reuse"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reusing"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Circular economy"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reprocess"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reprocessing"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Sodium Polyacrylate" and "Reduction"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and "Superabsorbent Polymer" and "Recovery"

TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Recovering"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Recycle"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Recycling"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reuse"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reusing"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reuse"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reusing"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Circular economy"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reprocess"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reprocessing"
TITLE or ABSTRACT "SAP" and " Superabsorbent Polymer " and "Reduction"

TITLE: título; ABS: resumo; KEY: palavras-chave

4.3 Análise sistemática de artigos científicos e patentes

Tanto os artigos científicos como as patentes concedidas foram analisadas em três perspectivas: MACRO, MESO E MICRO (BORSCHIVER e Da SILVA, 2016).

4.3.1 Análise MACRO

A análise MACRO consistiu na coleta de dados mais gerais e de fácil identificação como ano de publicação, natureza da instituição envolvida no estudo (empresa, universidade ou instituto) e país da instituição envolvida no estudo.

4.3.2 Análise MESO

A análise MESO estava voltada para a categorização dos artigos em grupos de acordo com a temática abordada. Para tal, foi realizada a leitura dos resumos dos arquivos selecionados para ter um breve entendimento sobre o assunto abordado, e em seguida categorizá-los em taxonomias. Após esta leitura, os documentos foram separados em duas grandes taxonomias: APLICAÇÃO e CIRCULARIDADE.

Na taxonomia de APLICAÇÃO os arquivos selecionados tiveram como característica oferecer uma forma nova de utilização do SAP, seja ele na forma virgem ou reciclado, no uso inovador em artigos de higiene pessoal, ou mesmo na aplicação em outros setores da economia, como agricultura, mineração, construção civil.

Na taxonomia de CIRCULARIDADE foram inseridos os documentos que possuem detalhamento de tecnologia para reaproveitar o SAP e reinseri-lo no processo produtivo, seja por meio mecânico, químico, biológico, ou mesmo formas de reprocessamento dentro da própria indústria produtora.

4.3.3 Análise MICRO

A análise MICRO abordou o detalhamento das patentes e artigos científicos selecionados, e a divisão deles em subcategorias de acordo com a proposta inovadora que estes abordam.

Os documentos foram classificados com a taxonomia APLICAÇÃO foram divididos em seis subcategorias para patentes: solo, higiene, construção civil, mineração, aditivação ou qualidade, e desidratação. Nos artigos, essas seis subcategorias mantiveram-se, mas com o acréscimo de duas, ambiental e produção ou síntese, totalizando-se oito subcategorias. Já os documentos classificados com a taxonomia CIRCULARIDADE foram divididos em três subcategorias em patentes: reprocessamento interno, tratamento químico e tratamento mecânico-biológico, enquanto os artigos foram alocados em cinco, sendo elas avaliação ambiental, tratamentos híbrido, biológico, físico e químico.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PATENTES

5.1.1 Análise MACRO

Foram utilizadas as combinações dos termos (“SAP” AND “Recycle”) ou (“SAP” “OR “Recycle”), retornando um quantitativo de 23 e 76.533 resultados, respectivamente. Essa discrepância de valores ocorreu em função do conectivo “OR”, que permite que patentes que tenham somente o termo “SAP” ou somente “Recycle” venham nos resultados obtidos. Sendo assim, utilizou-se somente o conectivo “AND”.

A Tabela 1 contém os números de patentes obtidas em cada combinação de palavras-chave usada na fase pré-prospectiva:

Tabela 1: Combinações de palavras-chave usadas e o número de patentes obtidas durante a fase pré-prospectiva.

Combinações de palavras-chave	Número de documentos
<i>"superabsorbent polymer" AND "recovery"</i>	5
<i>"superabsorbent polymer" AND "recovering"</i>	13
<i>"superabsorbent polymer" AND "recycle"</i>	6
<i>"superabsorbent polymer" AND "recycling"</i>	19
<i>"superabsorbent polymer" AND "reuse"</i>	1
<i>"superabsorbent polymer" AND "reusing"</i>	3
<i>"superabsorbent polymer" AND "reduction"</i>	22
<i>"Superabsorbent polymer" AND "circular economy"</i>	0
<i>"superabsorbent polymer" AND "reprocess"</i>	0
<i>"superabsorbent polymer" AND "reprocessing"</i>	0
<i>"SAP" AND "recovery"</i>	79
<i>"SAP" AND "recovering"</i>	32
<i>"SAP" AND "recycle"</i>	23
<i>"SAP" AND "recycling"</i>	45
<i>"SAP" AND "reuse"</i>	11
<i>"SAP" AND "reusing"</i>	4

<i>"SAP" AND "reduction"</i>	86
<i>"SAP" AND "circular economy"</i>	0
<i>"SAP" AND "reprocess"</i>	0
<i>"SAP" AND "reprocessing"</i>	0
<i>"sodium polyacrylate" AND "recovery"</i>	41
<i>"sodium polyacrylate" AND "recovering"</i>	17
<i>"sodium polyacrylate" AND "recycle"</i>	5
<i>"sodium polyacrylate" AND "recycling"</i>	38
<i>"sodium polyacrylate" AND "reuse"</i>	8
<i>"sodium polyacrylate" AND "reusing"</i>	1
<i>"sodium polyacrylate" AND "reduction"</i>	118
<i>"Sodium polyacrylate" AND "circular economy"</i>	1
<i>"sodium polyacrylate" AND "reprocess"</i>	0
<i>"sodium polyacrylate" AND "reprocessing"</i>	0

Após uma breve análise dos resultados com os números das patentes obtidas foi verificado que muitas não tinham relação com o tema deste trabalho, além do número ainda extenso de arquivos. Em vista dessa problemática, foram combinadas as nomenclaturas de produtos propostas entre si com os processos escolhidos, a fim de reduzir o espaço amostral da busca, utilizando as combinações de “*Superabsorbent Polymer*”, “*SAP*” e “*Sodium Polyacrylate*”, dois a dois, e cada par destes foi relacionado com uma nomenclatura de processo. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Combinações de palavras-chave usadas e número de patentes obtidas durante a fase prospectiva.

	<i>"SAP" AND "Superabsorbent polymer"</i>	<i>"Sodium Polyacrylate" AND "Superabsorbent polymer"</i>	<i>"Sodium Polyacrylate" AND "SAP"</i>
<i>Recovery</i>	9	9	4
<i>Recycle</i>	4	3	0
<i>Reuse</i>	3	4	0
<i>Recycling</i>	23	0	1
<i>Reusing</i>	1	2	0
<i>Recovering</i>	0	8	0
<i>Reprocess</i>	0	0	0
<i>Reprocessing</i>	1	0	0
<i>Circular Economy</i>	0	0	1
<i>Reduction</i>	19	19	11

As combinações realizadas com os termos apresentados na Tabela 2, totalizaram 122 patentes, nas quais, ficaram definidas quais patentes de fato seriam de interesse, e quais não abordavam a temática deste trabalho. E desta forma, utilizando estes critérios, o espaço amostral foi reduzido para 54 arquivos. Após essa etapa, removeu-se então as que se encontram em duplicatas, restando 42 patentes, no qual foram consideradas alinhadas com o tema em estudo. Dentre estas 42, foram descartados os arquivos publicados antes do ano de 2010, tendo então um total de 34 patentes. Assim sendo, de posse dos documentos, a Figura 7 apresenta a evolução de patentes concedidas ao longo dos anos.

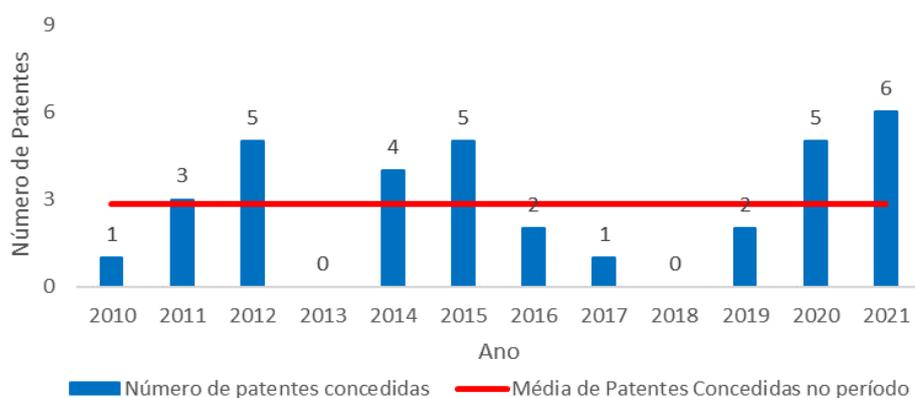


Figura 7: Evolução temporal das patentes concedidas desde 2010 segundo a plataforma Espacenet.

Fonte: Elaboração própria

É possível observar que as patentes concedidas estão presentes em maioria nos últimos 3 anos (2019, 2020 e 2021 – até julho), constando 38,2% do total de arquivos. Esse aumento pode ser justificado pela busca por soluções sustentáveis voltadas para reaproveitamento, reciclagem e reprocessamento do poliacrilato de sódio, visto que há uma alta da demanda por produtos de absorventes de higiene pessoal. As fraldas, por exemplo, alcançaram a cifra de 4 bilhões de unidades produzidas no ano de 2016, e espera-se alcançar a marca de 6 bilhões de unidades para o ano de 2022. Este crescimento tem duas causas principais, o envelhecimento da população em países desenvolvidos e o descontrole populacional nos países subdesenvolvidos. Logo, há um comportamento mundial voltado para soluções de destinações desses tipos de produtos, que hoje são majoritariamente destinados aos aterros sanitários e incineradores (CHAKRABORY, 2020).

Analisando o perfil dos depositantes, foi possível separá-los em duas categorias, sendo empresa e universidade. Como resultado, obteve-se 31 patentes depositadas por empresas, 2 por universidades e 1 que surgiu de parceria entre universidade e empresa. Dentre as 34 patentes, observou-se a dominância de três grandes empresas depositantes, sendo elas PROCTER & GAMBLE (5 documentos - EUA), KIMBERLY CLARK CO (3 documentos - EUA) e PURADYN FILTER (4 documentos - EUA), correspondendo juntas a 35,3% dos arquivos totais trabalhados. Já as universidades, foi observado que as 2 patentes depositadas pertencem à Universidade de Michigan (EUA), e a Universidade de Waseda (Japão) possui 1 patente depositada em parceria com empresa.

A Tabela 3 apresenta os principais países atuantes na busca de solução para o para reaproveitamento, reciclagem e reuso do poliacrilato de sódio.

Tabela 3: Países e número de patentes concedidas desde 2010 segundo a plataforma Espacenet.

País	Nº de Patentes Concedidas
EUA	19
JAPÃO	7
CHINA	3
ALEMANHA	1
FRANÇA	1
GRÉCIA	1

INDIA	1
TAIWAN	1

A explicação para o fato de Estados Unidos e Japão serem os maiores depositantes de patentes é justificada por ambos, acompanhados da China, serem os maiores produtores desse tipo de material (NONWOVENS INDUSTRY, 2021). Este número elevado de patentes depositadas pelos EUA se deve principalmente à grande contribuição das maiores depositantes já comentadas anteriormente, em que juntas possuem 12 documentos registrados.

5.1.2 Análise MESO

Na análise MESO, os documentos foram classificados em duas grandes taxonomias: CIRCULARIDADE e APLICAÇÃO com 13 e 21 documentos, respectivamente. Pode-se perceber, na Figura 8, que houve um aumento de 400% no número de patentes de CIRCULARIDADE entre 2020 e 2021, enquanto no mesmo período houve uma redução de 75% nas patentes de APLICAÇÃO.

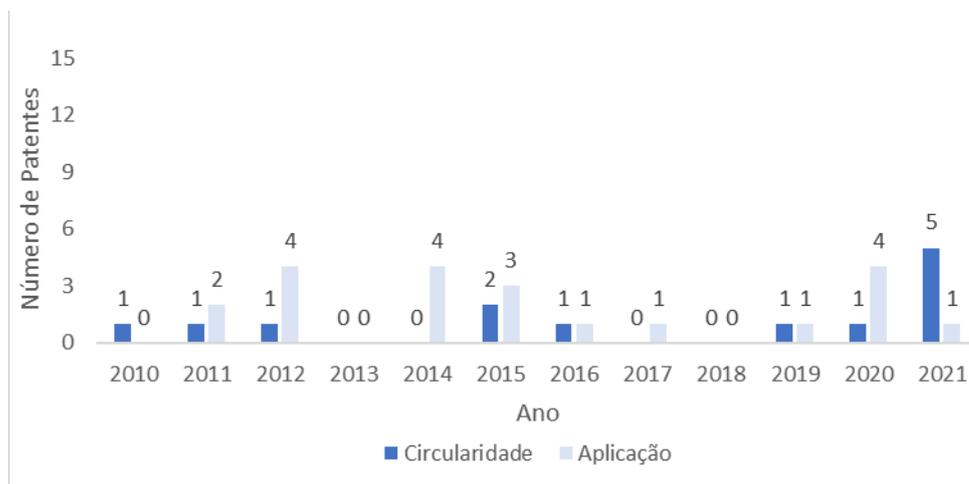


Figura 8: Evolução temporal de patentes concedidas e categorizadas de acordo com as taxonomias APLICAÇÃO e CIRCULARIDADE.

Quando analisadas as patentes depositadas nas taxonomias MESO, pode-se observar que em cada categoria houve somente 1 patente depositada por universidades, sendo as restantes por empresas. O padrão de arquivos se manteve quando comparado com a análise MACRO (item 5.1.1), com a maioria das concessões de patentes ocorrendo na última década. Para APLICAÇÃO, observa-se, mais uma vez, uma *liderança* dos EUA e do Japão quanto a

patentes, com estes dois países possuindo 76,2% de todas as patentes categorizadas nesta taxonomia. Já na taxonomia CIRCULARIDADE, este padrão não se repete completamente. Os EUA possuem 9 documentos, equivalente a 69,2% de todos os documentos da categoria, o que foi diferente para o Japão, que obteve somente 1 documento. Além destes países citados, pode-se observar a presença de países como Alemanha, Canadá, China, Índia, França e Grécia, mas sem participação relevante.

5.1.3 Análise MICRO

Os documentos categorizados em cada taxonomia MESO, foram divididos em diferentes subcategorias, buscando detalhar melhor o foco dos documentos analisados. Os documentos pertencentes às taxonomias APLICAÇÃO e CIRCULARIDADE foram classificados em 6 e 3 subcategorias, respectivamente. Os números de patentes concedidas em cada subcategoria estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Taxonomias MESO, subcategorias MICRO e o número de patentes concedidas em cada uma.

Categoria Meso	Categoria Micro	Nº de patentes concedidas
APLICAÇÃO	Solo	4
	Higiene Pessoal/Saúde	4
	Construção Civil	1
	Mineração	2
	Aditivção/Qualidade	4
	Desidratação	6
CIRCULARIDADE	Reprocessamento interno	3
	Tratamento Mecânico-Biológico	2
	Tratamento Químico	8

Para as patentes categorizadas como APLICAÇÃO, observa-se um número maior de documentos nas áreas de solo (que são focadas em maior performance da agricultura usando SAP no solo), aditivção e qualidade (arquivos que focam na melhora do SAP e de produtos absorventes) e de desidratação (patentes que usam o SAP como método para retirar umidade de sistemas diversos). Por essa divisão, fica evidente que o poliacrilato de sódio está sendo difundido em diversas áreas da economia, o que antes era restrito basicamente a produtos de higiene pessoal.

Já na taxonomia CIRCULARIDADE, fica evidente que a maioria das patentes, 76,9% dessa taxonomia e 29,4% do total, são relacionadas com formas de reciclagem do produto pós-uso (tratamento mecânico-biológico e tratamento químico) e somente 3 fornecem uma solução para os fins de SAP originados logo após a produção (reprocessamento).

5.1.3.1 – Análise MICRO - Taxonomia “APLICAÇÃO”

As patentes classificadas na taxonomia APLICAÇÃO têm como característica em comum o uso inovador do SAP, seja ele recuperado ou novo, em diversos usos, como na construção civil, mineração, agricultura.

A subcategoria SOLO abrange as patentes que propõem soluções para o tratamento do solo e as melhores condições de plantio. Na patente WO 2020/202092 A1, foi usado o SAP para aumentar a concentração de sacarose na cana de açúcar. Atualmente, para realizar este aumento, são usados reguladores hormonais e produtos químicos diretamente no solo, mas que em excesso podem causar danos à fauna e à flora local. Entretanto, foi estudado que o nível de umidade do solo está diretamente ligado à quantidade de açúcar obtido da cana, ou seja, quanto menor a umidade, menos açúcar se obtém, visto que haverá retardamento da germinação e do crescimento, além de dificultar absorção de compostos de fósforo e nitrogênio pela planta. Logo, o SAP é aplicado ao solo, na forma de grânulos ou em pó, e devido à sua alta capacidade de retenção de água, o qual regula a umidade em torno da raiz. Junto a ele, pode-se usar os mesmos reguladores, mas como o SAP reduz a lixiviação destes, há uma redução da quantidade requerida. Ao final dos testes foi constatado que a combinação SAP e reguladores pode contribuir com um aumento de até 60% na quantidade de açúcar, quando comparado a um solo sem aplicação de ambos.

Na subcategoria HIGIENE PESSOAL/SAÚDE, foram alocados os documentos que visam justamente o emprego de novos produtos absorventes para este meio, como é o caso da patente WO 2014/093310 A1. Nela, é criado um design diferente de artigos absorventes com camadas mais justapostas, o que possibilita gerar uma menor expansão do SAP após contato com o líquido e, conseqüentemente, uma maior utilização da substância. Sendo assim, este novo design permite que seja usado para grandes volumes de urina. Já no caso da patente WO2016/120130 A1, há uma proposta de produção de lenços de papel com a incorporação de SAP no produto. Inicialmente, há a adição de SAP em uma solução salina ácida, para que haja a desativação da sua capacidade de absorção. Em seguida, as fibras de celulose são adicionadas

à esta solução, e então misturadas e neutralizadas com uma solução de sal básico. Essa neutralização possibilita que o SAP retome sua capacidade original, só que agora está entre as fibras de celulose. Ao fim do processo, o sal residual é removido por lavagens e finalmente, tem-se o lenço de papel com capacidades superabsorventes.

As patentes da subcategoria CONSTRUÇÃO CIVIL, têm um enfoque de aplicação de SAP neste setor da economia. Na patente US 9193627 B2, é utilizado o polímero superabsorvente e um ligante mineral contendo cimento, para que haja um produto endurecido com baixa condutividade térmica, fornecendo um maior isolamento. A principal função do poliacrilato de sódio é facilitar o manuseio da formulação úmida, o que permite a melhor utilização em coberturas de paredes.

Na subcategoria MINERAÇÃO, os documentos buscam encontrar soluções para os resíduos de minas, ou lamas derivadas da extração mineral, como é o caso da patente WO 2014/100570 A1. Nela, o SAP foi utilizado para formar uma lama mais estável e semissólida, o que permite um transporte veicular para descarte mais seguro e com uma menor possibilidade de perda de material, durante o percurso, e além da viabilidade de realocação.

Na subcategoria ADITIVAÇÃO/QUALIDADE, os documentos encontrados reportam formas de aditivação do poliacrilato de sódio para melhorar sua performance ou suas características. Na patente US 2006/0089611 A1, é exposto que o SAP pode mudar de cor de 4 a 6 semanas após o período de produção, principalmente em locais com temperaturas mais elevadas, como na América do Sul, África e partes da Ásia. Esta mudança não altera a sua capacidade de absorção, não comprometendo a aplicabilidade do material, mas que acaba gerando transtorno, haja vista que grande parte da população rejeita produtos que estejam amarelados, pois entende-se, erroneamente, que esta alteração é maléfica, ocorrendo devolução de produtos. Logo, propõe-se um tratamento prévio com baixa dose de radiação UV, a fim de retardar esta mudança de cor.

Na subcategoria DESIDRATAÇÃO, foram obtidos documentos que visavam utilizar o SAP dentro de algum processo de separação física, majoritariamente, separação de moléculas de água devido à capacidade de absorção. A patente registrada como EP3323486A1 soluciona o problema de umidade em sistemas de recirculação de óleo, visto que ao longo do tempo acaba recebendo água do ar atmosférico através de pequenos furos. Logo, usa-se um aparato de SAP

revestido com poliéster na linha de óleo, que conforme circula por dentro desta peça, a água presente é absorvida, não comprometendo a eficiência do sistema.

5.1.3.2 – Análise MICRO – Taxonomia “CIRCULARIDADE”

Na taxonomia CIRCULARIDADE, foram alocadas as patentes que possuem foco na circularidade do SAP, seja retirando-o de artigos absorventes através de métodos químicos, físicos, biológicos, ou até mesmo solução de problemas internos das indústrias produtoras para um reprocessamento.

No REPROCESSAMENTO INTERNO, as patentes possuem o foco em técnicas para recuperação de SAP e reinserção dele no processo produtivo. No documento WO2010/046267 A1, é abordada uma forma de reprocesso de finos de SAP. Estes finos são inerentes ao processo produtivo, e podem ser gerados em transporte, manutenção de reatores, secagem do SAP ou na granulação deste. Sendo assim, ele pode ser tratado com uma solução cáustica, misturado com a solução que entrará para polimerização em solução junto com os monômeros numa proporção de até 30% em massa da solução final. Ao fim do processo, obtém-se SAP especificado para a venda, especificação esta que é próxima do SAP virgem.

No TRATAMENTO QUÍMICO, os documentos selecionados têm por objetivo uma proposta de reciclagem, ou meios que podem facilitá-la, usando rotas químicas. Na patente WO2014/077619 A1, evidencia-se uma forma de remover a umidade do polímero superabsorvente utilizando-se água do mar adicionada de cloreto de cálcio. Essa solução se mostra eficiente visto que os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} interagem com a parte aniônica do SAP, diminuindo a repulsão de suas moléculas, fazendo com que a água seja expulsa. Esta é uma opção barata que pode ser usada para retirada de SAP e automaticamente parte da matéria orgânica de artigos absorventes. Já na patente WO2010/096595 A1, objetiva-se a formação de um SAP com propriedades antimicrobianas, com a incorporação de peróxido de hidrogênio. Este processo, além de formar um SAP antiMICRObiano, pode ser uma alternativa para a higienização de um polímero superabsorvente usado, como é nos artigos absorventes de higiene pessoal.

Para TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO, pode-se observar documentos que têm o foco neste tipo de processamento, e que se propõem majoritariamente encontrar soluções para fraldas descartáveis e semelhantes, haja vista que apresentam concentração relevante de matéria orgânica. Na patente WO2010/046267, propõe-se um processo de reciclagem de

fraldas descartáveis. Inicia-se com uma trituração e logo em seguida uma lavagem com solução salina, a fim de inativar a capacidade absorvente do SAP. Em seguida, após filtração, obtém-se plástico do revestimento, que pode ser polietileno ou polipropileno, e uma outra corrente com fibra e celulose. O plástico passa por uma lavagem para retirada de matéria orgânica e tratamento enzimático para retirar traços de celulose. Após isso, pode ser reinserido no processo de produção como plástico reciclado. Na corrente de fibra e SAP, realiza-se uma outra filtração, agora mais fina, obtendo-se fibra e SAP separadamente. Este SAP é neutralizado, o que faz com que retorne à sua forma original e possa ser reutilizado.

5.2 Artigos científicos

Através da pesquisa realizada com as combinações descritas anteriormente, em paralelo a uma leitura do título e resumo, foi possível quantificar os valores globais de documentos para o estudo, de acordo com o Quadro 4.

Quadro 4: Resultados da pesquisa de artigos científicos utilizando combinações das palavras-chave na base de dados SCOPUS.

Combinações das palavras-chave	Resultados
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recovery"</i>	90
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recovering"</i>	1
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recycle"</i>	8
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Recycling"</i>	30
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Reuse"</i>	12
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Reusing"</i>	1
<i>TITLE-ABS-KEY "Superabsorbent Polymer" or "Sodium Polyacrylate" and "Circular economy"</i>	1

TITLE: título; ABS: resumo; KEY: palavras-chave

Além disso, foi realizada uma análise prévia a fim de identificar os documentos em duplicatas ou triplicatas que apareciam em mais de uma combinação de pesquisa; e de documentos que fugiam completamente do objetivo do estudo. Após a avaliação inicial, dos 143 documentos que compunham o universo inicial de estudo, obteve-se um número de 103 documentos a serem analisados.

5.2.1 Análise MACRO

A análise MACRO é constituída por diferentes abordagens no conjunto de dados, onde busca-se evidenciar e observar a série histórica das publicações, a quantidade de publicações por países participantes do artigo, ao longo do período definido e a distribuição de artigos de acordo com a suas respectivas filiações: universidades, institutos, empresas privadas e até mesmo, parcerias entre as diferentes filiações.

Portanto, a partir desse conjunto de dados de 103 documentos no total, foi possível realizar uma análise macro. Primeiramente, buscou-se traçar um cenário temporal das dos artigos científicos publicados ao longo dos anos entre 2010 e 2021 (Figura 9).



Figura 9: Evolução temporal dos artigos científicos sobre poliacrilato de sódio publicados entre os períodos de 2010 a 2021. Fonte: Elaboração própria.

Com base na Figura 9, é possível perceber um aumento significativo das publicações abordando o retorno do poliacrilato de sódio à cadeia produtiva nos últimos anos. Um total de 53 artigos foram publicados nos últimos 3 anos e meio (2018 até julho de 2021), o que corresponde a algo em torno de 53,4% do total de publicações.

Esse aumento é justificado por diversos motivos, como alta e crescente demanda pelos produtos acabados, que contém o Poliacrilato de Sódio (devido à alta taxa de natalidade em países pobres e envelhecimento da população em países ricos - como citado no item 5.1.1) e que impacta diretamente no descarte dos mesmos, alto valor agregado nos preços de insumos, fazendo com que se busque soluções sustentáveis voltadas para retorno do poliacrilato de sódio às cadeias produtiva, além de uma preocupação crescente com a questão ambiental.

A Figura 10 mostra os principais países envolvidos nos estudos relacionados abordando o reuso e reciclagem do poliacrilato de sódio. Nota-se que o somatório do número de participações excede ao número total número de artigos, uma vez que uma publicação pode ser, e muitas vezes é, trabalho em conjunto de diversos pesquisadores de diferentes países e instituições. Em contrapartida, artigos que tiveram participações de diferentes instituições do mesmo país não foram contabilizados duas vezes, partindo do princípio de que o objetivo da análise é rastrear o envolvimento de cada país no cenário tecnológico mundial relacionado ao tema em estudo.

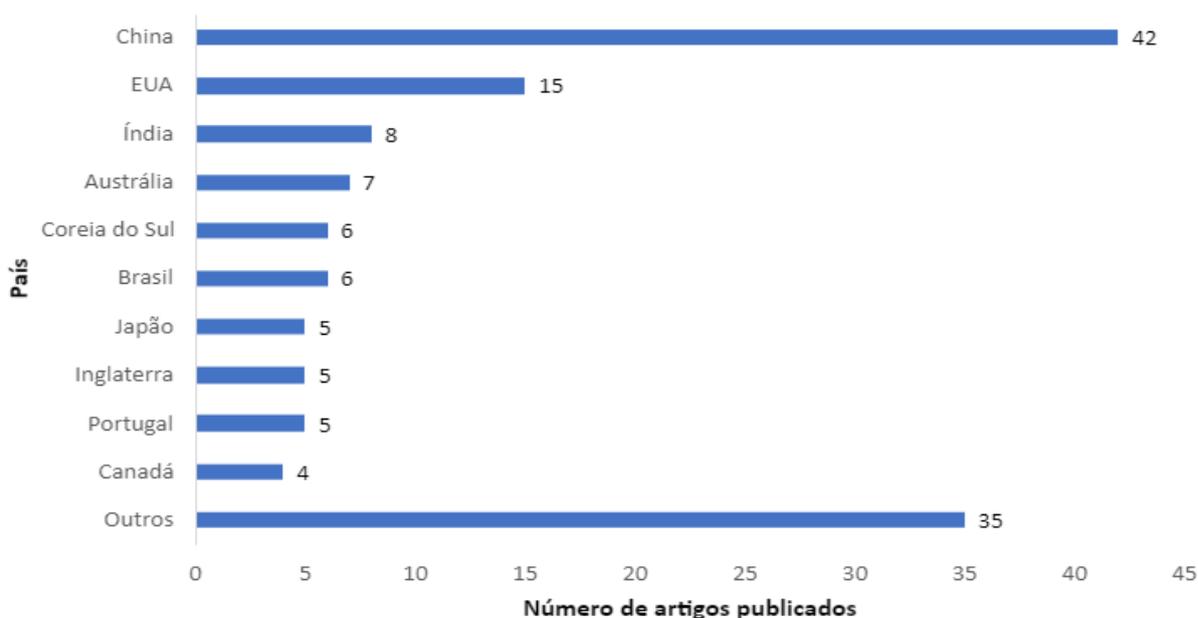


Figura 10: Países responsáveis pela publicação dos 103 artigos científicos sobre poliacrilato de sódio analisados.
Fonte: Elaboração própria.

É possível perceber uma atuação expressiva da China com participação direta em 42 artigos, que corresponde em torno de 40,8% do total das publicações, seguido dos Estados

Unidos com 15 participações diretas, aproximadamente 14,6% das publicações. Depois é possível observar os países com participações medianas, entre 4 e 8 publicações e que têm um papel importante na economia mundial, de forma geral. Por fim, o grupo de países com 3 ou menos participações, com papel coadjuvante no cenário tecnológico, foi agrupado na categoria “outros”, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Países enquadrados na categoria “Outros” com o total artigos publicados entre 2010 e 2021.

País	Número de artigos publicados	País	Número de artigos publicados
Grécia	3	Palestina	1
Alemanha	3	Italia	1
Singapura	3	Chipre	1
Malásia	3	Egito	1
Namíbia	3	Noruega	1
México	2	Paquistão	1
Irã	2	Sérvia	1
França	2	Suécia	1
Bélgica	2	Tailândia	1
Espanha	2	Turquia	1

Tal discrepância entre a China e EUA e os demais países é explicada pela própria economia estruturada de ambas as nações, assim como os constantes investimentos e pesquisas em seus institutos e universidades, mas também, pelo fato de os países abrigarem os maiores produtores de produtos de higiene absorventes.

Por fim, através de uma análise realizada quanto à afiliação dos grupos de pesquisas (universidades, institutos e empresas) é possível observar, conforme Figura 11, um domínio expressivo das universidades na produção e publicação de artigos científicos, com participação direta em 91,3% de todos os estudos, incluindo as atuações de forma independente e as parcerias com outras instituições e empresas.



Figura 11: Natureza das instituições que publicaram artigos científicos sobre poliacrilato de sódio analisados.
 Fonte: Elaboração própria.

Um ponto relevante é que em nenhum trabalho publicado, dos 103 em análise, houve um artigo produzido exclusivamente por alguma empresa de forma independente. Sua participação sempre está atrelada às parcerias com universidades e institutos de pesquisa. Isso pode ser um indicador de que essa área de pesquisa começou a ser explorada mais recentemente, uma vez que inicialmente as empresas fazem parcerias com universidades e institutos de pesquisa para darem os primeiros passos acerca de uma possível tecnologia inovadora. Somente depois de evidências científicas que comprovem o potencial de determinada tecnologia, é que usualmente as empresas investem em infraestrutura e recursos humanos qualificados para o desenvolvimento desta tecnologia internamente, sendo esta inovação muitas vezes protegida na forma de patentes. Nesse cenário atual, aproximadamente 80% das publicações não tiveram nenhuma empresa envolvida, o que realmente indica um estágio inicial de desenvolvimento dessas tecnologias.

5.2.2 Análise MESO

Embora o foco do presente trabalho seja o monitoramento e prospecção das tecnologias para economia circular do poliacrilato de sódio, uma grande parcela dos documentos obtidos na pesquisa foi relacionado com as aplicações do poliacrilato de sódio na indústria, em processos etc.

Com base nisso, os artigos científicos foram classificados em 2 grandes taxonomias: CIRCULARIDADE e APLICAÇÃO, com 19 e 84 documentos, respectivamente, e é observada de forma cronológica na Figura 12. O primeiro grupo, engloba os artigos científicos que reportam formas e tecnologias de reuso e reciclagem do poliacrilato de sódio; o segundo grupo abrange os trabalhos que utilizam o composto SAP, em sua forma natural ou reciclada, em processos secundários em diversas áreas e vertentes que são abordadas mais à frente.

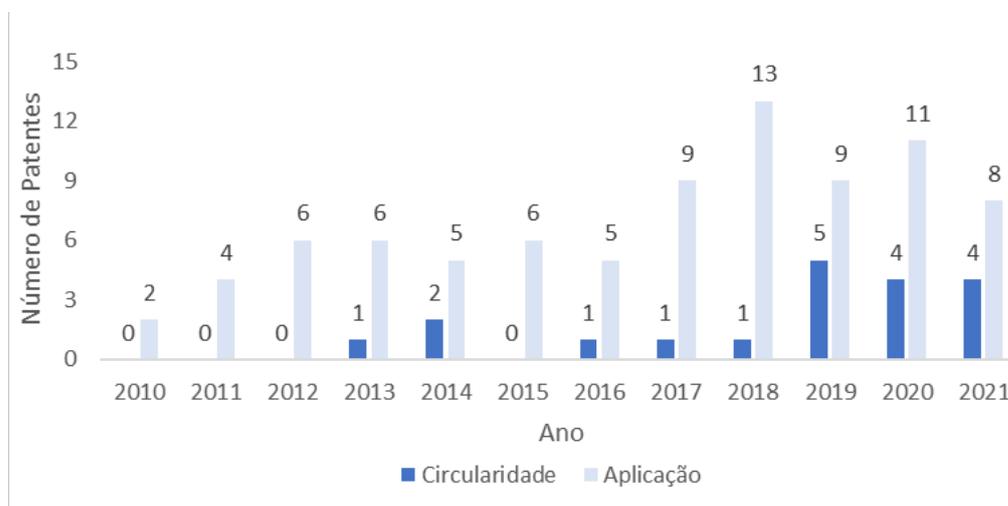


Figura 12: Evolução temporal dos artigos científicos publicados entre os períodos de 2010 a 2021 segundo as duas taxonomias criadas. Fonte: Elaboração própria.

Pode-se perceber um aumento expressivo no número de artigos do grupo CIRCULARIDADE publicados a partir de 2019, somando-se 13 artigos do total de 19 da série cronológica em estudo, o que corresponde a 68,4% do total das publicações, o que demonstra um aumento da busca por soluções voltadas à economia circular do poliacrilato de sódio. Na taxonomia APLICAÇÃO, o cenário se mostrou de certa forma equilibrado ao longo do tempo, tendo um leve incremento na produção de trabalho a partir de 2017.

Em seguida, os artigos, então, foram analisados quanto à natureza da publicação quanto a filiação de seus autores (universidades, institutos de pesquisas e/ou empresas ou até mesmo, como em diversos casos, de parcerias entre estas); e às participações diretas dos países envolvidos nos estudos, nos mesmos critérios da análise MACRO.

Tanto os artigos de CIRCULARIDADE quanto de APLICAÇÃO apresentaram um domínio das universidades como instituições publicantes, se comportando com o mesmo cenário apresentado na análise MACRO. É possível observar a extensa participação das universidades, tanto de forma independente, que fica em torno de 42% e 66% para

CIRCULARIDADE e APLICAÇÃO dos trabalhos publicados, respectivamente, quanto em forma de parcerias, que somadas todas as participações (universidade + universidade/empresa + universidade/empresa/instituto + universidade/instituto) constituem um total de 90 e 92% de publicações de CIRCULARIDADE e APLICAÇÃO, respectivamente. Nota-se que empresas, de forma independentes, não possuem trabalhos publicados em nenhum dos grupos, entretanto, fazem uma parceria de grande relevância com as universidades.

Assim como na análise MACRO, percebe-se uma liderança da China e Estados Unidos como os maiores depositadores de artigos relacionados ao poliacrilato de sódio. No grupo da CIRCULARIDADE, China e Estados Unidos participaram diretamente na publicação de 3 artigos cada, acompanhados do Japão também com 3 artigos do total de 24 participações. Apenas esses três países foram responsáveis por 37,5% das publicações, atuação bem expressiva que acompanha com a realidade de universidades e empresas presentes nos países asiáticos, como: Changgang Institute of Paper Science and Technology (2), Kangwon National University (2), Unicharm Corporation (2), Yuhan-Kimberly (2). O número em índice corresponde ao número de participações nos artigos. Austrália e Coréia do Sul tiveram uma contribuição relevante com 2 publicações cada. O restante das participações foram contribuição de 11 países, com 1 publicação cada.

No grupo de APLICAÇÃO, China e Estados Unidos também mantiveram a liderança nas publicações, com 39 e 12 artigos publicados, respectivamente, o que corresponde a 44,7% das 114 participações, número também bem expressivo e foram acompanhados pela Índia com 8 publicações. Na China, vale ressaltar a grande participação de universidades locais, como: Central South University (5), Kunming University of Science and Technology (4), Southeast University (4), Chongqing University (3), Missouri University of Science and Technology (3), National University of Singapore (3), Thaksin University (3) e Tianjin Polytechnic University (3).

Outros três países tiveram uma atuação relevante, como Austrália, Brasil e Portugal com 5 publicações cada; um destaque especial a Universidade de Aveiro em Portugal, que apresentou 6 cientistas representantes. O restante das 40 publicações foram contribuições de um total de 20 países, com participações menos relevantes no cenário tecnológico mundial.

5.2.3 Análise MICRO

Na análise MICRO obtém-se um melhor detalhamento dos grupos definidos na análise MESO e uma abordagem mais pontual dos artigos publicados. Para isso, cada grupo foi dividido em diferentes subcategorias, buscando detalhar melhor o foco dos documentos analisados. Os documentos pertencentes às taxonomias APLICAÇÃO e CIRCULARIDADE foram classificados em 8 e 6 categorias, respectivamente, apresentando quantidades diferentes de artigos publicados, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Categorias MICRO e número de artigos publicados em cada uma. Fonte: Elaboração própria.

Categoria Meso	Categoria Micro	Nº de patentes concedidas
APLICAÇÃO	Solo	5
	Higiene Pessoal/Saúde	6
	Construção Civil	15
	Mineração	6
	Ambiental	14
	Aditivção/Qualidade	16
	Desidratação	21
	Produção/Síntese	1
CIRCULARIDADE	Avaliação Ambiental	2
	Tratamento Híbrido	1
	Tratamento Biológico	2
	Tratamento Físico	7
	Tratamento Químico	7

Para os artigos da taxonomia APLICAÇÃO, observa-se um desenvolvimento maior nas áreas de construção civil (focadas na utilização do SAP para concretos com auto cura), ambiental (que são focadas na utilização do SAP como agente auxiliares de tratamento de metais pesados), em aditivção e qualidade (trabalhos que focam no uso do SAP como aditivos em indústrias ambientais e petrolíferas) e de extração e separação (artigos que avaliam o SAP como agente de desidratação e purificação de substâncias diversas, desde químicas a biológicas). Por essa divisão, fica evidente que o poliacrilato de sódio está sendo difundido em diversas áreas da economia, o que antes era restrito basicamente a produtos de higiene pessoal.

Já na CIRCULARIDADE, fica evidente que a maioria dos artigos constituem os tratamentos físicos e químicos, uma vez que apresentam soluções em processos mais bem difundidos, menos complexos e menos custosos.

5.2.3.1 Análise MICRO – Taxonomia “APLICAÇÃO”

Em linha com o item 5.1.2.1, os artigos categorizados na taxonomia “APLICAÇÃO” têm como foco o uso inovador do SAP, em áreas diferentes das já difundidas, ou até mesmo inovação nas áreas em que já está presente.

Classificados na subcategoria SOLO, estão os documentos que usam o SAP para melhorias de solo, visando maior eficiência na agricultura. No trabalho de Subhas et al. (2015), há a intenção de realizar uma melhor liberação de fósforo e nitrogênio para as raízes das plantas. Em condições normais, a lixiviação e a volatilização dos compostos fazem com que a eficiência desta absorção fique entre 30 e 40% para nitrogênio e 15 a 25% para fósforo. Como há uma perda da capacidade absorvente do SAP em contato com soluções iônicas, usa-se nanoargila para que essa propriedade seja preservada e que haja uma liberação controlada dos fertilizantes.

Os documentos da subcategoria MINERAÇÃO usam o SAP para os processos de extração e beneficiamento de minérios, como forma de reter água e concentrar produtos ou facilitar manuseio de rejeitos. Já no trabalho de Amal et al. (2019), usa-se o poliacrilato de sódio para concentração da água que sai do concentrador de minérios. Esse concentrador gera duas correntes: o minério em si, concentrado, e uma outra corrente que se chama “tailing slurry”, que é uma lama que possui valor, pois ainda tem o minério de interesse, mas em menor quantidade. Sendo assim, o SAP reaproveitado de fraldas descartáveis é usado como retentor de água, concentrando este minério.

Na subcategoria AMBIENTAL, foram alocados artigos científicos que usam o polímero superabsorvente para solucionar, ou reduzir problemas ambientais. De acordo com Jiahui et al. (2013), se busca uma forma de retirar metais pesados, principalmente níquel, de efluentes industriais. Neste caso, o poliacrilato entra como um dos agentes complexantes, aprisionando íons de níquel.

Na subcategoria CONSTRUÇÃO CIVIL, os documentos usam, em sua grande maioria, o SAP para melhorar as características do cimento, ou até mesmo melhor utilização do cimento.

Segundo Deng et al. (2018), pode-se haver a adição de SAP ao cimento para melhorar a ductibilidade, melhorando o processo de autocura dele.

Na subcategoria DESIDRATAÇÃO, agrupam-se os artigos que usam o SAP como agente que auxilia a retirada de umidade de sistemas. No caso do artigo de Lixia et al. (2012), foi observado que 20 a 40% do custo de energia num sistema de refrigeração ou aquecimento se dá pela presença de umidade. Sendo assim, utiliza-se o SAP na linha de ar para que haja retirada de umidade, resultando em menor custo energético do processo.

Na subcategoria HIGIENE PESSOAL/SAÚDE, os artigos possuem o enfoque do uso de SAP em soluções para a vida das pessoas de modo geral, seja em novos artigos de higiene pessoal, seja no uso dele em hospitais. Em um estudo realizado por Song et al. (2020) evidencia-se a vantagem de se usar a parte absorvente de fraldas descartáveis nas máscaras de pacientes na crise de COVID-19 em Wuhan, China. Havia a dificuldade de umidade excessiva no respirador, o que diminuía o tempo de uso do equipamento (tinha que ser substituído mais frequentemente) e até a própria vida útil. Com esta parte dos artigos absorventes contendo SAP, houve menor entrada de umidade no sistema e os problemas relacionados a isso foram solucionados.

Por fim, na subcategoria ADITIVAÇÃO/QUALIDADE, são os documentos que tendem a utilizar o poliacrilato de sódio como aditivo em outro produto ou meio, para que haja uma melhor performance em determinado processo. De acordo com Hadi et al. (2014), utiliza-se o SAP como aditivo em líquidos de perfuração de petróleo. Nesta etapa, há uma perda de surfactantes do líquido devido a adsorção destes nas rochas. Sendo assim, o SAP entra para que seja adsorvido no lugar desses surfactantes, havendo redução de custos na atividade.

5.2.3.2 Análise MICRO – Taxonomia “CIRCULARIDADE”

Na taxonomia “CIRCULARIDADE” foram considerados os artigos que possuem foco na reciclagem e reuso do SAP, seja retirando-o de artigos absorventes através de métodos químicos, físicos, biológicos, processos de separação híbridos, ou até mesmo avaliações ambientais da recuperação e reuso do SAP.

Na subcategoria AVALIAÇÃO AMBIENTAL, os documentos buscam apresentar os impactos ambientais da recuperação do SAP. Nesse caminho, o artigo de Somers et al. (2021) avaliou os impactos do ciclo de vida da reciclagem de produtos de higiene absorventes (PHA) em 3 cenários diferentes: coleta padrão de sistema municipal de resíduos, um cenário envolvendo processo de reciclagem sem recuperação SAP e cenário envolvendo processo de reciclagem com recuperação do SAP. Por fim, concluiu-se que SAP é o maior contribuinte potencial de aquecimento global (PAG) em fabricação de fraldas e similares. Os resultados indicam que a recuperação SAP tem potencial para diminuir as emissões de PAG do ciclo de vida em até 54% quando comparada ao descarte de fraldas padrão e em 35% quando comparada às tecnologias de reciclagem de fraldas que se concentram apenas em plásticos e recuperação de energia. A recuperação e reutilização do SAP também parecem gerar economias significativas relacionadas aos gastos de energia e água envolvidos na fabricação do SAP. Já no artigo científico de Takaya et al. (2019), buscou-se avaliar diferentes tecnologias de tratamentos existentes para os produtos de higiene pessoal absorvente e suas frações como o SAP, os impactos ambientais envolvidos nos processos convencionais e modernos, assim como os principais destinos dos produtos recuperados. Destaca-se entre os processos, o uso comum de tratamento físicos por calor e compostagem para conversão em combustíveis derivados de resíduos; entre os destinos o SAP recuperado é direcionado para as indústrias de minério, construção civil e agricultura.

Na subcategoria TRATAMENTO HÍBRIDO, os artigos possuem mais de uma rota de tratamento e/ou focam em técnicas ou processos que facilitem a recuperação do poliacrilato de sódio, como técnicas de separação ou, até mesmo, síntese de polímeros que são mais facilmente reciclados e reutilizados dentro de uma cadeia produtiva ou centros de recuperação. Segundo Hoss et al. (2021), pode-se trabalhar na síntese de hidrogéis superabsorventes de poliacrilato de sódio que são “sensíveis” à presença ou ausência de CO₂ e, em alguns casos, podem perder seu poder de absorção de água em até 70% da sua absorção inicial, facilitando então sua recuperação após uso. Os hidrogéis estudados são sintetizados pela copolimerização de radical livre de N-[3-dimetilaminopropil] -metacrilamida ou 2-N-morfolinoetil metacrilato (MEMA) com N, N'-dimetilacrilamida (DMAAm), que atua como um monômero e um auto reticulador. Na presença de CO₂, os géis foram capazes de atingir uma razão de inchaço máxima (SR - swelling ratio) de ~800, demonstrando que são superabsorventes. Em contrapartida, esses mesmos géis são capazes de liberar mais de 70% da água absorvida se forem imersos em água não gaseificada. O processo de absorção/liberação de água foi realizado repetidamente,

obtendo taxas de recuperação, semelhantes ao procedimento original, em 4 ciclos, portanto demonstra a reutilização desses materiais e seu uso potencial em uma variedade de aplicações.

Na subcategoria TRATAMENTO BIOLÓGICO agrupou-se os trabalhos que utilizam técnicas de pré-tratamento mecânico seguidos por processamentos biológicos diversos. De acordo com Navarro et al. (2021), a geração de bio-hidrogênio a partir da fermentação escura da fração orgânica de fraldas residuais contendo SAP foi otimizada. A metodologia de superfície de resposta teve como variáveis independentes a temperatura de operação (37–55° C), razão C/N da alimentação (30, 40 gC / gN) e sólidos totais (ST) iniciais da alimentação (15-25%). As variáveis dependentes examinadas foram $Y'H_2$ (H_2 produzido por g inicial de matéria seca), conteúdo de ácidos e solventes orgânicos de baixo peso molecular, ácido lático, a razão A/B (ácido acético para butírico) e o quociente de ácidos orgânicos C_2 a C_4 para solventes. O $Y'H_2$ máximo previsto ocorreu na combinação de fatores de 43 gC / gN, 12% e 31 ° C; com produção de 2,79 mol H_2 / gST.

Na subcategoria TRATAMENTO QUÍMICO, os documentos selecionados têm por objetivo uma proposta de reciclagem, ou meios que podem facilitá-la, usando rotas químicas. No trabalho de Soly et al. (2021), investigou-se a recuperação da água absorvida de rejeitos de mina (água da laterita saprolítica hidrofílica e lamas de calcopirita hidrofóbica) e posterior regeneração do SAP, induzida por pH. Além disso, estudou-se a dosagem de SAP e tipo de ácido (CH_3COOH , HCl) utilizados. A dosagem de SAP de 2 g/100 g de pasta de minério e a dosagem de HCl de 2 g/100 g de água absorvida foram favoráveis à recuperação máxima de água (~95%) de ambas as pastas. O desempenho de recuperação de água da pasta e regeneração do SAP foi 45% mais eficiente para o processo que utilizou o HCl. Uma nova tecnologia foi desenvolvida por Itsubo et al. (2020) para a reciclagem de ciclo fechado de fraldas usadas, e o uso da polpa reciclada e do polímero superabsorvente (SAP). Neste trabalho, os produtos de higiene absorventes usados foram degradados inicialmente em solução ácida com pH 2,5 ou menor; posteriormente é aplicado um tratamento com ozônio que além de dissolver e solubilizar o SAP da polpa, também esteriliza o meio, evitando contaminação. Por fim, realiza-se a recuperação da capacidade de absorção de água por um tratamento com ácido, seguido de uma neutralização.

De acordo com Tsigkou et al. (2020) desenvolvem-se rotas para retirada de água absorvida pelo SAP, a fim de facilitar o tratamento biológico posterior. No trabalho foram testadas as soluções de $CaCl_2$, $MgCl_2$ em diferentes concentrações e combinações contra sua

eficiência de desidratação de SAP, concentração de reagente residual e custo do reagente. A mistura de 20% de CaCl_2 e 50% de MgCl_2 (m/m) de SAP foi concluída como a combinação adequada de sais alcançando uma redução de volume final de SAP de 92,7% com baixas concentrações de cátions residuais e custo mínimo. Já Francesca et al (2017) descreve rapidamente o processo de recuperação/desidratação de SAP através de soluções iônicas de CaCl_2 .

Ainda na subcategoria TRATAMENTO QUÍMICO, Hideaki et al. (2017) abordou um tratamento de desidratação de SAP proveniente de fraldas usadas através do uso de uma solução de ozônio de 45g/m^3 com uma taxa de fluxo de $1,0\text{ mL/min}$. No processo de oxidação por ozônio se destrói a estrutura reticulada do SAP, quebrando as ligações de éter do agente de reticulação no SAP e eliminando sua capacidade de reter água. O SAP foi completamente desidratado após 360 min de tratamento com ozônio. Já Suresh et al. (2018) buscou uma recuperação de SAP utilizados em de campos de petróleo no gerenciamento de água. Nesse estudo o gás CO_2 supercrítico empregado para realizar a desidratação do poliacrilato de sódio, através da pressurização em vasos de pressão verticais a 500, 1100, 1900 e 2500 psi mantidos em um forno a 65°C por 1, 3 ou 5 dias, obtendo SAP recuperados com capacidade de 90% do produto original. Já Nasrim et al. (2016) abordou um processo para recuperação e repolimerização de partículas finas de SAP através da imersão em solução de tratamento contendo acetona, água e reticulador e, posteriormente, cura a 160°C por 2 h. Os reticuladores utilizados foram éter diglicidílico de bisfenol A, éter diglicidílico de etilenoglicol e éter diglicidílico de polietilenoglicol, tendo o primeiro com maior eficiência de recuperação, chegando a 93% da massa de particulados.

Na subcategoria TRATAMENTO FÍSICO, os artigos têm como foco processos majoritariamente físicos buscando sempre a recuperação do SAP ou frações reutilizáveis. Wei et al. (2020) estudou a despolimerização de SAP em condições hidrotérmicas via aquecimento por microondas e posterior recuperação dele. SAP reticulado de alto peso molecular foi convertido em oligômeros com $M_w < 5000$ Da por tratamento com H_2O_2 seguido por aquecimento por microondas. As melhores condições dessa etapa de despolimerização foram para utilização de 0,5% em peso de H_2O_2 (4,8% em peso de SAP, 200°C , 20 min) devido à geração de radical que leva à cisão da cadeia principal. O produto SAP com $M_w < 5000$ Da foi sintetizado com sucesso usando tratamento de microondas para o tempo de reação de 3 min (para 2,4% de concentração de SAP). Segundo Song et al. (2018), há uma forma de reutilizar

o polímero superabsorvente (SAP) de resíduos de fraldas descartáveis para bebês na preparação de uma série de catalisadores básicos pelo método de carbonização e peneiramento; para isso o SAP dos resíduos foi seco em um forno a 120°C para remoção da água absorvida. O SAP seco foi carbonizado em um forno na temperatura selecionada de 200° C a 600° C por 30 min sob gás nitrogênio com vazão de 60 mL/min. A partícula obtida foi triturada e passada através de uma peneira 120 mesh, e usada para a transesterificação do glicerol com carbonato de dimetila sem qualquer tratamento adicional. Já Shiung et al. (2019) estudou o tratamento de fraldas por micro-ondas a fim de gerar produtos de valor agregado. O processo apresentou um aquecimento rápido (até 43° C/min) e tempo de reação rápido (20~40 min), gerando produtos de pirólise compreendendo até 43% em peso de produção de óleo líquido, 29% em peso de gases e 28% em peso do produto carbonizado. Além disso, o óleo líquido continha alcanos, alquenos e ésteres que podem ser potencialmente usados como aditivos químicos, produtos cosméticos e combustível. O carvão sólido continha alto teor de carbono, baixo teor de nitrogênio e livre de enxofre, apresentando potencial para uso como adsorvente e aditivo de solo. Almeida et al. (2019) avaliou o poder calorífico das camadas das fraldas visando a redução dos resíduos dispostos em aterros sanitários, obtendo-se um potencial de combustão de aproximadamente 12 kJ/g, cerca de 30% menor que do bagaço de cana. Uma possibilidade de estudo foi realizada por Maher et al. (2019) para recuperação simples do SAP de fraldas usadas e reutilização do superabsorvente em solo na agricultura. No processo de recuperação, o SAP foi separado manualmente da fralda usada, lavado e agitado em água por 2 minutos. Em seguida, o polímero foi esterilizado para eliminar patógenos e poluentes voláteis. A esterilização foi feita colocando a amostra do polímero superabsorvente em uma estufa a 125° C por 15 min. Por fim, o polímero foi mantido a 60 °C por 24 h, para secagem e encontrava-se pronto para utilização. No trabalho de Lee et al. (2015), foi investigada uma técnica de fracionamento preliminar das diferentes frações de fraldas. O processo é composto pela combinação de despoldador em escala piloto, peneira de tambor, peneira e limpador, sendo o controle do SAP realizado pela adição de cloreto de cálcio ao despoldador, desidratando o mesmo e facilitando o processo de recuperação. Taxas de recuperação de plásticos, fibras e SAP foram acima de 90%, 80% e 70%, respectivamente, nas condições operacionais ideais do piloto.

6. OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Após o detalhamento das patentes concedidas e dos artigos científicos, observa-se que há uma sinergia entre os trabalhos que buscam opções de CIRCULARIDADE e os de APLICAÇÃO. Observou-se uma tendência para os processos de recuperação do poliacrilato de sódio que buscam utilizar tratamentos físicos ou químicos, devido à fácil aplicabilidade e aos baixos custos de matéria-prima e baixo consumo de energia para processamento, além de buscarem processos que possuem formas de esterilização de menor custo (tratamento com ozônio e peróxido de hidrogênio, por exemplo). Além disso, pôde-se constatar também que os documentos que visam APLICAÇÃO não necessitam de um SAP com alta especificação, quando comparada ao uso em higiene pessoal, podendo-se usar o produto recuperado diretamente em sua aplicação em solo, construção civil e mineração, visto que são áreas da economia em que consumiriam grandes quantidades.

Portanto, com base nos artigos publicados e patentes concedidas, foi possível idealizar um fluxograma de processo completo para recuperação do SAP e sua reinserção na cadeia produtiva, conforme Figura 13.

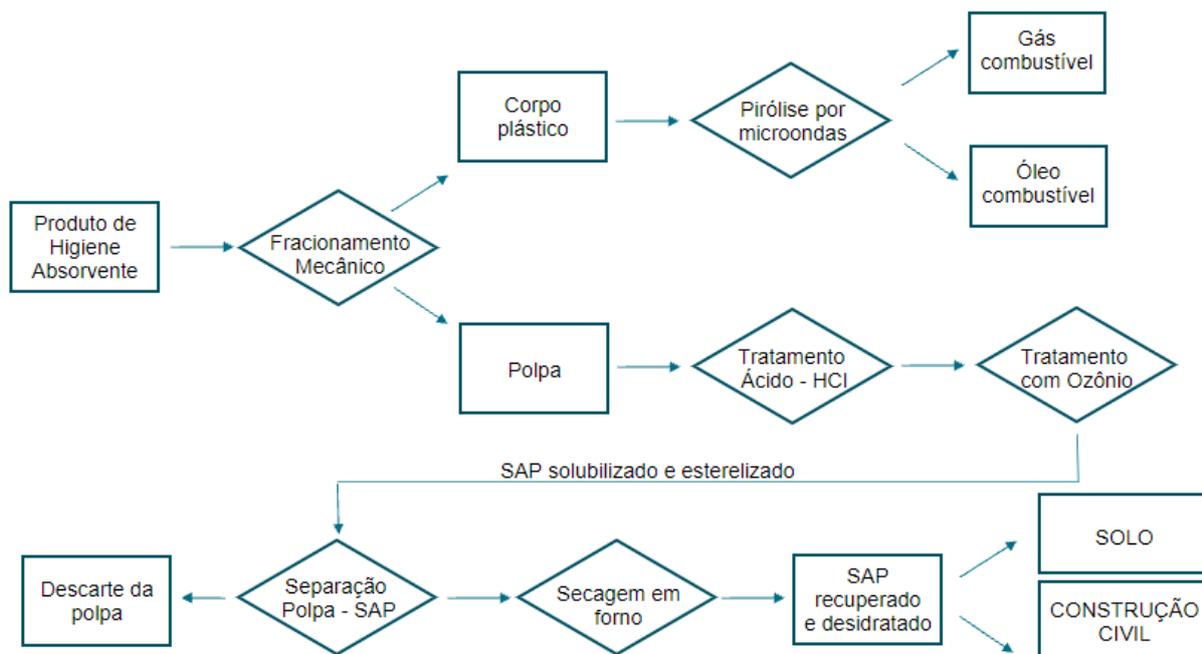


Figura 13: Fluxograma de processo de recuperação de SAP e reinserção na cadeia. Fonte: Elaboração própria

7. CONCLUSÕES

O estudo de prospecção tecnológica com base em artigos científicos oriundos da base SCOPUS e das patentes da base ESPACENET, ambos analisados no período de janeiro de 2010 a julho de 2021, permitiu um mapeamento abrangente do atual cenário tecnológico para a circularidade do poliacrilato de sódio, englobando formas de reciclagem, e reuso, assim como uma avaliação das tendências de novas aplicações.

Com base no mapeamento cronológico dos 103 artigos foi possível verificar um aumento relevante, principalmente a partir de 2018, no quantitativo de trabalhos produzidos dentro do interesse inicial do estudo, que no caso, englobam a taxonomia CIRCULARIDADE, e que buscam recuperação de SAP. Em paralelo, o significativo número de documentos classificados segundo a taxonomia APLICAÇÃO, demonstram que processos diversificados de uso do SAP em outras áreas além da convencional (higiene pessoal) estão na fase de amadurecimento. Os países que mais contribuíram diretamente na produção desses artigos foram China, Estados Unidos, Índia, com a China sendo a líder no número de participações com uma representação de 40,8% da participação global. As instituições de ensino e pesquisa representaram 93% do total de publicações, enquanto que as empresas não produzem artigos científicos de modo independente, apenas com parcerias com universidades e institutos.

Já nas patentes, no total de 34 documentos, percebeu-se que a presença de universidades depositantes é mínima, sendo somente de 4,7% do total obtido, sendo sempre associada a empresas. Para os países que mais contribuíram com patentes concedidas, lideram EUA e Japão, que juntos possuem 76,4% das patentes, com a China aparecendo com um quantitativo de 8,8% dos documentos.

A diferença de quantitativo entre artigos científicos publicados (103) e patentes concedidas (34) no presente estudo mostra um processo emergente das tecnologias e processos dentro da cadeia produtiva e circular do SAP, ou seja, pode-se esperar um amadurecimento tecnológico à médio e longo prazo, tendo o número de patentes depositadas se intensificando nos próximos 5 a 10 anos

Ao final, pôde-se perceber que ambas as taxonomias estudadas, APLICAÇÃO e CIRCULARIDADE, tanto em artigos quanto em patentes, têm uma sinergia. Todos os

documentos que buscam novas formas de utilização do poliacrilato de sódio permitem o uso de SAP recuperado, não necessitando de uma matéria-prima de primeira mão, enquanto os documentos que buscam recuperar o SAP possuem o viés de fazê-lo com a melhor especificação e menor custo possíveis.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].AKIL, 2015. Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 57, 414–433.
- [2].ALMEIDA, S. Preliminary thermal evaluation of disposable babies diapers viewing energy recycling. *Journal of Thermal Analysis* (2019)
- [3].AMAL, S. Dewatering of mine tailings slurries using superabsorbent polymers (SAPs) reclaimed from industrial reject of baby diapers: A preliminary study. *Minerals*, volume 9, issue 12 (2019)
- [4].AMPARO, K. K. S. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v.17, n.4, p.195-209. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. 2012.
- [5].ARCHER, 2005. Composting municipal waste in UK: some lessons from Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(3-4), 359–374
- [6].BATRA *et al*, introduction to nonwovens industry, DEStech publications, 2012.
- [7].BELEM, 2019. Dewatering of Mine Tailings Slurries Using Superabsorbent Polymers (SAPs) Reclaimed from Industrial Reject of Baby Diapers: A Preliminary Study. *Minerals*, volume 9, issue 12.
- [8].BORSCHIVER, S. et al. Technology roadmap for hyaluronic acid and its derivatives market. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(3), p. 435-444, 2019.
- [9].BUDYK, 2019. Hydrothermal carbonization of disposable diapers. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7 (2019) 103341
- [10]. CHAKRABORY, J. P. et al. *Fuel* 277 (2020) 118115. Co-pyrolysis of eucalyptus and sodium polyacrylate: optimization and synergistic effect. 2020.
- [11]. CHANDA, M. et al. *Introduction to Polymer Science and Chemistry*. CRC Press, 2006.
- [12]. CHANG, L. et al. Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*. vol 94, 2021.
- [13]. Colon, 2010. VALORIZATION OF SUPERABSORBENT POLYMERS FROM USED DISPOSABLE DIAPERS AS SOIL MOISTURE RETAINER. *International Journal of Research – GRANTHAALAYAH*.

- [14]. CONCEIÇÃO, R., PEREIRA, C., PESSOA G., PACHECO E. A cadeia de reciclagem de pet pós-consumo e as definições de suas etapas: um estudo de caso no Rio de Janeiro. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, (39), 80-96. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-9478201613514>. 2016.
- [15]. COSTA, 2013. Clínquer Portland com reduzido impacto ambiental. *Ambiente Construído*, 13(2), 75–86.
- [16]. DELBEQ, A. and VAN de, A. “Nominal group techniques for involving clients and resource experts in program planning,” *Academy of Management Proceedings*, Vol. 1970 No. 1, pp. 208-227, 1970.
- [17]. DENG, H. Assessment of influence of self-healing behavior on water permeability and mechanical performance of ECC incorporating superabsorbent polymer (SAP) particles, *Construction and Building Materials*, volume 170, 455-465. 2018.
- Diapers. *Process Safety and Environmental Protection* 123 (2019) 116–129
- [18]. EDANA. SUSTAINABILITY REPORT, 2015. Disponível em: https://www.edana.org/docs/default-source/sustainability/edana-sustainability-report---2015.pdf?sfvrsn=e58c600a_2. Acessado em: 20/07/2021.
- [19]. ELLIOT, M. Product Development Scientist for SAP, BASF Aktiengesellschaft, 2010. Disponível em: http://chimianet.zefat.ac.il/download/Super-absorbant_polymers.pdf. Acessado em: 10/07/2021.
- [20]. FIRAT, A.K. et al., “Technological forecasting: a review,” *Composite Information Systems Laboratory*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2008.
- [21]. FRANCESCA, G. Removal of ammonia using Ca-P (calcium polymer) from wastewaters produced in the recycling of disposable diapers. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, volume 19, issue 1 (2017).
- [22]. FRATERNALI, F. *Composites Part B* 115 (2017) 409-422. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. 2017.
- [23]. GOMES, 2017. CO-PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO BRASIL

- [24]. GRAND VIEW RESEARCH. Adult Diapers Market Size, Share & Trends Analysis Report by Type (Tape on Diapers, Pant/Pull-Up Type, Pad Type), By Region (North America, Europe, APAC, LATAM, MEA), And Segment Forecasts, 2019 – 2025. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/adult-diapers-market>.
- [25]. HADI, S. Reducing adsorption of anionic surfactant for enhanced oil recovery: Part I. Competitive. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, volume 453 (2014)
- [26]. HALEEM, A. et al. Technology forecasting (TF) and technology assessment (TA) methodologies: a conceptual review. *Benchmarking*. Vol. 26, Issue 1, Pages 48 - 7211, 2018.
- [27]. HAQUE, E. et al, “Technology forecasting: Indian perspective,” *International Journal of Sustainable Development and Green Economic*, Vol. 2 No. 1, pp. 6-10, 2013
- [28]. HIDEAKI, I. Recycling disposable diaper waste pulp after dehydrating the superabsorbent polymer through oxidation using ozone. *Journal of Cleaner Production* (2020).
- [29]. HUANG, L. et al., “Four-dimensional science and technology planning: a new approach based on bibliometrics and technology road mapping,” *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 81, pp. 39-48, 2014
- [30]. ICLEI. MANUAL PARA APROVEITAMENTO DE BIOGAS, VOL 1 – ATERROS SANITÁRIOS. 2009.
- [31]. IPP. Disponível em: <https://www.data.rio/documents/PCRJ::principais-caracteristicas-do-lixo-domicilar-composi%C3%A7%C3%A3o-gravim%C3%A9trica-percentual-peso-espec%C3%ADfico-e-teor-de-umidade-segundo-as-%C3%A1reas-de-planejamento-ap-do-munic%C3%ADpio-do-rio-de-janeiro-entre-1995-2019/about>. Acessado em: 05/10/2021. 2019.
- [32]. ITSUBO, N. Life Cycle Assessment of the Closed-Loop Recycling of Used Disposable Diapers. *Resources Natural Resources and Management*, volume 9, issue 3 (2020)

- [33]. JEGOROVA, A. and KUZNECOVA, O. Information Technology Roadmap: A Strategic Business Tool. 61st International Scientific Conference on Information Technology and Management Science of Riga Technical University, ITMS, 2020.
- [34]. JIAHUI, S. Recovery of nickel from aqueous solutions by complexation-ultrafiltration process with sodium polyacrylate and polyethylenimine”, *Journal of Hazardous Materials*, volume 244-245 (2013)
- [35]. KAMAT M., MALKANI R. et al. *Indian Journal of Pediatrics*, Volume 70--November 2003. Disposable Diapers - A Hygienic Alternative, 2003.
- [36]. KHOO, S. C. et al. *Process Safety and Environmental Protection* 123 (2019) 116–129. Recent technologies for treatment and recycling of used disposable baby diapers. 2019.
- [37]. Kiatkamjornwong, 2007. Superabsorbent Polymers and Superabsorbent Polymer Composites. *Science Asia* 33 Supplement 1.
- [38]. KIVIKUNNAS, S. “Overview of process trend analysis methods and applications,” *ERUDIT*, 1998
- [39]. Krafchrik, 2016. History of diapers and diapering. *International Journal of Dermatology* 2016, 55
- [40]. KUMAR, S., LUTHRA, S. and HALEEM, A. “Benchmarking supply chains by analyzing technology transfer critical barriers using AHP approach,” *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 22 No. 4, pp. 538-558, 2015.
- [41]. LEE, TJ. Studies on the Recovery of Useful Materials from Disposable Diaper Waste using Pilot Stock Preparation Units. *Journal of Korea Technical Association of The Pulp and Paper Industry*, Volume 47 Issue 4, Pages.66-75, 2015.
- [42]. LEVARY, R.R. and HAN, D. “Choosing a technological forecasting method,” *Industrial Management-Chicago then Atlanta*, Vol. 37, pp. 14-24, 1995.
- [43]. LIXIA, P. Preparation and selective adsorption of core–shell desiccant for heat and moisture recovery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, volume 406, issue none (2012).
- [44]. LOUREIRO A.M.V. et al. The technology roadmapping method and its usage in Chemistry. *Journal of Technology Management and Innovation*, V.5, Issue 3, 181 - 191, 2010
- [45]. MA, 2019. Recent technologies for treatment and recycling of used disposable baby

- [46]. MA, X. Journal of Polymer Research (2020) 27,136. Development history and synthesis of super-absorbent polymers: a review. 2020.
- [47]. MACHADO, F. et al. Uma Revisão Sobre os Processos de Polimerização em Suspensão.
- [48]. MADNICK, S. and WOON, W.L., “Technology forecasting using data mining and semantics,” MIT/MIST Collaborative Research, Cambridge, MA, 2009.
- [49]. MAHER, A.J. Recovery of hydrogel from baby diaper wastes and its application for enhancing soil irrigation management. Journal of Environmental Management, volume 239 (2019).
- [50]. MAKARICHI, L. Renewable and Sustainable Energy Reviews 91 (2018) 812–821. The evolution of waste-to-energy incineration: A review. 2018.
- [51]. MANO, H. 1999. Introdução a polímeros, 2ª edição. Editora Blucher. 1999.
- [52]. MAYERHOFF, Z.D.V.L. et al. Cadernos de Prospecção vol 1, n. 1, 7 – 9. Uma Análise Sobre os Estudos de Prospecção Tecnológica. 2008.
- [53]. Mingzhu, 2000. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite.
- [54]. MORAES, A. A Utilização da Matriz Swot como Ferramenta Estratégica - um Estudo de Caso em uma Escola de Idioma de São Paulo
- [55]. MOYA, D. Energy Procedia, 134, 286–295. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. 2017.
- [56]. NASRIN, M. Simple and efficient approach for recycling of fine acrylic-based superabsorbent waste. Polymer Bulletin, volume 73, issue 4 (2016).
- [57]. NAVARRO, P. Hydrogen from Dark Fermentation of the Organic Fraction of Waste Diapers: Optimization Based on Response Surface Experiments. Frontiers in Energy Research, volume 9, article 630212. 2021.
- [58]. NIELSEN, 2015. Estudo global de produtos de cuidados com o bebê. Tendências nos mercados de comidas para bebê e fraldas ao redor do mundo. Disponível em: https://www.nielsen.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/Global_Baby_Care_Report_2015.pdf. Acessado em: 01/10/2021.

- [59]. NONWOVENS INDUSTRY, Disponível em: https://www.nonwovens-industry.com/issues/2012-12/view_breaking-news/asia-to-account-for-over-50-of-global-nonwoven-fabric-production-by-2020/ - acessado em 04/10/2021. 2021.
- [60]. OLIVEIRA, M.L. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 4, p. 297-304. Pirólise de Resíduos Poliméricos Gerados por Atividades Offshore. 2009.
- [61]. OMIDIAN, H., ZOHURIAAN-MEHR, M.J. European Polymer Journal 39 (2003) 1013–1018. Polymerization of sodium acrylate in inverse-suspension stabilized by sorbitan fatty esters. 2002
process with the organic fraction of municipal solid waste. Waste Management 33 (2013) 1097–1103.
- [62]. RESEARCH AND MARKETS. Potential of Biopolymers and Recycled Synthetic Fibres to Create Sustainable Nonwovens for Absorbent Hygiene Products (AHPs). Disponível em: [https://www.researchandmarkets.com/reports/5313451/potential-of-biopolymers-and-recycled-synthetic?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=7bg6qn&utm_campaign=1538984+-+Global+Absorbent+Hygiene+Products+\(AHPs\)+Market+Report+2021+-+Potential+of+Biopolymers+and+Recycled+Synthetic+Fibres+to+Create+Sustainable+Nonwovens+&utm_exec=chdo54prd](https://www.researchandmarkets.com/reports/5313451/potential-of-biopolymers-and-recycled-synthetic?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=7bg6qn&utm_campaign=1538984+-+Global+Absorbent+Hygiene+Products+(AHPs)+Market+Report+2021+-+Potential+of+Biopolymers+and+Recycled+Synthetic+Fibres+to+Create+Sustainable+Nonwovens+&utm_exec=chdo54prd) – Acessado em 28/07/21
- [63]. RIBEIRO, N. M., Série Prospecção Tecnológica, PROFIT. 2018.
- [64]. ROSS, D. CO₂-Responsive Superabsorbent Hydrogels Capable of >90% Dewatering When Immersed in Water. ACS Appl. Polym. Mater. 2021, 3, 4, 2153–2165. 2021.
- [65]. SÁNCHEZ, 2013. Performance of compostable baby used diapers in the composting
- [66]. SANTOS, M. et al. Prospecção de tecnologias do futuro: métodos, técnicas e abordagens. Parcerias Estratégicas, n. 19, p. 189-224, 2004. Disponível em <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/253/247>. Acesso em 08 set. 2021.

- [67]. SANTOS, Rodrigo. Polímeros superabsorventes: processos de produção, aplicações e mercado. 2015. 218. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2015.
- [68]. SENFF, 2015. Development of mortars containing superabsorbent Polymer. Construction and Building Materials, volume 95
- [69]. SHIUNG, L. Microwave pyrolysis valorization of used baby diaper. Chemosphere, (2019).
- [70]. SOLY, S. Superabsorbent recycling for process water recovery. Chemical Engineering Journal Advances. Volume 6. 2021.
- [71]. SOMERS, M.J. Journal of Cleaner Production, 2021. Feasibility of superabsorbent polymer recycling and reuse in disposable absorbent hygiene products. 2021.
- [72]. SONG, W. Disposable baby diapers waste derived catalyst for synthesizing glycerol carbonate by the transesterification of glycerol with dimethyl carbonate. Journal of Cleaner Production, (2018).
- [73]. SONG, Z. A disposable diaper in an N95 respirator. JAAD ONLINE THERAPEUTIC PEARL| VOLUME 84, ISSUE 5, 229-230. 2020
- [74]. SOUSA, 2018. TRATAMENTO FINAL DOS RESÍDUOS COSMÉTICOS DESTINADOS AO COPROCESSAMENTO
- [75]. SUBHAS, S. Effect of Fertilizer Loaded Nanoclay/Superabsorbent Polymer Composites on Nitrogen and Phosphorus Release in Soil. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, volume 85, issue 2 (2015)
- [76]. SURESH, S. Effect of supercritical CO₂ on the dehydration of polyacrylamide-based super-absorbent polymer used for water management. Fuel, Volume 224, 628-636
- [77]. TAKAYA, C.A. Offensive waste valorization in the UK: Assessment of the potentials for absorbent hygiene product (AHP) recycling. Waste Management, volume 88 (2019).
- [78]. TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. et al. Handbook of solid waste management, 2nd edition. The McGraw-Hill Companies. 2002.

- [79]. TECNOSIL, 2021. <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-cura-de-concreto-e-como-fazer-uma-cura-eficiente/> acessado em 25/08/2021
- [80]. TEIXEIRA, 2013. Prospecção Tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrado.
- [81]. TORRETTA, 2017. Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. (2018). Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. *Waste Management*, 71, 556–564.
- [82]. TRILOKESH, C. Waste and Biomass Valorization <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01312-x>. Recycling Baby Diaper Waste into Cellulose and Nanocellulose. 2020.
- [83]. TSIGKOU, K. Pretreatment of used disposable nappies: Super absorbent polymer deswelling. *Waste Management*, volume 112 (2020)
- [84]. UNICHARM, 2021. <https://www.unicharm.co.jp/en/csr-eco/education/note-02.html>. Acessado em 29/08/2021.
- [85]. VÁZQUEZ-MORILLAS, 2014. Biological recycling of used baby diapers in a small-scale composting system. *Resources, Conservation and Recycling* 87 (2014) 153–157
- [86]. WANG, A. et al. Superabsorbent Materials, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc, 2000
- [87]. WANG, A. et al. Superabsorbent Materials, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc, 2000
- [88]. WEI, C. Microwave-Assisted Hydrothermal Decomposition of Super Absorbent Polymers. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, (2020)
- [89]. Workshop on Applications in Pulp and Paper Industry, Sauli Kivikunnas University, Oulu.
- [90]. Xiaofang Ma, 2020. Development history and synthesis of super-absorbent polymers: a review. *Journal of Polymer Research*, volume 27, issue 6.
- [91]. YOUNG & LOVELL. Introduction to polymers. CRC Press. 2011.
- [92]. Zohuriaan-Mehr, 2002. Polymerization of sodium acrylate in inverse-suspension stabilized by sorbitan fatty esters. *European Polymer Journal*, volume 39, issue 5.

- [93]. ZOHURIANN-MEHR, J. M. et al. Advances in non-hygienic applications of superabsorbent hydrogel materials. 2010.
- [94]. ZOHURIANN-MEHR, J. M. et al. Superabsorbent polymer materials: a review. Iranian Polymer Journal, V. 17, pp. 451-477, 2008.