Aspectos logísticos associados ao uso da biomassa residual como matéria-prima para produção de etanol no Brasil

Erica Batista do Pilar

Projeto de Final de Curso

Orientadora

Prof[a]. Flávia Chaves Alves, DSc

Rio de Janeiro

Abril de 2014

ASPECTOS LOGÍSTICOS ASSOCIADOS AO USO DA BIOMASSA RESIDUAL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL

Erica Batista do Pilar

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Engenheira Química.

Aprovado por:

_____

Prof. Estevão Freire, DSc.

_____

Prof. Fábio de Almeida Oroski, DSc.

_____

Victoria Emilia Neves Santos, MSc.

Orientado por:

_____

Prof.ª Flávia Chaves Alves, DSc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Abril de 2014

do Pilar, Erica Batista.

Aspectos logísticos associados ao uso da biomassa residual como matéria-prima para produção de etanol no Brasil / Erica Batista do Pilar.

vii, 117 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014.

Orientadora: Flávia Chaves Alves

1. Logística 2. Resíduos Agrícolas 3. Etanol Celulósico
4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ) 5. Flávia Chaves Alves.
6. Aspectos Logísticos Associados Ao Uso Da Biomassa Residual Como Matéria-Prima Para Produção de Etanol no Brasil

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Químico.

ASPECTOS LOGÍSTICOS ASSOCIADOS AO USO DA BIOMASSA RESIDUAL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL

Erica Batista do Pilar

Abril/2014

Orientadora: Prof[a]. Flávia Chaves Alves, DSc

O presente trabalho trata de uma análise das principais influências logísticas no uso da biomassa dos resíduos agrícolas na produção de etanol, bem como uma análise sobre a relação dos fatores logísticos determinantes para o desenvolvimento deste mercado no cenário brasileiro. Ciente da importância estratégica do etanol para o desenvolvimento de biorrefinarias, esse estudo buscou encontrar oportunidades para o etanol brasileiro a partir de um enfoque global, com a elaboração de dois possíveis cenários de estrutura logística para o etanol de segunda geração. Os resultados para os possíveis cenários apresentados do setor sucroalcooleiro indicam a importância da logística, podendo trazer economias significativas ao segmento, de forma a gerar vantagens competitivas por meio do reajuste entre a oferta e a demanda. Tais oportunidades podem trazer reduções nos investimentos necessários para o atendimento da demanda brasileira de etanol que, do ponto de vista logístico, deixa o sua produção/comercialização/cadeia menos custosa, como por exemplo, o investimento necessário em tancagem. Acredita-se que os estudos na área logística deste sistema agroindustrial ainda podem trazer muitas melhorias ao sistema como um todo, reduzindo os custos logísticos e contribuindo para o desenvolvimento do setor.

Palavras-chave: Logística, Resíduos Agrícolas, Etanol Celulósico, Monografia (Graduação – EQ), Flávia Chaves Alves

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO 1

I.1. Objetivos 4
I.2. Estrutura do Trabalho 5

II. GESTÃO LOGÍSTICA 7

II.1.1. Transporte 9
II.1.1.1. Custos de Transporte 11
II.1.1.2. Nível de Serviço 12
II.1.2. Manutenção de Estoques 14
II.1.3. Localização 22
II.1.4. Variáveis a serem analisadas 28

III. RESÍDUOS AGRÍCOLAS 30

III.1. Setor sucroalcooleiro 35

IV. INFRAESTRUTURA BRASILEIRA 50

IV.1. Infraestrutura Atual 54
IV.1.1. Modal Rodoviário 54
IV.1.2. Modal Ferroviário 59
IV.1.3. Modal Hidroviário 62
IV.1.4. Modal Dutoviário 65
IV.1.5. Comparação entre os modais de transportes 67
IV.2. Infraestrutura Futura 69

V. REDE LOGÍSTICA 73

V.1. Caso Raízen (Cenário 1) 74
V.1.1. Suprimento 76
V.1.2. Distribuição 81
V.2. Caso GranBio (Cenário 2) 87
V.2.1. Suprimento 91
V.2.2. Distribuição 94
V.3. Comparação Qualitativa das Influências Logísticas 95
V.3.1. Suprimento 97
V.3.1.1. Transporte 97
V.3.1.2. Manutenção de Estoques 99
V.3.1.3. Localização 100
V.3.2. Distribuição 102
V.3.2.1. Transporte 102
V.3.2.2. Manutenção de Estoque 103
V.3.2.3. Localização 105
V.3.3. Comparação de toda rede logística 106

VI. CONCLUSÃO 108

VI.1. Recomendações 109

VII. BIBLIOGRAFIA 111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação do transporte de 6 mil toneladas por diferentes modais..... 13
Figura 2 – Dinâmica de Estoque para cenário com e sem incerteza 16
Figura 3 – Comparação de diferentes tamanhos de estoque..... 17
Figura 4 – Análise de custos para definição do lote econômico 21
Figura 5 – Comparação entre uma rede logística centralizada e descentralizada 23
Figura 6 – Análise do custo total com transporte de acordo com o número de armazéns 26
Figura 7 – Separação da palha na colheita mecanizada..... 33
Figura 8– Separação da palha na colheita mecanizada..... 36
Figura 9 - Projeção até safra 2022/2023 da área plantada de cana-de-açúcar..... 37
Figura 10 – Projeção até safra 2023/2024 do destino da cana-de-açúcar brasileira..... 38
Figura11 – Projeção até safra 2022/2023 da produção de etanol..... 39
Figura 12 – Mapa brasileiro da localização regional das usinas de cana-de-açúcar 40
Figura13 – Representatividade regional sobre a produção de etanol em m³/dia..... 40
Figura14 – Quantidade de usinas versus capacidade média por região 41
Figura 15 - Mapa brasileiro da localização estadual das usinas de cana-de-açúcar..... 42
Figura16 – Capacidade total versus capacidade média de produção de etanol por estado (m³/dia) 43
Figura17– Sazonalidade da produção de etanol para a região Centro-Sul..... 44
Figura18–Sazonalidade da produção de etanol para a região Norte-Nordeste..... 45
Figura19– Preço em dólar (US$) do etanol..... 45
Figura 20 -Representatividade da matriz de transporte brasileira 50
Figura 21 - Evolução do percentual do PIB brasileiro investido em transporte..... 54
Figura 22– Condição da malha rodoviária brasileira 55
Figura 23 – Matriz com origem/destino do etanol, em 1000 m³, e modais utilizados. .. 57
Figura 24–Possíveis configurações de veículos-tanque, sendo (a): Carreta Tanque e (b): Bitrem..... 58
Figura25 – Competição do modal de transporte segundo a distância percorrida e peso de carga..... 59
Figura 26 – Malha ferroviária existente no Brasil, sendo (a): malha total e (b):com transporte de etanol..... 61
Figura 27– Malha hidroviária existente no Brasil, sendo (a): malha total e (b): com transporte de etanol..... 63
Figura 28–Equipamento de transporte hidroviário: empurrador e barcaça 64
Figura 29–Malha brasileira de oleodutos com destaque para os dutos que são capazes de transportar etanol. 66
Figura 30– Mapa de previsão da nova infraestrutura brasileira para 2020 70
Figura 31–Mapa do Sistema Logístico Multimodal da Logum..... 72
Figura 32–Fluxos logísticos da cadeia do sistema sucroalcooleiro..... 73
Figura 33–Rede Logística do Cenário 1..... 76
Figura 34– Fluxo de Suprimento do Cenário 1 76
Figura 35– Ilustração do comportamento da produção de etanol via primeira geração e cana convencional..... 79
Figura 36– Ilustração do comportamento de produção de etanol para o Cenário 1. 79
Figura 37– Comparação entre a diferença dos pontos de maior e menor produção para com e sem o uso da segunda geração no Cenário 1..... 80
Figura 38–Fluxo de Distribuição no Cenário 1 81

Figura 39–Diferença entre os comportamentos de demanda e produção de etanol via primeira geração e cana convencional 84
Figura 40– Comparação entre a produção e o consumo de etanol para com e sem o uso da segunda geração no Cenário 1. 85
Figura 41– Características da cana Vertix. 89
Figura 42–Rede Logística do Cenário 2 90
Figura 43–Ilustração do comportamento de produção de etanol para o Cenário 2 93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Critério de prioridade de nível de serviço e custo para diferentes modais ... 14
Tabela 3 – Disponibilidade de resíduos agrícolas nas principais safras brasileiras em 2013 ... 31
Tabela 4 – Composição dos resíduos agrícolas ... 35
Tabela 5 – Dados de capacidade dos principais estados produtores de etanol ... 43
Tabela 6 – Degradação do bagaço da cana-de-açúcar, em J/g, ao longo de 150 dias ... 48
Tabela 7 – Comparação entre modais no Brasil e nos EUA ... 51
Tabela 8 - Caminhões utilizados no transporte de cana-de-açúcar ... 56
Tabela 9 – Velocidade média (km/h) para diferentes tipos de condições de operação. . 56
Tabela 10 – Extensão da malha ferroviária existente no Brasil ... 60
Tabela 11–Malha brasileira de oleodutos que são capazes de transportar etanol ... 66
Tabela 12–Exemplos de preço para transporte dutoviário tabelado em 2014 e condições operacionais ... 67
Tabela 13–Comparativo entre os modais com as potenciais cargas a movimentar do setor sucroalcooleiro ... 68
Tabela 14–Comparativo entre os modais em relação a formação de estoque e ponto de transbordo ... 69
Tabela 15- Premissas do mercado de etanol e outros combustíveis para o cálculo de tancagem e seu respectivo custo de investimento. ... 86
Tabela 16 – Principais características dos produtos do setor sucroalcooleiro que impactam a logística ... 97
Tabela 17– Principais variáveis logísticas que afetam a cadeia de suprimento. ... 102
Tabela 18– Principais variáveis logísticas que afetam a cadeia de distribuição. ... 106
Tabela 19– Principais variáveis logísticas que afetam a cadeia de suprimento e distribuição. ... 107

I. Introdução

Nos últimos anos, observam-se grandes esforços visando o aproveitamento de coprodutos e de resíduos agrícolas como matéria-prima para a indústria química e de biocombustíveis (VAZ JR., 2012). Um dos objetivos desses esforços é agregar valor às cadeias agroindustriais, integrando-as à indústria química com o objetivo de constituir cadeias de valor similares àquelas existentes a partir de derivados do petróleo, que fornecem insumos e produtos finais a diversos setores da economia.

Outro fator apontado por Vaz Jr. (2012), é a redução de possíveis impactos ambientais gerados pelas cadeias agrícolas de modo a se ter um menor impacto ao meio ambiente comparativamente à cadeia de petroquímica. Essa busca pela redução dos impactos ambientais tem embasamento histórico, no qual uma série de conceitos tem surgido em prol de um futuro em que se consiga conciliar os diversos fatores nos âmbitos ambiental, social e econômico.

Desde a década de 70, segundo Marengo e Soares (2003), reduções dos níveis de água em lagos e rios, a inversão térmica e as ilhas de calor começaram a despertar um interesse crescente na comunidade científica sobre a possibilidade de mudanças climáticas em escala mundial. Nessa época, a maioria dos países pensava que o meio ambiente era uma fonte inesgotável de recursos naturais; por isso a Organização das Nações Unidas (ONU) decidiu organizar uma convenção para o início do debate. As discussões se iniciaram na Conferência de Estocolmo, na qual se introduziu na agenda política internacional a tentativa de conciliar as relações do homem com o meio ambiente (STOCKHOLM, 1972).

Como resultado subsequente desses debates, em 1988, estabeleceu-se o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática - IPCC. Segundo a ONU (2012), este tem o objetivo de fornecer a toda sociedade informações científicas a respeito das mudanças climáticas, seus impactos ambientais e socioeconômicos, bem como a formulação de soluções estratégicas. No lançamento do primeiro relatório, em 1990, ocorreu um enorme impacto mundial, uma vez que emergia a tendência de associar a ação humana com as mudanças no planeta. Para Porter (2007), a divulgação de tal relatório teve grande repercussão econômica e política, que ultrapassou os aspectos ambientais e

influenciou em decisões futuras. O autor ressalta que a mudança climática "[...] é agora um fato da vida política e está desempenhando um crescente papel na competitividade dos negócios".

Uma das influências que se teve foi a intensificação do conceito de sustentabilidade. Seu significado está atrelado a crescer economicamente, de forma a não comprometer os recursos naturais, e trazer valor aos *stakeholders* envolvidos, ou seja, sociedade, empresa e seu entorno (ILOS, 2011). A abordagem teórica sobre a avaliação de desempenho é o *triple bottom line*, que consiste nos pilares ambiental, social e econômico. Atualmente, para serem consideradas sustentáveis, as empresas devem considerar o seu desempenho em cada um desses pilares, e não apenas focar em um deles.

Seguindo a linha de raciocínio pela busca de práticas sustentáveis, a indústria química, em seus diversos ramos de atuação, começou a ter uma visão diferente sobre produtos e processos químicos. Essa nova maneira originou a Química Verde e também a Bioeconomia, que indiretamente seguem a abordagem do *triple bottom line* de conciliar a evolução econômica com seu entorno (ALMEIDA M. F., 2012). Uma de suas principais propostas é a busca por fontes renováveis, tanto para geração de energia quanto para servir como matéria-prima industrial.

A mudança está sendo realizada tendo em vista o possível cenário de escassez nas reservas globais das principais matérias-primas da indústria química, que são provenientes do petróleo e gás natural, uma vez que estes não são renováveis. No entanto, para a troca dessa matéria-prima, na maioria dos casos, é necessário no mínimo uma adaptação da cadeia produtiva, ou até a formulação de uma nova cadeia. Isso faz com que se necessite de novos conhecimentos, o que poderá acarretar em altos investimentos.

Outro aspecto que também pode ser enfatizado para a nova visão na indústria química são os subprodutos. Antes eram simplesmente descartados, muitas vezes sem nenhuma regulamentação e com alto potencial para impactos ambientais (REBELATO et al, 2013). Pela nova óptica dos processos, há duas formas de encará-los, como rejeito ou como um produto secundário. Olhando pela primeira vertente há necessidade de uma política para tentar reduzir sua produção, seguido de um plano adequado de descarte a

fim de minimizar problemas de sua geração. Já pela segunda forma, encarando-o como um produto, mesmo que secundário, pode-se aumentar a receita e rentabilidade da indústria, mostrando-se uma via atrativa quando viável economicamente.

Para Cesar (2009), exemplos de tecnologias que utilizam materiais antes vistos como resíduos são as iniciativas sobre o etanol de segunda geração. Essa iniciativa consiste em extrair o álcool de celulose do bagaço e da palha da cana-de-açúcar no intuito de ampliar a produtividade do etanol de cana. O objetivo é aproveitar esses resíduos agrícolas, que antes não eram convertidos em biocombustíveis, resultando em mais etanol por área plantada. A empresa GranBio, do grupo GranInvestimentos S.A, foi a primeira empresa brasileira a anunciar uma planta comercial de etanol de segunda geração (GRANBIO, 2013). A localização escolhida foi no município de São Miguel dos Campos (AL) e a previsão é que esta planta entre em operação em meados de 2014. Outra empresa que também começou a construção de sua planta comercial de segunda geração foi a Raízen, do Grupo Cosan, tendo como localização Piracicaba (SP) e previsão para operar no final de 2014.

O desafio atual de iniciativas como essas é obter um desenvolvimento de processos ecologicamente corretos e, ao mesmo tempo, ser viável economicamente. Para alcançar tal objetivo, intensificou-se uma corrida no desenvolvimento de práticas sustentáveis e na minimização de seus custos. No entanto, de acordo com o Instituto ILOS (2011), as empresas ainda se deparam com entraves na implementação de procedimentos sustentáveis na cadeia de suprimentos e distribuição das indústrias.

Ainda de acordo com pesquisas feitas pelo Instituto ILOS (2011), a principal desvantagem para uso de técnicas sustentáveis na cadeia de suprimentos e distribuição é o alto custo. Este, por sua vez, pode ser encarado como uma consequência de outros fatores, como por exemplo, falta de *expertise*, falta de incentivos do governo e dificuldades de equilibrar a oferta com a demanda (ILOS, 2011). Isso remete a uma relação de causa e efeito, em que a solução para a raiz primária dos entraves, o custo, seja a solução de suas raízes secundárias, como os fatores listados. Estas, por sua vez, irão variar de acordo com o nicho em questão, no qual haverá particularidades para cada mercado estudado.

Os setores agrícola e florestal são as principais fontes para as novas matérias-primas renováveis. Porém, esses setores possuem dificuldades na conciliação com a produção de alimentos e na estruturação de sua oferta com a demanda para o uso industrial, que se caracterizam como suas raízes secundárias (FROHLING et al, 2011). Principalmente na estruturação da oferta com a demanda, é possível visualizar impasses entre as características destas fontes, que estão sob influência das condições naturais, com as características desejáveis para a cadeia de suprimento industrial , que necessita de características mais constantes.

Isso significa estruturar uma logística adequada capaz de armazenar, controlar e movimentar produtos com operações como cultivo, colheita e por sua vez o fornecimento da matéria-prima que se fundamenta em restrições e altas variações sazonais. Deve-se considerar também que, em contrapartida, a demanda de matéria-prima para o uso industrial e do produto para o mercado consumidor apresentam um comportamento mais contínuo ao longo do ano.

O etanol, tanto de primeira geração quanto de segunda geração, está inserido nesse contexto do setor agrícola e sua matéria-prima, a cana-de-açúcar, possui grande volume e baixo valor agregado o que dificulta a sua estruturação logística, conforme será debatido ao longo desse trabalho. A escolha de um nicho agrícola, o uso do bagaço e da palha da cana-de-açúcar na indústria sucroalcooleira, se deu tendo em vista uma alta variabilidade nas propriedades dos materiais inseridos no contexto agrícola, que traz como consequência grandes diferenças nas questões relativas à mobilidade da biomassa envolvida, que serão discutidas ao longo dos capítulos.

Além disso, outra característica importante é que grande parte da localização das unidades produtoras desse nicho estão distantes dos portos e do mercado interno, o que gera dependência do escoamento com as infraestruturas logísticas. Com isso, percebe-se a importância de um estudo sobre a estruturação logística desse setor de forma a analisar sua viabilidade econômica e seus impactos ambientais.

I.1. Objetivos

Na tentativa de melhor entender as influências logísticas no uso de resíduos agrícolas, este trabalho tem como objetivo principal analisar a relação dos fatores

logísticos determinantes para o uso da biomassa na produção de etanol de segunda geração no cenário brasileiro.

Para atender a este objetivo, serão apresentados os principais conceitos logísticos de forma a identificar quais os fatores determinantes para uma análise inicial de viabilidade do uso dessa biomassa como matéria-prima. Além disso, será apresentada a infraestrutura brasileira e como esta interfere positivamente e negativamente nessa logística.

I.2. Estrutura do Trabalho

Esse estudo se estrutura na análise descritiva da logística e da atual disponibilidade de resíduos agrícolas no mercado brasileiro, que serve como ferramenta para o levantamento e validação de variáveis relevantes para propor uma melhor forma de estruturar a cadeia de suprimento e distribuição. Sendo assim, o trabalho está estruturado em quatro capítulos, além desta introdução.

No segundo capítulo, é realizada primeiramente uma revisão bibliográfica da Gestão Logística, analisando esse tema através dos fatores transporte, manutenção de estoques e localização. Engloba também outras análises que permitam separar, de forma empírica, um número de variáveis mais relevantes que possam ser utilizados como *inputs* do modelo logístico. Ainda no segundo capítulo é realizada uma contextualização dos resíduos agrícolas obtidos em território nacional, além de um detalhamento a respeito das principais características do mercado do etanol, que é o foco principal do presente trabalho.

A infraestrutura logística brasileira compõe o terceiro capítulo desse trabalho. Sua análise se dá pela abordagem da atual situação brasileira dos principais modais, bem como de uma comparação entre eles. Ainda nesse capítulo, são listadas infraestruturas futuras já previstas que poderão impactar o setor sucroalcooleiro.

Com base em casos de empresas no Brasil, que estão construindo suas usinas de etanol a partir de bagaço e palha de cana-de-açúcar, o quarto capítulo propõe possíveis redes logísticas tendo os resíduos agrícolas como matéria-prima. Além disso, é feita uma comparação das influências logísticas nessas possíveis redes, bem como os impactos devido às diferenças regionais.

Por último, o quinto capítulo dedica-se ao fechamento deste estudo, incluindo também as limitações do mesmo.

II. Gestão Logística

De forma a alinhar os conceitos e definições que influenciarão a continuidade deste trabalho, o atual capítulo é em relação aos principais conceitos atrelados à gestão logística e suas implicações.

Ballou (2006), um autor influente no ramo de logística e a qual o presente estudo irá essencialmente se fundamentar, definiu a logística como sendo "[...] o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes". Isso significa que logística é um conjunto de atividades relacionadas ao fluxo de materiais e informação, que converte a matéria-prima até um produto que tenha valor ao cliente.

O valor dos produtos, pela visão de Novaes (2001), pode ser dividido em quatro quesitos: forma, tempo, espaço e posse. A forma é criada pela área de produção à medida que transforma insumos em produtos acabados e a posse é criada pela área de marketing ou por condições de venda, como preço e disponibilidade de crédito. Por fim, os quesitos tempo e espaço manifestam o valor da logística nos fluxos de materiais e informações. Isso significa que produtos e serviços não têm o mesmo valor se não estiverem em poder dos clientes quando (quesito tempo) e onde (quesito espaço) estes pretendem consumi-los (NOVAES, 2001).

Fluxos de materiais e informações, segundo Ballou (2006), podem ser visualizados como canais de ligação entre as matérias-primas, fábricas e pontos de venda. No primeiro canal de ligação considera-se a lacuna de tempo e espaço entre as fontes materiais e seu ponto de processamento, chamado canal físico de suprimento. O outro canal, do ponto de processamento aos consumidores é chamado de canal físico de distribuição.

As atividades a serem gerenciadas e os componentes dos sistemas logísticos nos canais variam de acordo com cada organização e a localização geográfica na qual está inserida. No entanto, alguns pontos são críticos para o cumprimento dos objetivos logísticos de forma eficiente e eficaz. Dentro desses pontos chave tem se o transporte e a manutenção de estoques. O transporte agrega valor de local aos produtos e serviços,

enquanto a manutenção de estoques agrega-lhes o valor de tempo sendo, portanto, essenciais para gerar valor logístico ao produto (BALLOU, 2006).

Ainda segundo ao autor, o planejamento logístico busca responder às perguntas sobre quando e como, normalmente visando pelo menos um dos os principais objetivos que são a redução de custos, redução de capital e melhoria de serviços. A redução de custos está voltada para o enxugamento dos custos logísticos variáveis para um mesmo nível de serviço. A redução de capital é a redução do nível dos investimentos nos sistemas logísticos, por exemplo, a escolha de um menor espaço de armazenagem, a terceirização e etc. Já a melhoria dos níveis de serviço tende a aumentar os custos, porém a receita poderá crescer relativamente, fazendo os lucros aumentarem.

Autores como Ballou (2006) e Lambert (2001) defendem um estudo sistematizado da gestão logística em que há um planejamento para lidar com as decisões a serem tomadas de acordo com objetivos, conceitos e princípios da empresa. Esse estudo tem como molde um triângulo de decisão primário, no qual devem ser feitas decisões a respeito da localização, manutenção de estoque e transporte, sendo o nível de serviço aos clientes consequência desses três fatores, que serão detalhados mais a frente assim como suas análises.

Os quesitos localização e transporte agregam valor de espaço uma vez que são utilizados para disponibilizar a mercadoria onde existe a demanda potencial, visando atender aos objetivos logísticos de entregar o produto certo, na quantidade certa, no lugar certo ao menor custo possível. Para isso, algumas análises devem ser feitas localização das instalações, seleção do modal, consolidação de fretes e programação de veículos.

Já a manutenção de estoques agrega valor de tempo, uma vez que seria impraticável produzir instantaneamente todos os produtos, servindo então como equilibrador entre a oferta e a demanda. Assim, é possível garantir a disponibilidade de itens de maior demanda, ao mesmo tempo em que se dá maior flexibilidade à produção. As análises para tal quesito são sobre a política de estocagem, previsão de vendas, assim como a quantidade, local e tamanho desses pontos de estocagem.

Vale ressaltar que pode haver diferenças de objetivos entre as áreas da empresa assim como no próprio triângulo de decisão. Um exemplo envolvendo duas diferentes

áreas da empresa é a distinção entre o cronograma ideal para geração do produto da área de produção e o cronograma ideal para o menor custo logístico tendo em vista a demanda ideal. Assim, deve se frisar que o triângulo de decisões tem problemas inter-relacionados e, portanto é importante que seu planejamento seja feito como uma unidade e não de forma segmentada (BALLOU, 2006).

Isso significa que os custos das várias atividades da organização frequentemente revelam características que se colocam em conflito mútuo, necessitando de uma análise de compensação que irá gerenciar esses conflitos de maneira que sejam coletivamente otimizados. Dessa forma, a opção mais adequada economicamente ocorre no ponto em que a soma de ambos os custos é mais baixa. Para Ballou (2006) "o conceito de custo total é a compensação de todos os custos que estão em conflito mútuo de custos e que podem afetar o resultado de uma determinada decisão logística".

Além disso, é possível pensar que as decisões tomadas por uma empresa em um canal de distribuição podem afetar os custos logísticos de outra firma. Mas incorporar todas as análises de compensação existentes demandaria muito tempo e esforço e para muitos casos não haveria uma alta sensibilidade do resultado final com a variação dos parâmetros. Assim, ficam limitados a um julgamento qualitativo os fatores a serem considerados relevantes e a decisão de incluí-los nas análises do modelo.

Debruçando-se mais a respeito dos três pilares que sustentam o estudo sistematizado do triângulo de decisões logísticas, a seguir serão detalhados os principais aspectos de cada um e suas análises consequentes.

II.1.1. Transporte

O transporte, para a maioria das organizações, representa a principal função em termos logísticos. Segundo Fleury (2010), o transporte representa em média 60% das despesas logísticas, 3,5% do faturamento, além de exercer influencias sobre a localização do armazém e dos níveis de estoque devido à dependência desses aspectos com o volume de cada remessa. Tais fatos ratificam seu papel vital para um bom planejamento, principalmente com produtos de baixo valor agregado em que há uma maior sensibilidade das despesas de transporte no faturamento da empresa.

Com o advento de serviços de transporte relativamente eficientes e baratos, a localização dos produtores e sua rede logística pode ser melhorada em âmbito nacional (CNT, 2003). Isso acontece, pois com um sistema de transporte pouco desenvolvido, o mercado fica limitado àquelas áreas geograficamente próximas da produção e do consumo. O desenvolvimento desse sistema, portanto, passa a permitir o desacoplamento dos mercados de seus pontos de produção, o que proporciona um alto grau de liberdade na seleção dos pontos de produção a fim de que se possa localizá-los onde quer que exista vantagem geográfica (FLEURY, 2010).

Um bom exemplo, dado por Ballou (2006), deste ganho oferecido pelo transporte à produtividade é o caso de leguminosas ou outros perecíveis. Devido à sazonalidade, boas condições de cultivo são encontradas apenas em determinadas épocas do ano em dada localização geográfica. No entanto, para alguns desses produtos os períodos sazonais são distintos para diferentes regiões geográficas, o que significa que estes estão sempre sendo produzidos em algum local. O transporte rápido a preços razoáveis coloca esses perecíveis no mercado em épocas de baixa produção local, isto é, nos quais não haveria como estar presente.

Ainda para Ballou (2006), as decisões que envolvem o planejamento de transporte podem ser classificadas em estratégicas ou operacionais. As decisões estratégicas se caracterizam pelos impactos de longo prazo e englobam quesitos como escolha de modais, decisões sobre propriedade da frota e política de consolidação de cargas. Já as operacionais são de curto prazo, e dentre as principais tem se o planejamento de embarques, programação de veículos e roteirização.

Como esse trabalho está voltado mais para o planejamento logístico estratégico, oferecendo uma visão amplificada do mesmo, serão aprofundadas as análises feitas para as decisões de longo prazo. A escolha por tal planejamento é ratificada pelo fato de que a influência dos custos de transporte nos aspectos financeiros de uma organização é capaz de estruturar e estabelecer limites de viabilidade de um serviço (FLEURY, 2010).

Segundo uma pesquisa feita por Figueiredo (2006), o custo de transporte está fortemente associado ao tipo de modal a ser utilizado para os serviços logísticos. Com relação a escolha de modais, há disponibilidade de cinco modais básicos para o transporte de cargas, sendo estes o rodoviário, ferroviário, hidroviário, aeroviário e

dutoviário. Cada um possui características próprias que os tornam mais adequados para operações e produtos específicos. Normalmente quanto maior o desempenho requerido em nível de serviço, maior tende a ser o custo do mesmo. Portanto, o critério de escolha deve considerar aspectos de custos e serviços separadamente, de modo a atingir o menor custo dentro do nível de serviço aceito pela operação (BALLOU, 2006). A seguir serão detalhados como se comportam os custos de transporte e os níveis de serviço gerados.

II.1.1.1. Custos de Transporte

Segundo Bowersox (1996), o custo de transporte varia bastante de acordo com o modal utilizado, havendo entre eles diferentes formas de cobrança, seja por tempo de operação, quilometragem, entre outros. Os custos de transporte são calculados a partir de sete fatores: distância, volume de carga, densidade, capacidade de acondicionamento, manuseio, responsabilidade e aspectos de mercado.

Detalhando um pouco mais os principais fatores que afetam os custos de transporte segundo Bowersox (1996), a distância é o fator de maior influência. Isso acontece por que a distância contribui diretamente nas despesas, as quais são função da quilometragem rodada, como mão de obra, combustível e manutenção da frota. O fator volume de carga influencia na existência de economias de escala, indicando que o custo de transporte unitário diminui à medida que o volume de carga aumenta. Isso significa reduzir o preço do produto unitário porque os custos fixos podem ser diluídos no incremento do volume.

Ainda segundo o autor, o fator densidade do produto é importante, pois o custo de transporte para qualquer movimentação é cotado principalmente em valor por unidade de peso e existe um limitante de espaço do modal a transportar. Assim o custo decresce à medida que aumenta a densidade, pois desse modo é possível uma maior consolidação. Já a capacidade de acondicionamento refere-se a como as embalagens dos produtos podem acomodar-se nos equipamentos de transporte. Assim quanto maior o empacotamento melhor será a utilização do modal, pois diminui o volume de carga a ser movimentado.

O manuseio concerne os equipamentos utilizados para manusear a carga durante o processo de carregamento e descarga, remetendo aos seus custos de operação. A

responsabilidade envolve características dos produtos que podem resultar em danos ou reclamações potenciais. E por fim, o aspecto de mercado refere-se ao volume de determinada carga que já é transportada em uma rota, o que resulta no *know how* desse transporte ou uma saturação do mesmo.

A combinação desses fatores fornece um preço de frete padronizado em TKU (tonelada por quilometro útil) que indica o aéreo sendo o mais caro, seguido do rodoviário, ferroviário, dutoviário e hidroviário. No entanto, como já dito anteriormente, este não deve ser o único critério para a escolha, sendo necessário analisar também o desempenho para a operação de cada modal.

II.1.1.2. Nível de Serviço

Segundo Fleury (2010), para a escolha sobre a característica de serviço oferecido pelo transporte, deve se pensar também nos seguintes critérios: velocidade, consistência, capacitação, disponibilidade e frequência.

Para o autor, a velocidade é calculada pelo tempo médio de entrega entre os pontos de origem e destino. Como alguns modais não têm a possibilidade de entrega diretamente ao destino, o correto é mensurar o tempo em trânsito porta-a-porta, mesmo quando envolva mais de um modal. Um exemplo dessa combinação são as entregas locais feitas por caminhões do terminal ferroviário ao cliente. Assim, o modal aéreo é o mais veloz, seguido pelo rodoviário, ferroviário, hidroviário e dutoviário.

A longa distância aumenta a vantagem aérea já que seu tempo de espera para embarque fica menos impactante, enquanto os tempos rodoviários aumentam progressivamente. Vale lembrar que esses tempos podem variar e que a variabilidade desses tempos é provocada, por exemplo, pela condição do tempo, congestionamento de tráfego e no tempo necessário para consolidação das cargas.

Dessa forma, segue-se para o segundo critério que segundo ao autor Fleury (2010), é a consistência, representando a capacidade de cumprir os tempos previstos, o qual tem o duto como a melhor opção. A ordem deste critério é o transporte dutoviário seguido pelo rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo. A variabilidade do rodoviário e do ferroviário depende do estado de conservação das vias e do nível de congestionamento do trânsito de cada local.

Já a capacitação é a possibilidade de um modal trabalhar com diferentes volumes e variedades de produtos. Considerando essa dimensão, o modal em destaque é o hidroviário, que praticamente não tem restrição sobre o produto e é capaz de transportar milhares de toneladas por viagem, como ilustrado na figura 1, a qual compara o transporte de aproximadamente 6 mil toneladas. Pela ordem desse critério, o dutoviário e o aéreo ficam por último, uma vez que o duto é limitado em termos de produtos, pois só trabalha com líquidos e gases, e o aéreo possui limitações em termos de volume e tipos de produtos.

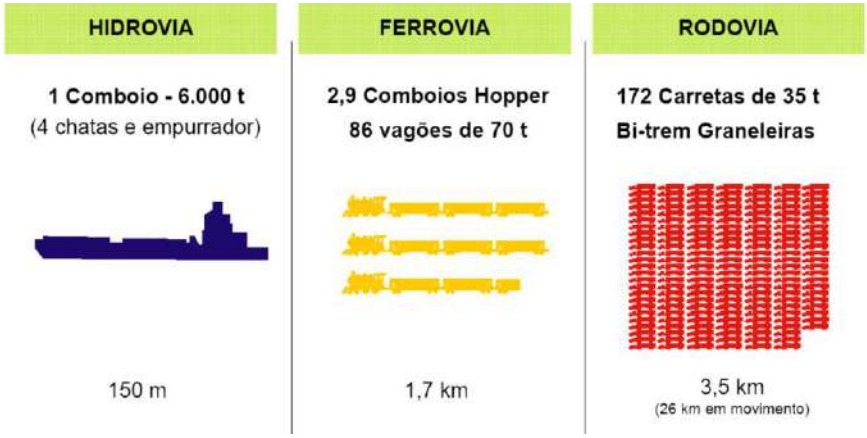


Figura 1 – Comparação do transporte de 6 mil toneladas por diferentes modais
Fonte: Secretaria dos Transportes de São Paulo (2010)

Quanto à disponibilidade, são analisados os locais onde o modal se encontra presente. Logicamente, o rodoviário ganha grande vantagem nesse quesito, uma vez que ele quase não tem restrição física e permite atendimentos porta-a-porta. A ordem dos outros modais varia de acordo com a infraestrutura de cada local. No Brasil, por exemplo, a malha ferroviária é de apenas 29 mil quilômetros, de acordo com a ANTF (2012) o que faz com que o modal aéreo esteja mais disponível em algumas regiões. Aqui também há grande potencial para o modal hidroviário devido à costa de 8 mil quilômetros e os 50 mil quilômetros de rios navegáveis, porém este é considerado de baixa disponibilidade em função da escassez de infraestrutura.

O último critério apresentado pelo autor Fleury (2010) é a frequência, que é o número de vezes em que o modal pode ser utilizado em um dado horizonte de tempo. Para esse critério o duto é o mais vantajoso por poder ser acionado a qualquer momento. A ordem deste critério é o dutoviário, rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário. A frequência é muito influenciada pela consolidação das cargas que irão operar. Por isso a

baixa frequência do hidroviário, consequente da espera pela consolidação dos grandes volumes envolvidos na operação.

A Tabela 1 apresenta os critérios consolidados para o atendimento do nível de serviço e custo.

Tabela 1 – Critério de prioridade de nível de serviço e custo para diferentes modais

CRITÉRIO DE PRIORIDADE	Rodoviário	Ferroviário	Aeroviário	Hidroviário	Dutoviário
Custo	4°	3°	5°	1°	2°
Velocidade	2°	3°	1°	4°	5°
Consistência	2°	3°	5°	4°	1°
Capacitação	3°	2°	5°	1°	4°
Disponibilidade*	1°	3°	2°	4°	5°
Frequência	2°	3°	4°	5°	1°

* Depende da infraestrutura local.

Fonte: Elaboração própria a partir de Fleury (2010) e Bowersox (1996)

Com isso, é preciso fazer uma análise de compensação entre o custo e o desempenho operacional considerando essas cinco dimensões para a escolha do modal mais adequado em cada situação. Vale ressaltar que os autores, Fleury (2010) e Bowersox(1996), não citam a dimensão ambiental para essa análise, porém sua importância vem crescendo ao longo dos anos, de modo que o presente estudo entende como uma dimensão que deva ser considerada também.

Além disso, pode ser usado mais de um modal para o mesmo transporte, o que abrange a escolha para uma combinação de serviços que lhe proporcione o melhor equilíbrio de qualidade e custos. Dessa forma, a vantagem de um modal varia de produto para produto, de acordo com a demanda e seu valor agregado, região por região e infraestrutura local.

II.1.2. Manutenção de Estoques

Antes de aprofundar sobre a política de estoque, é preciso alinhar duas definições fundamentais utilizadas por autores conceituados como Ballou (2006) e Bowersox (1996), que muitas vezes geram confusões. A primeira é com relação ao conceito de armazenagem, que se refere à atividade logística de administração do espaço necessário para manter estoques. A outra é o conceito de manutenção de estoque, que refere se à política adotada no quando e quanto irá acontecer o

ressuprimento do o nível de estoque, isto é, o momento de reposição. Portanto, estes dois conceitos não são sinônimos, apesar de terem a mesma base, que é o estoque, sendo necessário tomar cuidado para não confundi-los.

Depois de alinhadas as definições de estoque vem a pergunta primordial: mas para que servem os estoques? Segundo Ballou (2006), estes servem para conciliar a disponibilidade de materiais e produtos com a demanda, isto é, o balanceamento entre o suprimento e demanda no que diz respeito ao tempo decorrido entre produção e consumo. Seus principais impactos são vistos quando a produção tem comportamento sazonal e o consumo ocorre durante todo o ano. Com isso, é preciso um amortecimento das incertezas do suprimento, através de uma regulação nas variações de curto prazo, que se tem pelo uso de estoques.

Para o triângulo de decisões logísticas, isto é, a nível estratégico, o que irá influenciar é a manutenção de estoques e não armazenagem. Vale ressaltar que manutenção de estoque também é capaz de influenciar os outros vértices desse triângulo, no caso transportes e localização. A fim de estruturar uma estratégia de formalização de uma política de estoque, Wanke (2011) baseia-se em três decisões, as quais serão as diretrizes deste tópico. Estas decisões são quando e quanto deve se pedir o ressuprimento, quanto manter em estoque de segurança.

No entanto, novamente antes de dar prosseguimento e entrar mais em detalhe nessas tomadas de decisões, será de grande valia para um melhor entendimento, serão apresentados os principais conceitos da dinâmica do consumo de estoque. A maioria dos autores, assim como Ballou (2006) e Wanke (2011), simplificam esta dinâmica em dois cenários, com ou sem incertezas, representados por gráficos de dente de serra, como os da figura 2.

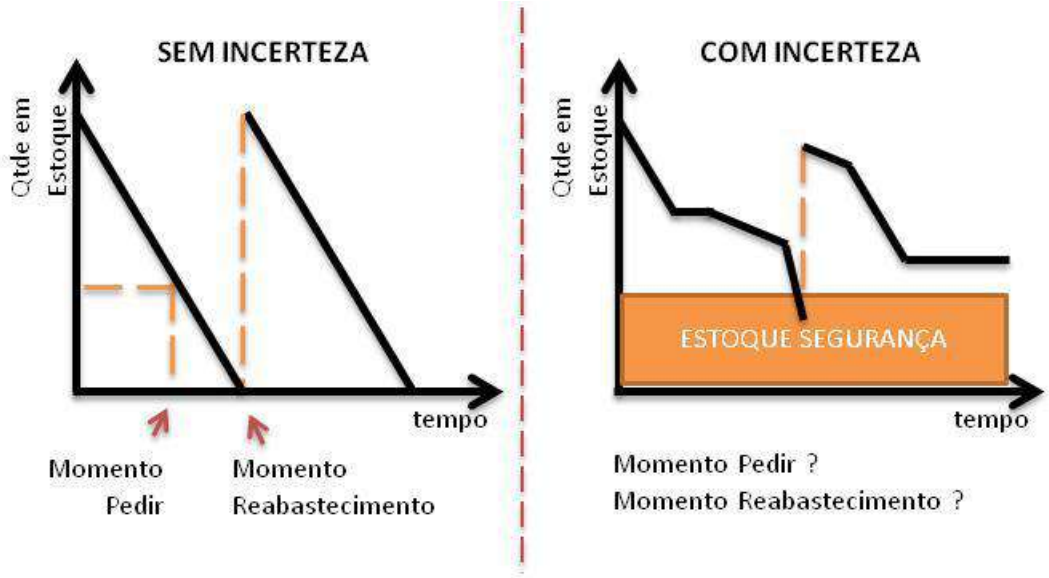


Figura 2 – Dinâmica de Estoque para cenário com e sem incerteza
Fonte: Elaboração própria a partir de Wanke (2011)

O cenário sem incerteza condiz com um mundo ideal, em que a taxa de consumo dos produtos é sempre previsível. Assim, é possível calcular o quanto de estoque estará disponível em todos os momentos e consequentemente saber com exatidão o momento em que todo o estoque será consumido. Também é determinado com exatidão o tempo entre momento de pedir o ressuprimento e a chegada desses novos produtos, que é chamado de *lead-time* de ressuprimento (WANKE, 2011). Dessa forma, para um cenário ideal, basta antecipar o *lead-time* ao momento de estoque zero para determinar o momento exato de pedir o ressuprimento.

No entanto, considerando as incertezas, a taxa de consumo não é totalmente previsível e o *lead-time* pode variar, por exemplo, devido a atrasos na entrega (WANKE, 2011). Dessa forma, considerando as incertezas não é possível determinar o momento exato de pedir o ressuprimento do estoque. A fim de solucionar esse problema de falta de exatidão, há um dimensionamento de estoques de segurança, que são calculados de acordo com uma probabilidade aceitável para essas incertezas. Para esse casos é preciso tomar cuidado com o custo da falta e o custo de oportunidade.

De acordo com as definições dadas para esses custos por Bowersox (1996), o custo da falta de produto para atender à demanda é causado por uma série de complicações que podem levar, por exemplo, à parada na produção ou à perda de

fidelidade dos clientes, que recorrem a produtos substitutos. Já o custo de oportunidade, ainda segundo o autor, é uma possível perda de rendimentos por optar por uma determinada alternativa em detrimento de outra. Essa definição faz referência a um possível rendimento que o capital imobilizado em forma de produto teria caso fosse aplicado em algum outro projeto da empresa. Ainda segundo ao autor, para seu cálculo normalmente usam se projetos com menor risco como é o caso de investir em poupanças.

Outro ponto a se pensar é o tamanho do estoque. Por exemplo, pode se montar uma política de estoque que atenda à demanda de um ano e que se faça esse ressuprimento anualmente, ou uma política que atenda somente às demandas diárias, necessitando de um ressuprimento diário, representado na figura 3 a seguir.

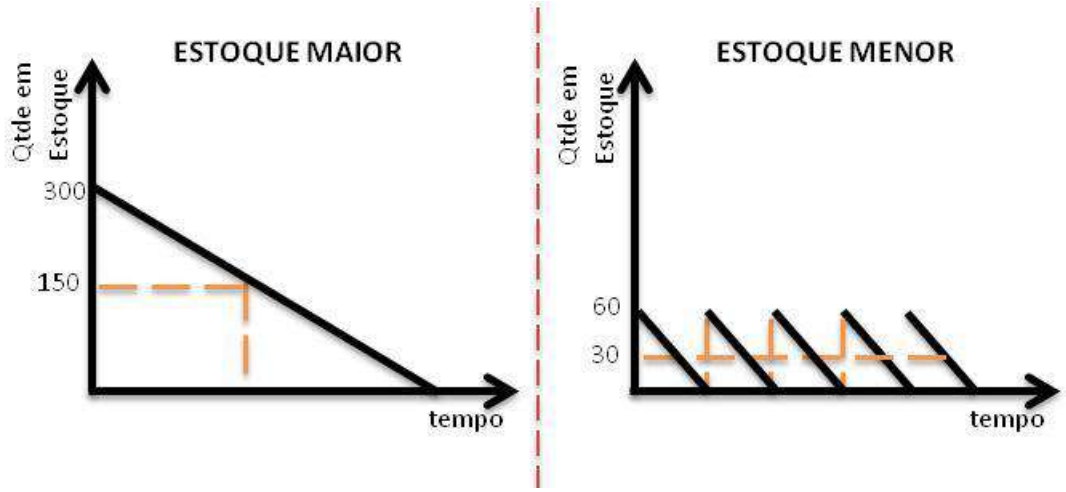


Figura 3 – Comparação de diferentes tamanhos de estoque
Fonte: Elaboração própria a partir de Wanke (2011)

Com uma política de estoques maiores, maiores serão os custos de oportunidade de manter estoques. No entanto, o custo com transporte será menor uma vez que haverá menos viagens para ressuprimento e podem ocorrer possíveis economias de escala devido à consolidação que irá diminuir o custo unitário do frete.

Já com uma política de estoques menores ocorre o oposto, em que o custo de oportunidade é menor e os gastos com transporte para o armazém é maior. Isso ocorre, pois o nível de estoque médio será mais baixo e em contrapartida haverá mais viagens para o ressuprimento, além da tonelada por quilômetro rodado ser possivelmente mais cara devido a esse fracionamento. Com isso, é preciso achar um equilíbrio entre o

balanceamento do custo de oportunidade de manter estoque com o custo unitário de seu transporte. Isso pode ser feito por meio da estratégia de formalização de uma política de estoque, para tanto, este trabalho irá seguir a metodologia sugerida por Wanke (2011).

A primeira tomada de decisão a ser abordar diz respeito a quando pedir o ressuprimento. Como já brevemente mencionado acima, essa decisão depende, proporcionalmente, da taxa de consumo dos produtos e do *lead-time* do ressuprimento. A previsão da taxa de consumo ao longo do tempo torna possível modelar a probabilidade de quando haverá a falta do produto, gerando um custo de falta, enquanto o *lead-time* remete ao quanto antes dessa falta é preciso pedir para que não fique nenhum tempo sem estoque. Em cenários com incertezas, mesmo com estoque de segurança que amortecem as variações, continua sendo uma probabilidade do melhor momento de pedir o ressuprimento, não tendo 100% de exatidão de que nunca irá faltar o produto.

De acordo com as características da organização e seus produtos, pode ser mais favorável economicamente fazer essa solicitação antes ou depois da marcação de tempo modelada de modo a buscar a maior garantia em estoque possível. Situações em que é mais interessante postergar a solicitação do ressuprimento ocorrem com os materiais de alto valor agregado, baixo peso unitário e elevado risco de obsolescência ou perecibilidade. Com a postergação, aumenta-se a probabilidade de falta. Tais casos são caracterizados pelo custo de oportunidade ser mais significativo que o custo da falta, podendo então seguir com políticas diferenciadas.

Numa política de postergação, por exemplo, pode haver a escolha de um transporte com menor *lead-time* mesmo que esse seja financeiramente mais caro, como é o caso do modal aéreo. Além disso, a escolha desse modal é mais favorável para diminuir riscos inerentes ao trajeto de ressuprimento, como segurança, obsolescência e perecibilidade. Esperar a consolidação de carga para a compra de um lote maior, tendo valor unitário mais em conta, pode ser também viável quando o custo da falta não é tão alto e o produto tem baixo peso unitário. Tudo irá depender do quanto essa política diferenciada será compensada pela redução no custo de oportunidade.

Por outro lado, há situações nas quais é interessante adiantar essa solicitação de ressuprimento, principalmente para materiais de baixo valor agregado, considerável

peso unitário e pequeno risco de obsolescência ou perecibilidade. Ao contrário do anterior, casos de antecipação são característicos de produtos em que o custo da falta é mais significativo do que o custo de oportunidade, diminuindo a probabilidade do produto faltar. Portanto, também é preciso analisar se há uma compensação entre as reduções consequentes da antecipação desse pedido, tendo em vista principalmente que a antecipação remete a uma frequência de pedidos menores, com o aumento de custo de oportunidade.

A segunda decisão se refere ao quanto manter em estoque de segurança. Esse tipo de estoque é decorrente das incertezas nas taxas de consumo e no *lead-time*. Um exemplo de cada um seria a incerteza na demanda, em que os pedidos de clientes teriam quantidades maiores ou menores do que as planejadas e a incertezas relacionadas às variações nos tempos de execução do processamento de pedidos ou no transporte. Segundo Bowersox (1996), teoricamente os estoques de segurança são geralmente determinados supondo que a variabilidade da demanda siga uma distribuição de probabilidade Normal[1].

A consequência desse comportamento é que mesmo considerando os desvios-padrões, os estoques de segurança não garantem 100% de chance de não haver falta de produto. Em mercados pulverizados, com muitos concorrentes, isso pode levar a implicações práticas significativas devido a erros maiores associados à previsão de demanda, implicando em maiores estoques de segurança. Novamente as organizações devem considerar também os custos associados ao excesso e à falta de produtos em estoque, ou seja, o risco associado à manutenção de estoques de segurança. Por isso deve-se verificar a possibilidade de reduzi-lo sem prejuízo para os níveis de disponibilidade exigidos pelo mercado.

Uma equação, determinada por Bowersox (1996) faz uma análise preliminar sobre este risco e está expressa na equação 1. A variável Cf representa o custo da falta e a Ce o custo do excesso. Para o cálculo de Cf engloba a margem de lucro perdida por questões de falta do produto e os prejuízos causados à imagem da empresa que possam

[1] Distribuição de probabilidade é um modelo matemático, em que a distribuição Normal é em função de Gauss, ou seja, uma curva em forma de sino, unimodal e simétrica em relação à sua média.

ser calculados. Já o cálculo do custo do excesso envolve a rentabilidade do capital em outros investimentos e as perdas por obsolescência ou perecibilidade.

$$\text{RISCO} = 1 - \frac{\text{Cf}}{\text{Cf+Ce}} \qquad \text{Equação 1}$$

Dessa equação é possível tirar algumas conclusões. Primeiramente, percebe se que deve-se subdimensionar os estoques de segurança de produtos de alto valor agregado, obsolescência ou perecibilidade, isto é, quando o custo de oportunidade for mais significativo que o custo da falta. Já para produtos que garantam elevadas margens de contribuição para a cadeia de suprimentos ou a falta deste afete consideravelmente a fidelidade dos clientes, ou seja, o custo da falta ser mais significativo que o custo de oportunidade, deve se ter os estoques de segurança dimensionados de maneira conservadora.

A terceira e última decisão é o quanto pedir no ressuprimento. Há uma relação muito forte dessa decisão com a primeira que é a respeito de quando pedir, isto porque quando se faz um pedido com grandes lotes a frequência de solicitação será menor, caracterizando uma política de consolidação. Também é possível pedir lotes menores que terão como consequência uma maior frequência de pedidos, caracterizado pela política *just in time*[2].

A política de consolidação vem da característica do setor de compras em que há uma economia quanto maior forem os lotes a serem comprados. No entanto, isso implica em mais capital imobilizado em forma de estoque. Essa análise de compensação pode ser calculada através da metodologia de lote econômico que, de acordo com Ching (2006), "é a quantidade ideal de compra feita levando em consideração o balanceamento dos custos de manutenção e aquisição, desde quando haja informação precisa, referente à demanda e o tempo de ressuprimento". A figura 4 ilustra esse conceito.

[2] *Just in time* é um sistema de produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata.

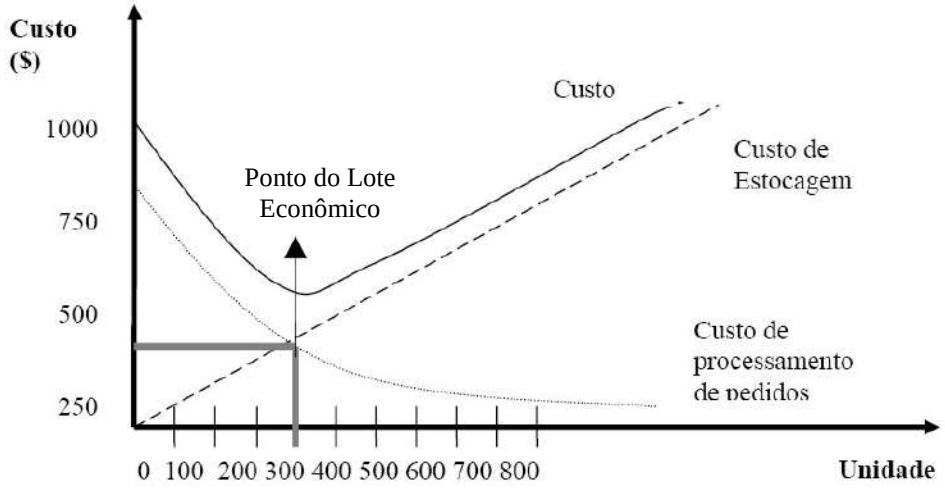


Figura 4 – Análise de custos para definição do lote econômico
Fonte: Instituto ILOS (2008)

Porém, para uma avaliação mais real do cenário em questão, é preciso ter atenção a algumas restrições como espaço de armazenagem no caso de este não comportar o lote econômico. Além disso, toda vez que houver reajuste nos preços devido a novos fornecedores, promoções, sazonalidades, dentre outros fatores de influência, haverá a necessidade de refazer os cálculos. Além disso, os custos de estoque e de pedidos são muitas vezes difíceis de calcular devido à dificuldade no levantamento de informações precisas referente à demanda, o tempo de ressuprimento, oportunidade e falta. Soma-se ainda a insensibilidade do modelo a pequenos erros na estimativa dos custos, tendo os custos como *inputs*.

Em contrapartida à política de consolidação, o modelo *just in time* considera que o melhor lote é o unitário e a partir disso busca se a redução dos custos. Este modelo faz o caminho inverso do lote econômico, tendo os custos como *outputs*. Este modelo incentiva um sistema de produção puxado, ou seja, só produz o que é solicitado, caracterizado por lotes menores em maior frequência, evitando produção para estoque. O objetivo dessa política é a redução de custos de estocagem, levando os estoques ao menor nível possível. Dessa forma, há a redução de estoques desnecessários que são tratados como perdas do processo, como consequência tem se a redução do espaço de armazenagem, equipamentos e gastos com custos variáveis como mão-de-obra.

O sistema é vantajoso quando os produtos têm alto valor agregado ou certeza nas necessidades de demandas com os tempos de ressuprimentos pequenos e conhecidos.

Assim, não é preciso comprar grandes lotes para manter o estoque e os custos deste serão reduzidos. Porém é preciso ressaltar que para este sistema funcionar é preciso que haja uma boa relação entre a empresa e seus fornecedores externos e internos. Isso por que perde-se de um pouco do amortecimento fornecido pelo estoque de segurança, necessitando especificar com precisão quantidade e o momento de reposição. Além disso, é preciso verificar se a organização não estaria simplesmente transferindo os estoques de segurança, ao invés de manter consigo a responsabilidade de parada de produção para seus terceiros. Isto pode aumentar os custos desses fornecedores, além de necessitar de uma maior confiança entre ambos, uma vez que a responsabilidade do estoque passa para o terceiro.

De acordo com as características de cada produto e da forma como cada organização encara a política de manutenção de estoques, diferentes metodologias podem ser utilizadas, não havendo uma totalmente certa em detrimento da outra, e sim uma que melhor irá satisfazer para cada situação.

II.1.3. Localização

Por fim, o último vértice do triângulo de decisões logísticas é a localização. Nesse quesito, é preciso definir o número de armazéns que serão necessários para a operação, além de sua localização. Para Ballou (2006), a resposta dessa análise definirá se o estoque deve ser mantido de maneira centralizada ou descentralizada, ou seja, em um ou mais centros de distribuição na cadeia de suprimento, conforme ilustrado na figura 5. Sua determinação irá determinar os custos de toda movimentação dos produtos ao longo da cadeia. Segundo Wanke (2009), os fatores que influenciam nessa análise são as características do produto, características da demanda e o nível de exigência do mercado.

A análise conjunta destas três dimensões (características do produto, características da demanda e o nível de exigência do mercado) é muito complexa devido a diversas iterações possíveis (BALLOU, 2006). Além disso, outros fatores também podem influenciar, como existência de economias de escala no transporte, que favorece a descentralização já que facilita a movimentação na rede logística. Portanto, para cada cenário é preciso ficar atento a novos complicadores. A seguir tem se o detalhamento das três dimensões separadamente de acordo com a metodologia de Wanke (2009) para

uma melhor compreensão qualitativa de suas influências na decisão de localização na cadeia de suprimentos e consequentemente na cadeia de distribuição.

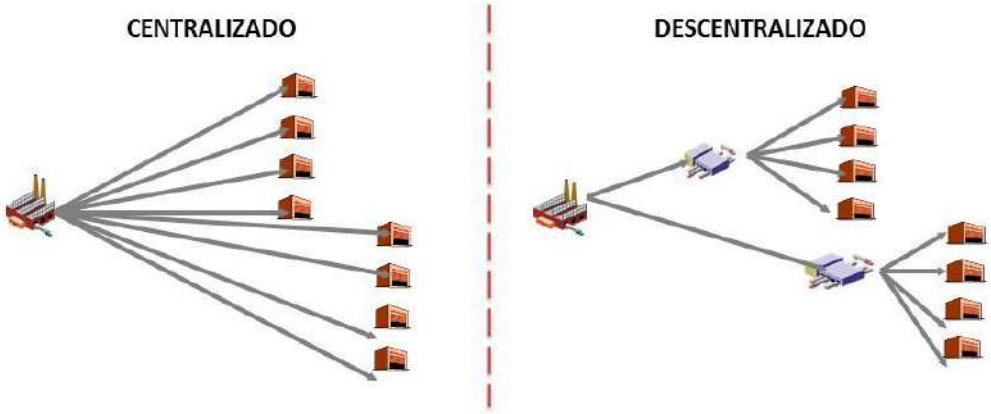


Figura 5 – Comparação entre uma rede logística centralizada e descentralizada
Fonte: Elaboração própria a partir de Ballou (2006)

A primeira dimensão é a característica do produto. Essa dimensão engloba muitas informações como valor agregado, margem de contribuição, dentre outras. Analisando essas duas informações que foram mencionadas, tem se primeiramente a influência do valor agregado, quanto maior for este, maior será a tendência para centralização. Isso ocorre no sentido de reduzir custos associados à manutenção de estoques de segurança em diversas localidades, já que alto valor agregado implica em elevados custos de oportunidade. Na questão sobre a margem de contribuição, isto é, a diferença entre o preço e o seu custo variável, quanto maior for a margem, maior será a propensão para a descentralização, visando minimizar o risco de perder vendas com alta margem por não haver disponibilidade imediata de produto.

Já as características da demanda abrangem informações a respeito do giro do material[3] e do grau de previsibilidade da demanda. A previsibilidade da demanda está associada normalmente a produtos com ciclos de vida mais longos e pequeno número de substitutos, o que influencia para uma tendência para descentralização dos estoques devido à baixa incerteza que acarretará em estoques de segurança menores e para minimizar os riscos associados à obsolescência e a perecibilidade. Em relação ao giro do material, quanto maior o giro, maior será a tendência de descentralização, pois

[3] Giro de material é número de vezes que um produto é reposto no estoque no decorrer de um ano. Normalmente é calculado como demanda anual dividida pelo estoque médio mensal.

produtos com maior giro absorvem uma parcela menor dos custos fixos de armazenagem.

Por último, o nível de exigência do mercado é atingido por duas frentes. A primeira é o prazo de entrega e a segunda é a disponibilidade de produto. Segundo Wanke (2009), estas dimensões associadas ao modal de transporte escolhido são as que mais influenciam na localização dos estoques. Isso por que pode se atingir a maior disponibilidade de produto possível com prazos de entrega curtos por meio da descentralização. Ou seja, haverá uma localização mais próxima ao consumidor, para atendê-lo de forma rápida e com mais disponibilidade. No entanto, se o modal for caracterizado pela rapidez, por exemplo, o modal aéreo, pode se ter uma estrutura de centralização sem que se alterem os prazos de entrega e a disponibilidade.

Após a análise de cada um dos fatores acima, o resultado pode não ser unanimidade entre os fatores sobre a centralização ou descentralização, sendo consenso entre os autores Ballou (2006) e Wanke (2009) a necessidade de uma avaliação econômica de cada cenário. Vale ressaltar que a avaliação econômica deve resultar na configuração da rede logística com o menor custo total, considerando os custos fixos e variáveis de produção, compras, manutenção de estoque, instalações e transporte. Assim para a abertura de um novo armazém é preciso um estudo detalhado de toda a cadeia logística. Por serem muitas variáveis, com influências simultâneas, para fazer a comparação corretamente entre os cenários fixa-se o nível de serviço oferecido, sendo este o tempo de entrega ou a disponibilidade do produto.

Além disso, é necessário fazer análise de compensação entre o custo e o aumento no nível de serviço devido à descentralização. A análise de compensação gira em torno dos parâmetros consequentes da descentralização, que são a redução do tempo de entrega, o aumento nos custos de manter estoques de segurança e aumento nos gastos com transporte de suprimento (fornecedor ao armazém) e redução nos gastos com transporte de distribuição (armazém ao cliente).

Segundo a regra conhecida como “Regra da Raiz Quadrada”, discutida por Ballou (2006), a descentralização leva a um aumento expressivo nos níveis de estoque de segurança. Este aumento é proporcional à raiz quadrada da razão entre o número final e o número inicial de pontos de armazenagem. Isso acontece, pois os níveis de

estoque de segurança são determinados por uma modelagem estatística e lotes menores estão mais vulneráveis a variações. Assim, o amortecimento em uma estrutura descentralizada gera mais estoque de segurança do que o amortecimento de uma estrutura centralizada.

Já o custo total de transporte reduz na medida em que armazéns são instalados. Essa redução é resultante de carregamentos mais consolidados até o armazém, no suprimento, tendo apenas pequenos carregamentos fracionados enviados na distribuição. Porém, se o número de armazéns cresce excessivamente, o custo total de transporte volta a subir, pois se perde a característica de consolidação no suprimento. A figura 6 ilustra essa estrutura de custos.

Em adição à análise de quantos armazéns serão necessários, será preciso definir também a posição geográfica de cada um deles. Como para Wanke (2009), para cada região, é necessário avaliar as demandas e o transporte, o acréscimo da variável de localizações de cada armazém aumenta exponencialmente o número de cenários possíveis a serem avaliados. Devido a esse número excessivo de cenários, que deixaria a análise inviável, é feito primeiramente uma análise mais qualitativa. Normalmente utilizam-se valores médios dos custos dos cenários para definir premissas básicas que irão limitar a análise em alguns cenários a serem olhados mais no detalhe quantitativo, que consiste de uma simulação que calcula corretamente todos os números e chega a um cenário ótimo.

A análise qualitativa leva em conta dados da organização relevante à localização. Para Wanke (2009) alguns deles são:

- localização dos *players* da operação já existentes na cadeia de suprimento, por exemplo: clientes, fábricas e fornecedores;
- demanda do produto em cada localidade;
- metas e exigências de serviço da operação.

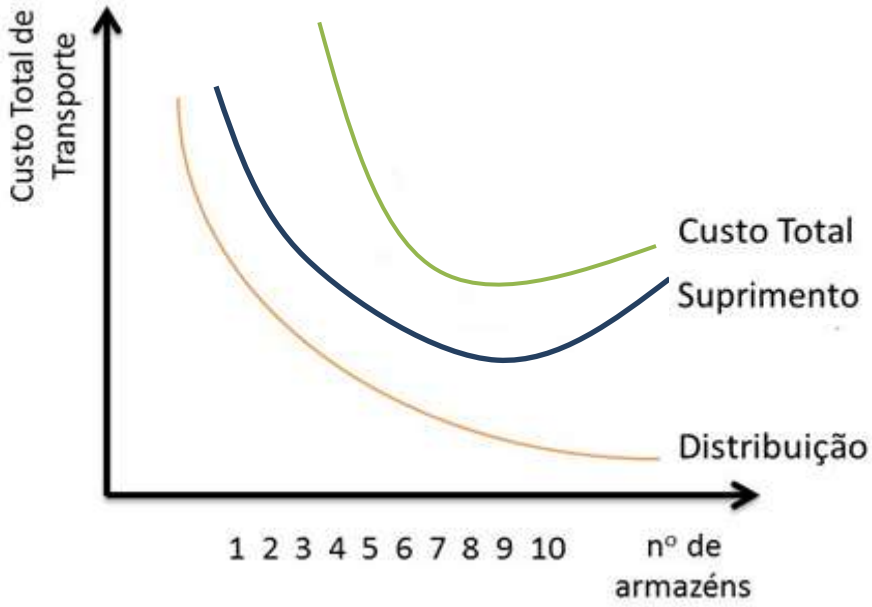


Figura 6 – Análise do custo total com transporte de acordo com o número de armazéns
Fonte: Elaboração própria a partir de Wanke (2009)

Além disso, é preciso fazer uma análise qualitativa das regiões geográficas com a finalidade de identificar a localização que mais se enquadra na operação. Essa região deve atender às especificações da operação e ser economicamente mais atrativa, considerando também aspectos como:

- infraestrutura e aspectos geográficos;
- recursos naturais e mão-de-obra disponível;
- indústria local e interesse público;
- fretes dos modais de transporte mais relevantes;
- custos de armazenagem, incluindo mão-de-obra, gastos fixos com instalações, espaço e impostos.

Ballou (2006) cita a técnica do centro de gravidade de Weber, que permite achar um centro de equilíbrio dos players da operação em relação a critérios como volume produzido e demanda de cada local. A metodologia aceita mais de um mercado e mais de um fornecedor. No entanto, ela considera o resultado de apenas um armazém. Apesar de fornecer resultados apenas para cenários centralizados, é uma boa aproximação

inicial sobre menor custo e poderá servir como ponto de referência para a localização simétrica de mais de um armazém.

A técnica de centro de gravidade tem como base a geometria analítica e as coordenadas cartesianas. Fazendo referência de qualquer ponto como uma coordenada x y, isto é, conhecidas as coordenadas dos mercados a serem atendidos e fontes de matérias-primas, além de poder ponderar essas coordenadas com dimensões como volume produzido, demanda do local, dentre outros. A determinação das coordenadas é feita através do seguinte cálculo:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi.Di}{\sum_{i=1}^{n} Di} \qquad y = \frac{\sum_{i=1}^{n} yi.Di}{\sum_{i=1}^{n} Di} \qquad \text{Equação 2}$$

(a) (b)

Onde:

- x,y são as coordenadas do armazém a ser localizado
- xn, yn são os mercados que se deseja atender
- Dn é a dimensão utilizada, que pode ser: volume produzido, demanda, dentre outros.

Já para a localização em cenários de descentralização, isto é, mais de um armazém, aumenta-se a complexidade dessa modelagem. Essa maior complexidade é resultante do fato de os armazéns não serem independentes uns dos outros, tanto econômica quanto fisicamente, por estarem dividindo uma demanda total específica, além de haver uma análise combinatória de possíveis localizações.

Para atender essa complexidade, se faz necessário o maior enxugamento de variáveis de pouco impacto no resultado final uma vez que, a cada nova variável, aumenta-se a dificuldade de simulação de minimização dos custos fixos e variáveis. Segundo Wanke (2009), algumas regras são básicas do modelo e dentre essas estão as seguintes restrições:

- todas as demandas dos clientes devem ser atendidas;
- um mesmo cliente deve ser atendido pela mesma instalação;
- o nível de movimentação dos armazéns não pode exceder sua capacidade;

- deve haver um volume mínimo de demanda necessária que torne economicamente viável a abertura de um novo armazém.

De maneira geral, todas as definições na rede logística afetam a localização das instalações. Isso ocorre, pois como já mencionado, esta determinação é dependente do balanceamento dos custos de produção e venda, manutenção de estoque, custos fixos e variáveis de armazenagem, custos com o transporte tanto no suprimento como na distribuição e no tempo de entrega desejável. Portanto, para cada novo armazém que se queira abrir é preciso analisar toda a cadeia para chegar à solução ótima.

II.1.4. Variáveis a serem analisadas

Depois de detalhar os principais conceitos atrelados à gestão logística e suas implicações, nessa seção foram separadas, de forma empírica, as variáveis mais relevantes para o mercado agroindustrial dentre as apresentadas. Estas servirão como ferramenta para os capítulos subsequentes em que serão feitas análises sobre as influências logísticas para o uso de resíduos agrícolas como matéria-prima. As variáveis estão listadas na tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis logísticas relevantes para o setor agroindustrial

Vértice da Pirâmide Logística	Variáveis
Todos os vértices	Mercado (Know how)
Todos os vértices	Nível de Serviço Requerido
Transporte	Distância entre os Players
Transporte	Volume de Carga
Manutenção de Estoque	Previsão da Taxa de Consumo
Transporte/Manutenção de Estoque	Lead Time Requerido
Transporte/Manutenção de Estoque	Consolidação da Carga
Transporte/Manutenção de Estoque	Frequência de Ressuprimento
Manutenção de Estoque	Postergação/ Antecipação do Pedido
Manutenção de Estoque	Política de Tamanho de Estoque
Manutenção de Estoque	Estoque de Segurança
Localização	(Des) Centralização
Transporte	Gastos com Transporte de Suprimento
Transporte	Gastos com Transporte de Distribuição

III. Resíduos agrícolas

Ainda de forma a alinhar os conceitos e definições que influenciarão a continuidade deste trabalho, este capítulo trata da questão dos resíduos agrícolas. Esses resíduos são biomassa proveniente de processos da agricultura.[4] Para a caracterização da biomassa residual agrícola brasileira serão apresentados dados quantitativos da geração dos principais resíduos, assim como suas características físico-químicas mais relevantes para o presente trabalho.

Durante a realização do trabalho, não foi identificada a existência de dados oficiais a respeito da parcela dos resíduos orgânicos gerados nas atividades de cultivo e colheita. Segundo a Embrapa (2012), a geração de resíduos agrícolas é extremamente variável, dependendo muito da safra e do sistema de produção a ser considerado. Desse modo, um estudo da própria Embrapa determinou fatores sobre conversão para diferentes culturas e seus respectivos resíduos gerados, conforme mostra a tabela 3.

Nela para a quantificação do montante de resíduos provenientes das principais culturas agrícolas no último ano, foi realizada a consolidação de dados provenientes de levantamentos do IBGE (2013) a respeito da safra brasileira de 2012/2013 com as premissas da Embrapa sobre a conversão da safra obtida em resíduos. O resultado dessa conversão está ilustrado na tabela 3, com as principais espécies cultivadas no Brasil.

O resultado de quase 600 milhões de toneladas de resíduos agrícolas gerados indica um alto potencial de uso destes como matérias-primas. A premissa de conversão de resíduo agrícola da Embrapa (2012) não engloba as conversões de palha de cana-de-açúcar e os resíduos da soja, principais produtos das safras brasileiras de 2012/2013 no quesito tonelada colhida. A não inserção de ambas as conversões se deve ao fato de que esses materiais orgânicos já possuem atualmente uma finalidade como será descrito a seguir.

[4] Biomassa é entendida como toda a matéria orgânica, não fóssil, de origem vegetal, animal ou microbiana (DALE & KIM, 2004)

Tabela 3 – Disponibilidade de resíduos agrícolas nas principais safras brasileiras em 2013

Produtos Agrícolas	Safra 2012/2013 (1000 t)	Conversão	Produção Estimada de resíduo (1000 t)
Cana-de-açúcar	670.758	0,270 t bagaço/t produzida	181.105
		0,165**t palha/t produzida	110.675
Milho	71.296	2,2 a 2,9 t folhas e talos/t produzida	206.760
		0,3 a 0,9 t sabugos/t produzida	64.167
Soja	65.701	0 t resíduos/t produzida	0
Arroz	11.391	1,3 a 1,8 t resíduos/t produzida	20.505
Café	5.365	0,22 t resíduos/t produzida	1.180
Algodão herbáceo	4.964	0,04 t resíduos/t produzida	199
Trigo	4.380	1,4 t resíduos/t produzida	6.132
Feijão	2.821	0,53 t resíduos /t produzida	1.495
TOTAL	836.676	-	592.218

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2013) e EMBRAPA (2012)
Fonte **: BNDES (2003)

A totalidade da palha de cana-de-açúcar, isto é, o conjunto de folhas, ponteiros e palha presente na cana-de-açúcar tem como prática a sua queima há muitos anos, visando facilitar a colheita manual (AGUIAR et al, 2008). Porém, tal prática está para ser extinta, conforme previsto na legislação estadual de São Paulo (Lei No 11.241 de 19 de setembro de 2002, que regulamenta o fim da prática da queima até 2021 para áreas mecanizáveis e até 2031 para áreas não mecanizáveis (GOVERNO DO ESTADO DE SP, 2002)). Esta regulamentação foi não só acatada pela União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA), em junho de 2007, como estes também propuseram menores prazos para a extinção das queimas passando os para 2014 e 2017, respectivamente (UNICA, 2007).

Desse modo, a palha de cana-de-açúcar passará a estar disponível para novas finalidades, como adubo nas lavouras, aproveitamento energético ou, como é caso do trabalho em questão, para o uso como matéria-prima na indústria química. Dessa forma, para avaliar a disponibilidade real da palha de cana-de-açúcar, levando em conta técnicas de colheita e transporte dessa palha, o estudo do BNDES (2003) considera a premissa de 167 kg de palha para cada tonelada de cana-de-açúcar colhida.

Atualmente, a palha de cana-de-açúcar que não é queimada após a colheita mecânica passa por uma fase de separação na qual sua totalidade é lançada ao solo e os rebolos de cana são priorizados e transportados até o veículo de transbordo (ROMÃO, 2009), conforme ilustrado na figura 7. Desse modo a palha não estaria de forma disponível para futuros usos. Assim, de acordo com o BNDES (2003), mudanças importantes na colheita e no transporte da palha devem ser feitas para esta possa estar disponível para outras finalidades. Não descartar esse material no solo da plantação, aumentar sua densidade no ato da colheita, eliminar o manuseio intenso com seus correspondentes custos e evitar a contaminação com terra são pontos destacados por Romão (2009) que contribuiriam de forma positiva para o aumento dessa disponibilidade.

No caso da soja, toda sua cultura agrícola já possui um mercado final já consolidado, ou seja, todo o complexo de soja, que constitui seus respectivos grãos, farelo e óleo, possui uma demanda no mercado interno e/ou externo (FAVEREST FILHO & PAULA, 2004). Assim não se pode considerar que existe um resíduo na produção de soja, uma vez que se trata de cultivo totalmente integrado, e de matérias-primas com demandas já definidas, em que a concorrência para outra finalidade seria muito mais acirrada.

Vale ressaltar que a estimativa de resíduos gerados não está descontando a parte desses resíduos que já possui aplicações estabelecidas, isto é, que estão comprometidos com outra operação como, por exemplo, a geração de energia elétrica, com exceção do já citado caso da soja em já possui uma aplicação consolidada e maior valor agregado. Essa estimativa remete se à disponibilidade da matéria-prima em termos potenciais, ou seja, o máximo da oferta calculada. Para estimar as quantidades que atualmente estão efetivamente disponíveis para o uso como matéria-prima da indústria química ou de

biocombustíveis, seria preciso descontar a parcela dos resíduos já comprometida com outras aplicações.

Figura 7 – Separação da palha na colheita mecanizada
Fonte: Romão (2009)

No entanto, apesar desse comprometimento com outras operações poder reduzir significativamente os números apresentados, no nível de estudo inicial considera-se todo o potencial de oferta de resíduos para seu uso em biorrefinarias. Isso ocorre, pois caso o cenário a ser proposto seja muito mais rentável e mais correto ambientalmente do que as aplicações atuais, poder-se-ia imaginar que essa oferta de resíduos que está comprometida a outras aplicações migraria para a proposta mais rentável.

Para Vaz Jr. (2012), o principal diferencial das biorrefinarias em relação às refinarias convencionais está nas matérias-primas, ou seja, na substituição do petróleo por biomassa. Essa pode vir de fontes amiláceas (milho, mandioca), sacaríneas (cana-de-açúcar, sorgo sacarino), lignocelulósicas (resíduos agrícolas, espécies florestais) ou oleíferas (soja, dendê). De acordo com Leite (2012), uma biorrefinaria se refere às tecnologias e processos utilizados para a transformação da biomassa em produtos como energia, insumos químicos, biocombustíveis e produtos químicos, sendo o último de maior valor agregado.

Ainda de acordo com Leite (2012), as biorrefinarias sofrem com alguns desafios a serem vencidos, entre eles estão:

- Desenvolvimento de práticas com melhor aproveitamento energético e químico contido na biomassa, através de técnicas eficientes de conversão;

- Minimização dos custos, de forma a aumentar a competitividade dos produtos finais (em que a logística é um dos meios de auxílio nesse item);

- Estruturação de uma cadeia sustentável, devendo impactar na análise de ciclo de vida dos produtos derivados de biomassa.

Para Vaz Jr (2012), a transformação da biomassa se dá por processos relacionados às plataformas bioquímica, química e/ou termoquímica, sendo que para esta última ocorre a desconstrução da biomassa. As consequências da composição da biomassa sobre os procedimentos na biorrefinaria são gerados pela diferença na forma de acesso aos açúcares, que é mais simples nas sacaríneas e amiláceas e mais complexa nas lignocelulósicas. Além disso, cabe ressaltar que a obtenção da lignina, dos compostos nitrogenados, proteínas, dentre outros, dependerá também do tipo de pré-tratamento aplicado, já que a mesma possui estrutura molecular heterogênea, complexa e necessita do uso de catalisadores.

Dessa forma, a complexidade química e estrutural pode variar para cada tipo de biomassa e para cada uso, o que interfere em diferentes fatores, que influenciam a forma como o produto deve ser encarado logisticamente. Portanto, é necessária uma análise composicional, além de sua caracterização qualitativa e quantitativa (VAZ JR, 2013). No presente trabalho, o foco será a biomassa lignocelulósica presente nos resíduos agrícolas, a qual é composta majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina. A variação da composição de matérias lignocelulósicas secas está ilustrada na tabela 4.

Apesar de haver uma variação destes açúcares de acordo com a biomassa analisada, o açúcar mais abundante para todos os casos analisados foi a glicose, seguido pela xilose. Por exemplo, no bagaço de cana-de-açúcar glicose e xilose representam, respectivamente, 43,3% m/m e 24,3% m/m dos açúcares totais. Considerando que 50% de seu material recém-moído possua cerca de 50% de umidade (SANTOS et al, 2011) isso resulta em uma oferta na safra de 2012/2013 de 39.209 mil toneladas de glicose e 22.005 mil toneladas de xilose, provenientes desse resíduo agrícola. Assim os resíduos

agrícolas são fontes potenciais desses açúcares indicando uma possível disponibilidade competitiva para o seu uso em uma biorrefinaria.

Tabela 4 – Composição dos resíduos agrícolas

Material	Composição (g /100 g de massa seca)			
	Glucana (Glicose)	Xilana (Xilose)	Lignina	Acetil
Palha de milho (americano)	36,1	21,4	17,2	3,2
Palha de milho (italiano)	36,8	22,2	21,2	1,7
Bagaço de cana-de-açúcar	43,3	24,3	22,8	2,0
Palha de trigo	41,2	26,1	19,1	4,2
Palha de cevada	36,8	17,2	14,3	-
Palha de arroz	36,6	16,1	14,9	-

Fonte: Almeida, Runquist, Nogué, & Lidén (2011)

Existem algumas variáveis que influenciam a gestão logística, conforme visto na seção II.1.4 e no decorrer dessa seção pôde-se perceber que existe uma alta variabilidade nas características entre os resíduos agrícolas de diferentes culturas. Dessa forma, o presente trabalho irá focar em uma única geração de resíduo agrícola, de modo que será possível fazer análises com mais precisão, reduzindo assim as margens de incerteza. O setor escolhido foi o sucroalcooleiro que tem como resíduos o bagaço e a palha de cana-de-açúcar.

III.1. Setor sucroalcooleiro

A cana-de-açúcar atualmente já serve como matéria-prima para biorrefinarias, uma vez que as usinas existentes geram açúcar, biocombustível (no caso o etanol de primeira geração), fertilizantes através da vinhaça e energia elétrica através da cogeração pela queima do bagaço (VAZ JR, 2013). Porém, essa cadeia possui um grande potencial para agregar ainda mais valor, principalmente através dos açúcares contidos no bagaço e na palha da cana que começam a ter uma tecnologia embrionária para o seu aproveitamento, conforme visto na figura 8.

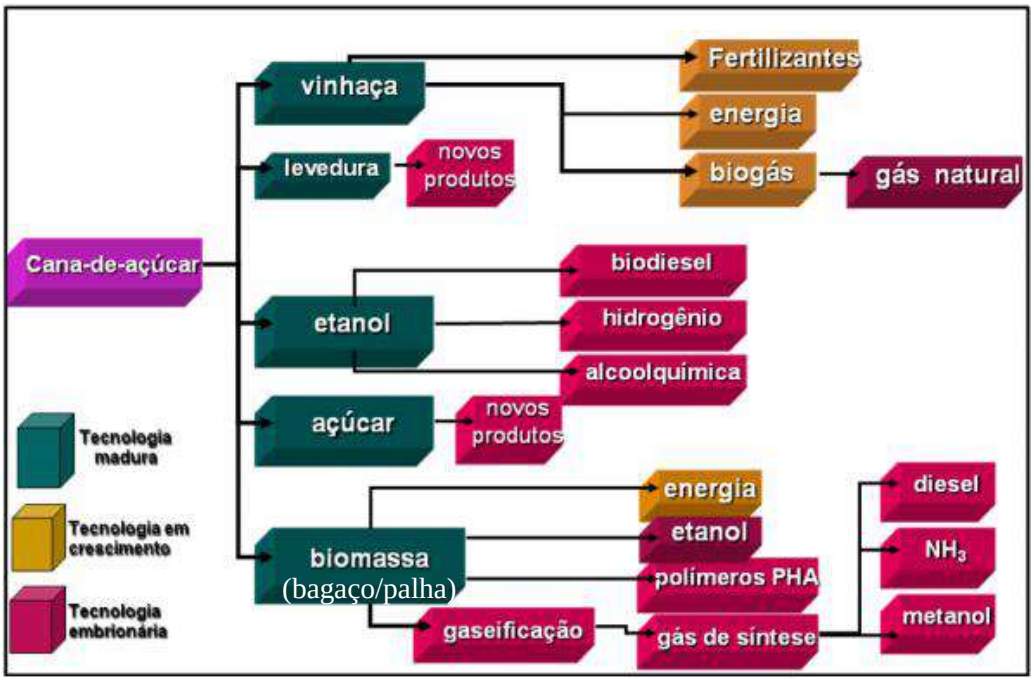


Figura 8– Separação da palha na colheita mecanizada
Fonte: Romão (2009)

Além disso, a escolha foi baseada em dados da Fiesp (2013) sobre as projeções para o agronegócio brasileiro, a qual prevê que o mercado de cana-de-açúcar no Brasil ocupará uma área de 13,1 milhões de hectares na safra de 2022/2023 em um cenário otimista, representando uma expansão de 43% em relação à safra de 2010/2011, informação ilustrada na figura 9. Para tornar essa medida mais tangível, é possível fazer uma equivalência dessa área de plantio com todo território da Inglaterra. Sendo o bagaço o resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas e a palha o resíduo fibroso da colheita, pelos dados apresentados na tabela 3, suas quantidades geradas são de aproximadamente 270 quilos de bagaço e 165 quilos de palha por tonelada de cana processada, é nítido que o crescimento da geração pode se tornar um problema caso esses materiais não sejam aproveitados.

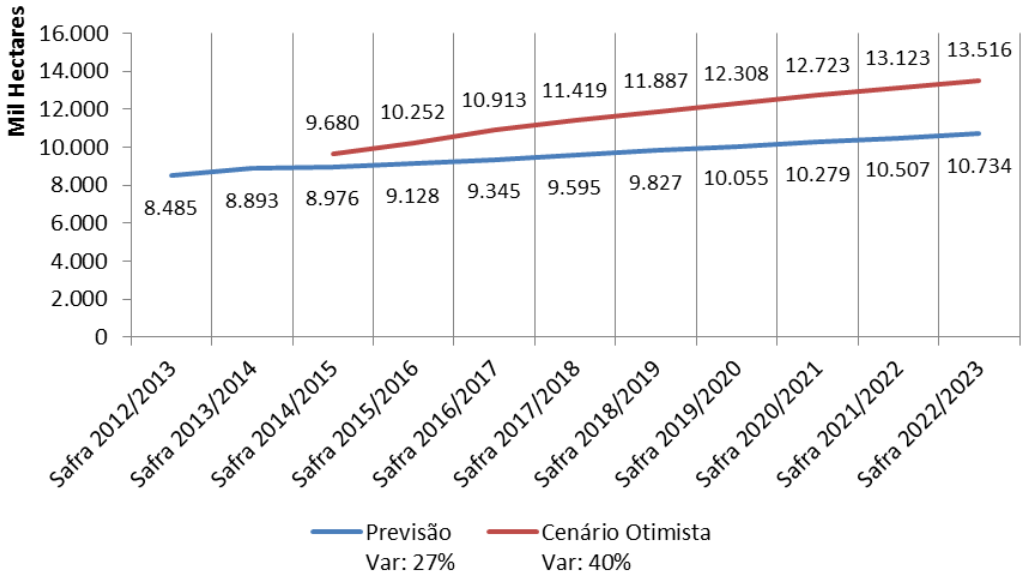


Figura 9 - Projeção até safra 2022/2023 da área plantada de cana-de-açúcar

Fonte: Fiesp (2013)

O aumento no plantio de cana-de-açúcar influencia diretamente o aumento de seus produtos, ou seja, na produção de etanol e de açúcar. Segundo a Nova Cana (2013), como safra de cana-de-açúcar é responsável por estes dois mercados, etanol e açúcar, há uma concorrência entre esses pela oferta da cana-de-açúcar na moagem. A produção de etanol é o principal objetivo desse trabalho, por se tratar atualmente de um dos principais blocos-construtores, isto é, uma molécula precursora para a síntese de vários produtos como a conversão do etanol para etileno e sequencialmente para a produção de diferentes polietilenos (VAZ JR, 2013). A seguir será detalhado mais a respeito do atual cenário brasileiro de oferta de cana-de-açúcar e sua consequente produção de etanol.

Considerando os últimos dez anos, de acordo com Nova Cana (2013), a produção do setor sucroalcooleiro era voltada principalmente para o açúcar até 2003, ano da criação/comercialização do carro *Flex Fuel*. Com a comercialização dos carros *flex*, o etanol passou a ser mais favorável do que o açúcar de modo que a representatividade do destino da cana-de-açúcar se inverteu passando a ser em favor do etanol, que atingiu 58% de participação na safra de 2008/2009. No entanto essa representatividade varia de ano para ano e de acordo com o cenário global de qual mercado irá remunerar melhor a usina e está limitada aos patamares máximos de produção de cada produto nas usinas.

Um exemplo dessa variação apareceu já na safra seguinte. Em 2009/2010 houve uma quebra da produção de açúcar na Índia, principal produtor mundial, além disso, a política de preços de combustíveis do Brasil resultou em uma baixa rentabilidade do etanol (NOVA CANA, 2013). Esses dois fatores levaram a produção de açúcar a ganhar gradativamente representatividade novamente, voltando a utilizar cerca de 50% da oferta de cana para moagem nesta safra. A Fiesp (2013) projetou um possível cenário dessa competição entre açúcar e etanol pela oferta de cana, em que, em 2023, 60% será para a produção de etanol. Assim, vale ressaltar que se trata de uma análise sensível a muitas variáveis externas, tendo, dessa forma, um potencial de alta variabilidade na curva registrada na figura 10.

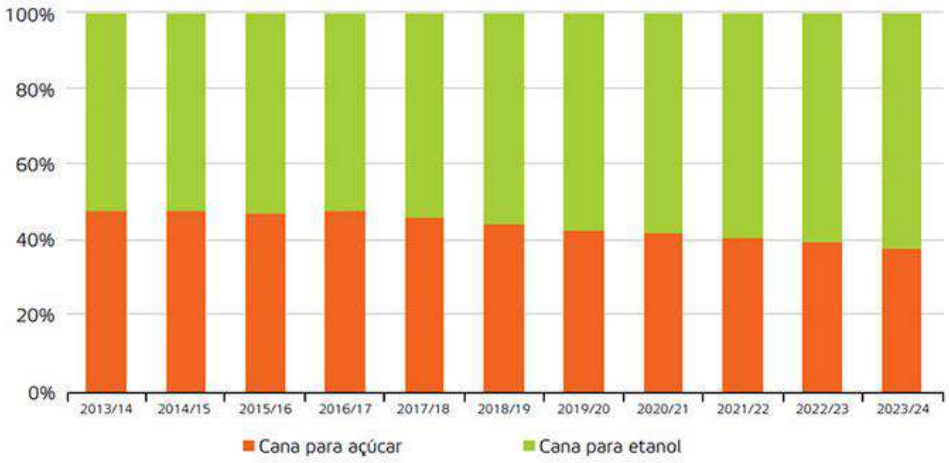


Figura 10 – Projeção até safra 2023/2024 do destino da cana-de-açúcar brasileira

Fonte: Fiesp (2013)

Além da competição com o mercado de açúcar, outro fator pode alterar a produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar. Esse outro fator é a produção via segunda geração, foco desse trabalho, em que se utiliza como matéria-prima o bagaço proveniente da moagem tanto para etanol quanto para açúcar e a palha de cana gerada durante seu cultivo (VAZ JR, 2013). Essa técnica tem o potencial de aumentar a produtividade de etanol por área de cana-de-açúcar plantada. Porém, ainda não há a consolidação comercial da segunda geração, uma vez que suas primeiras unidades no Brasil estão em fase de construção, que, juntamente com outras inovações, resultaram em projeções feitas pelo Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento (MAPA, 2013) da produção de etanol com altos índices de variância, como podem ser verificadas na figura 11.

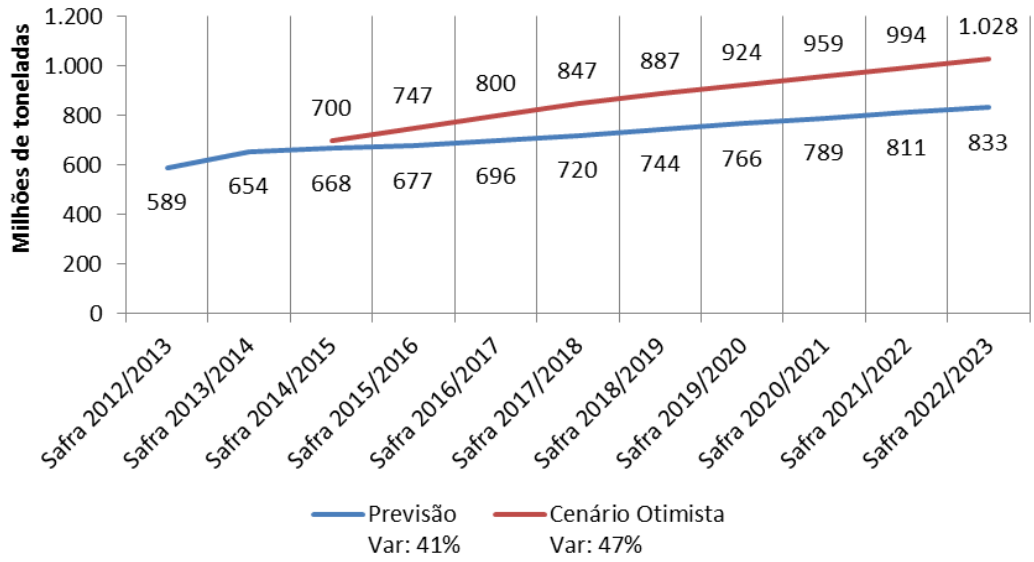


Figura11 – Projeção até safra 2022/2023 da produção de etanol
Fonte: Elaboração própria a partir de MAPA (2013)

A produção no Brasil não é homogênea em todo o país, tendo regiões com maior área plantada e consequentemente maior concentração de usinas. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) comprova essa concentração, ilustrada na figura 12, através das unidades que estão devidamente autorizadas pela agência para produzir etanol de primeira geração em 2013 e por conta disso são usinas potenciais para o processo via segunda geração.

Essa concentração de usinas em determinados regiões, principalmente Centro-Sul, gera uma diferença na capacidade de produção de etanol para cada região. Além do número de usinas, outro fator apontado pela pela Nova Cana (2013) que também influi nesse número é a diferença na concorrência com o açúcar para cada localidade. Atualmente, a representatividade de cada região brasileira sobre a capacidade de produção de etanol por m³/dia indica que a região Sudeste sozinha representa 59% da produção de etanol nacional, conforme indicado na figura 13.

Figura 12 – Mapa brasileiro da localização regional das usinas de cana-de-açúcar
Fonte: Nova Cana (2013)

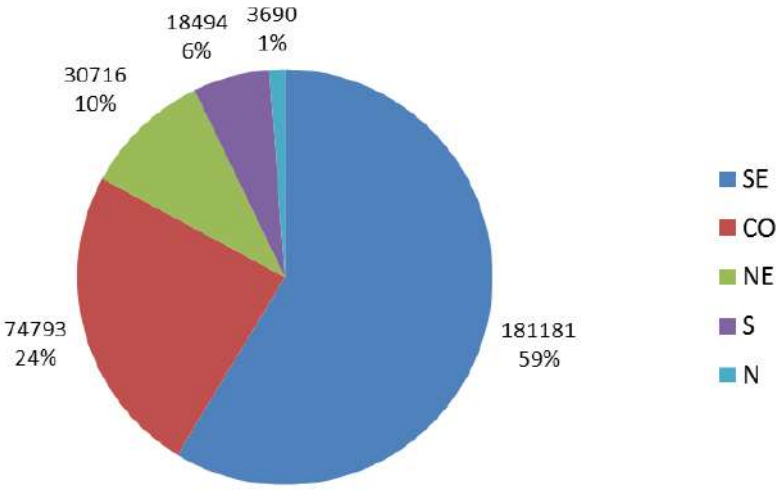


Figura13 – Representatividade regional sobre a produção de etanol em m³/dia
Fonte: Nova Cana (2013)

Com os valores apresentados, é possível calcular a capacidade média das usinas, dividindo a capacidade total em m³/dia de cada região pelo número de usinas que lá

estão localizadas[5]. Os dados apresentados na figura 14 mostram que o Centro-Oeste é a região onde as usinas possuem a maior capacidade média de produção de etanol. As diferenças obtidas na capacidade média são decorrentes de diferenças regionais, por exemplo, o porte das usinas. Segundo a ANP (2013) entre as cinco usinas com maior capacidade, quatro estão na região Centro-Oeste. Outra diferença apontadas pela ANP (2013) é a representatividade do uso da cana-de-açúcar para a produção de etanol e do nível médio de ociosidade das usinas num horizonte de 180 dias, devido às influências de safra, que para cada região varia de 40 a 60%.

Segundo Faria (2013) admite não ser possível determinar quais motivos levam as usinas a não produzirem o máximo que suas capacidades permitem. Faria (2013) também faz a ressalva na associação de operações menos eficientes com maiores dificuldades de produção (devido a fatores climáticos ou pragas, por exemplo), além de uma menor flexibilidade para lidar com possíveis imprevistos que surgem no decorrer da safra que pode levar a usina a paradas, planejadas ou não.

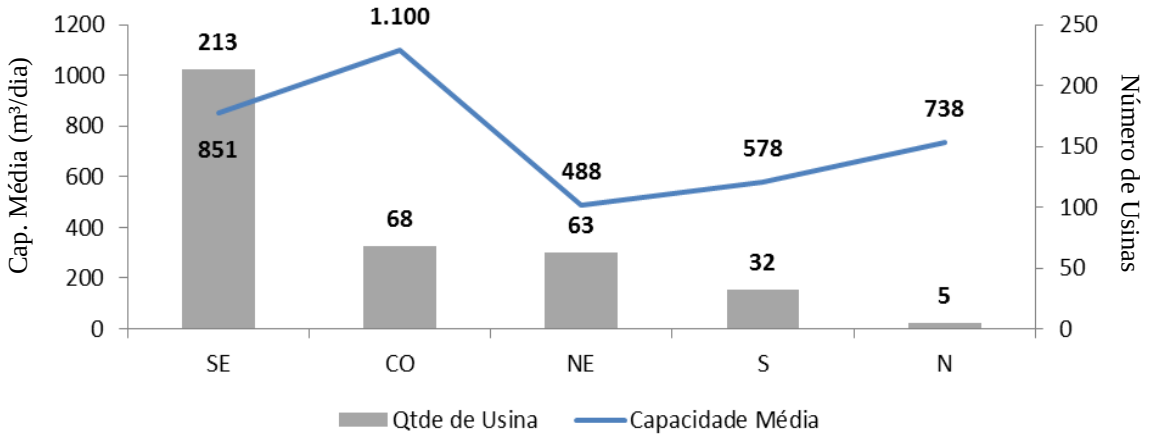


Figura14 – Quantidade de usinas versus capacidade média por região
Fonte: Elaboração própria a partir de Faria (2013)

O cenário de produção de etanol a nível regional serve para fornecer uma visão amplificada da concentração da cana-de-açúcar destinado ao etanol no Brasil, de modo a indicar onde este mercado está mais concentrado. Mas, para aprimorar as futuras análises sobre os impactos logísticos sobre o uso dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar, o bagaço e a palha, é necessário especificar melhor a localização do plantio da

[5] Premissa de 180 dias de operação da usina

cana-de-açúcar. A princípio o parâmetro da localidade será amplificado para o nível dos Estados. Dessa forma, as usinas passam a estar distribuídas conforme a figura 15.

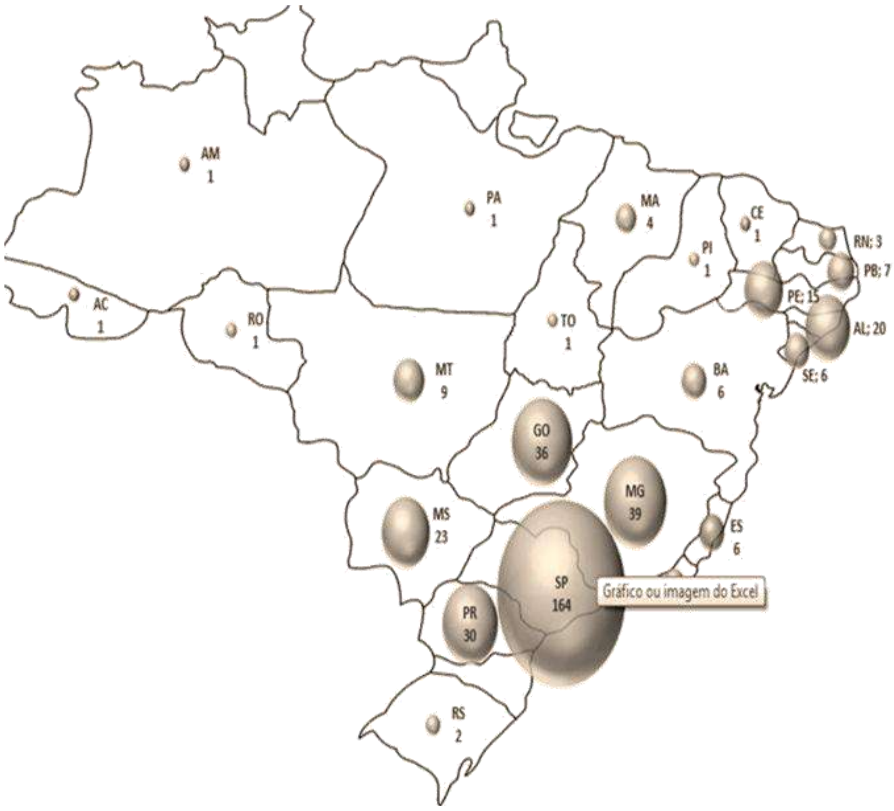


Figura 15 - Mapa brasileiro da localização estadual das usinas de cana-de-açúcar
Fonte: Nova Cana (2013)

Como ilustrado na figura 15, alguns estados concentram a maior parte das usinas de cana-de-açúcar. Separando os sete principais estados no quesito de capacidade de produção de etanol, percebe se na tabela 5 que 90% da produção nacional está concentrada nesses estados. São Paulo se caracteriza como principal produtor que possui uma fatia de 47% da produção. No entanto, a capacidade de produção de etanol média por m³/dia de suas usinas não lidera o *ranking*, ficando com o Estado de Mato Grosso a liderança, conforme ilustra a figura 16.

Para Bressan Filho (2010), a principal característica do setor sucroalcooleiro, por se tratar de uma atividade agroindustrial, é a sazonalidade da produção da matéria-prima. Por se tratar de uma produção sazonal, o período de colheita é dissociado das necessidades do consumo, isto é, a oferta que se concentra nos meses do ano-safra não está diretamente regulada pela demanda que ocorre durante todo o ano. Dessa forma é preciso formar estoques de etanol no período da colheita para regularizar a oferta no período da entressafra.

Tabela 5 – Dados de capacidade dos principais estados produtores de etanol

Estado (UF)	Capacidade Total (m³/dia)	% da Produção Nacional	Qtde de Usinas	Capacidade Média (m³/dia)
SP	146059	47%	164	890,60
GO	37755	12%	36	1048,75
MG	30255	10%	39	775,77
MS	24354	8%	23	1058,87
PR	18433	6%	30	614,43
MT	12684	4%	9	1409,33
AL	10635	3%	20	531,75

Fonte: Elaboração própria a partir de Faria (2013)

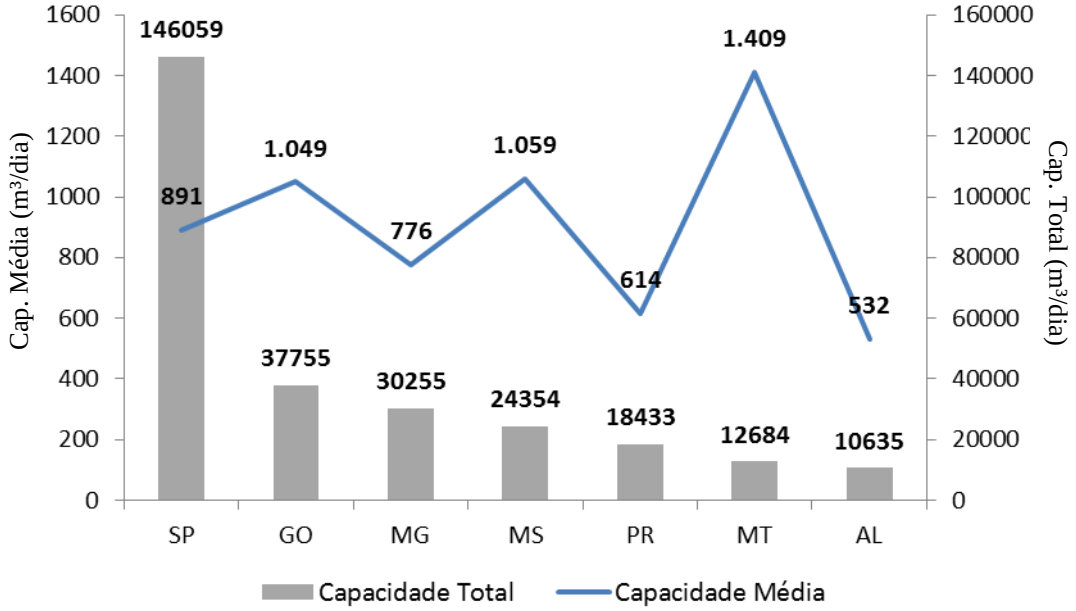


Figura16 – Capacidade total versus capacidade média de produção de etanol por estado (m³/dia)
Fonte: Elaboração própria a partir de Faria (2013)

O período em que não há colheita é chamado de entressafra, Nesse período as usinas estão paralisadas ou produzindo um volume que seria insuficiente para atender à demanda. Assim, a formação dos estoques deve ocorrer ao longo do período de colheita, por se tratar de meses em que o montante da produção excede o volume das vendas (BRESSAN FILHO, 2010). Porém, devido às dimensões continentais do Brasil, seus estados possuem diferentes condições climáticas, tendo meses de safras diferentes em alguns estados.

Conforme as figuras 17 e 18, os meses que compreendem o período de safra nos estados da região Centro-Sul, isto é, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito

Santo, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, se estendem de maio até novembro. O motivo para se ter esses picos de cultivo/colheita nesses meses é por que oferecem condições de clima mais seco, sem chuvas torrenciais. Este é um fator favorável para a realização da colheita e a concentração da sacarose na planta, uma vez que os solos encharcados dificultariam a colheita e haveria uma perda dos açúcares presentes na cana.

Já nos estados da região Nordeste, como ilustrado na figura 18, o período adequado de moagem se estende aproximadamente de setembro a março, tendo algumas variações de acordo com o fim do período chuvoso e condições locais.

Vale ressaltar novamente que como visto na figura 13, a região Centro-Sul concentra 90% da produção nacional de etanol, restando os outros 10% para o restante do país. Dessa forma, ao verificar o preço do etanol praticado nas usinas, percebe se que sua curva é inversamente proporcional à sazonalidade da região Centro-Sul, tendo seu menor preço quando há o pico de produção nessa região referente ao final do mês de agosto e início de setembro, conforme mostra a figura 19.

Figura17– Sazonalidade da produção de etanol para a região Centro-Sul
Fonte: Bressan Filho (2010)

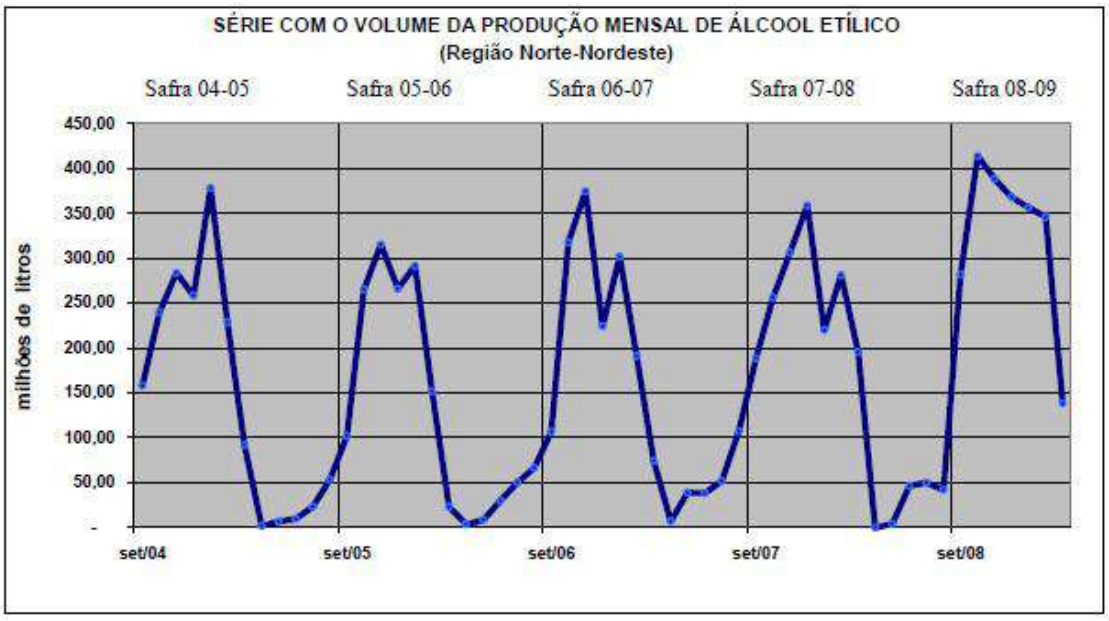


Figura18–Sazonalidade da produção de etanol para a região Norte-Nordeste
Fonte: Bressan Filho (2010)

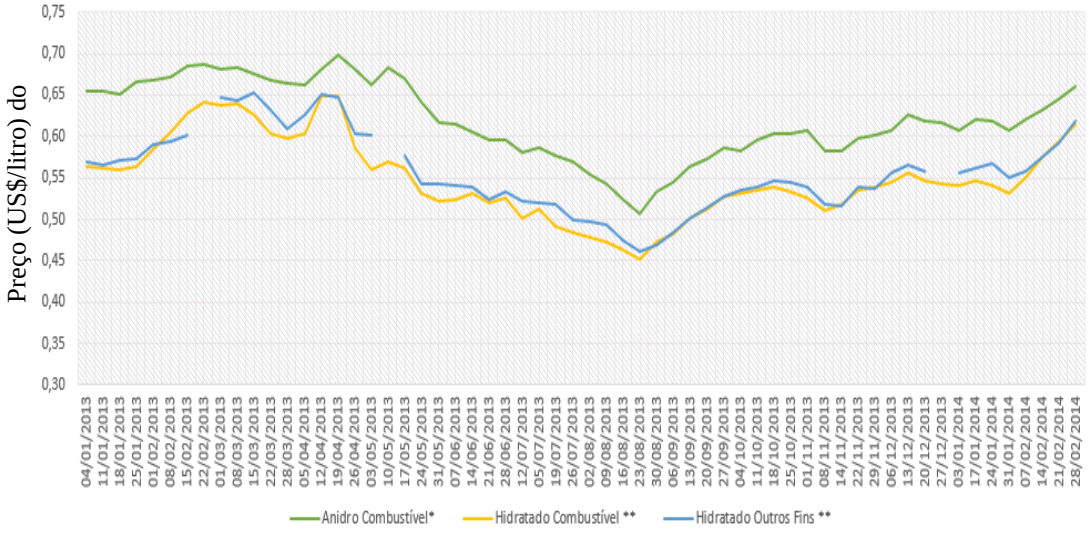


Figura19– Preço em dólar (US$) do etanol
Fonte: Bressan Filho (2010)

Além disso, por se tratar de uma matéria-prima da agroindústria, o rendimento econômico da cana-de-açúcar é influenciado pelo seu processo de maturação. Este pode ser definido como o processo fisiológico que envolve a formação de açúcares nas folhas e seu deslocamento e armazenamento no colmo (ROSSETO, 2008). Os açúcares são os precursores das biorrefinarias, mas segundo Rosseto (2008), para ser utilizada

industrialmente a cana teve ter um teor mínimo de sacarose de 13% do peso do colmo de modo a compensar os principais custos com a produção.

Além da cana-de-açúcar ser colhida somente quando atinge um índice de maturação desejável, ou seja, uma porcentagem de açúcar solúvel que garanta a sua rentabilidade, a cana deve ser utilizada em máximo em 24 horas. Caso o colmo da cana fique armazenado por mais de um dia podem ocorrer fermentações indesejáveis, podendo conduzir a uma conversão de 50% dos açúcares solúveis em ácidos orgânicos e álcool, tendo assim um declínio rápido no teor de sacarose (ROSSETO, 2008).

Levando em conta a impossibilidade do armazenamento do colmo por longos períodos, a cana-de-açúcar deve ser obtida em locais que não excedam uma distância determinada de seu local de processamento (CAMELINI, 2012). A distância máxima até a usina deve ser calculada para cada região, porque irá depender de critérios como o modal de transporte a ser usado, a qualidade das vias disponíveis, a demanda por matéria-prima, o tipo de cana utilizada, a valorização da terra devido a questões imobiliárias, dentre outros.

Já para a biomassa lignocelulósica é diferente, pois ao invés de açúcares solúveis, sua composição consiste principalmente em celulose, hemicelulose e lignina (TAIZ & ZEIGER, 2004). A celulose é formada por cadeias lineares de D-glicose, fortemente alinhadas e ligadas entre si, que praticamente a deixa inacessível ao ataque enzimático, o que resulta em uma difícil degradação. Já a hemicelulose é formada por cadeias altamente ramificadas de xilose e arabinose, além de outras, sendo dessa forma mais facilmente hidrolisável.

Taiz e Zeiger (2004) apontam que o bagaço, após a extração do caldo, também pode sofrer fermentação, devido ao alto teor de umidade e à ação microbiana. Essa deterioração é causada principalmente por fungos que podem ser divididos de duas maneiras, aqueles que destroem os polissacarídeos da parede celular, ou seja, hemicelulose e celulose, e os que também destroem a lignina. Trata-se de um processo exotérmico, o qual provoca a deterioração do bagaço e afeta diretamente suas características, uma vez que a fermentação faz com que o interior da pilha de bagaço estocada atinja temperaturas elevadas, em torno de 60ºC, contribuindo para a decomposição.

Um estudo feito por Santos et al (2011) teve como objetivo analisar a influência do tempo e das condições de estocagem na deterioração do bagaço de cana durante o processo de estocagem através de técnicas termoanalíticas (TG/DTA/DSC) [6] obtidas em atmosfera com ar com uma razão de aquecimento de 10^0C/min. Primeiramente eles coletaram amostras de um bagaço recém-moído e outro da safra anterior que estava estocado no pátio de uma usina. Para o material recém-moído foram evidenciados quatro estágios de perda de massa nas curvas de DTG, relativos à umidade, hemicelulose, celulose e lignina. A umidade representou 55,5% de perda de massa a temperatura máxima de 59 ºC, já para hemicelulose e celulose houve uma perda de 30% com temperaturas máximas em 298 e 323 ºC, respectivamente, e a lignina com 13,5% de perda com temperatura máxima em 433 ºC, o que confere com os dados apresentados na tabela 4.

Já para o bagaço da safra anterior foi evidenciado a ocorrência de apenas três estágios de perda de massa, referentes à umidade, celulose e lignina. A umidade nesse caso representou uma perda de massa de 44,5%, a celulose 33,5%, em 311 ºC e a lignina 19% em 374 ºC. Tais resultados evidenciaram que durante a estocagem do bagaço da safra anterior a hemicelulose se decompôs e ocorreu o fenômeno da deslignificação das fibras do bagaço (SANTOS et al, 2011). Isso foi verificado pela ausência de hemicelulose e pelo fato da lignina passar a se decompor mais rapidamente a uma temperatura menor.

Além desse comparativo entre o bagaço recém-moído e da safra anterior, o estudo de Santos et al (2011) monitorou três amostras de bagaço recém-moído por 150 dias, tempo aproximado de duração das entresafras. A primeira amostra, chamada de bagaço natural,foi exposta às intempéries como sol, vento, exceto chuva. Já a segunda amostra, chamada de bagaço seco, foi seca ao sol por 3 dias e sem exposição as intempéries, e por último a terceira amostra, chamada de bagaço úmido, foi aspergida com água durante 1 min todos os dias além de ter exposição as intempéries.

Em todas as amostras houve perda de seu poder calorífero (J/g), causado pela degradação da biomassa, com o passar do tempo, independentemente da secagem do

[6] TG/DTA/DSC são técnicas analíticas. TG analisa a propriedade de massa através da técnica de Termogravimentria, DTA analisa temperatura através de Análise Térmica Diferencial e DSC analisa a entalpia através da Calorimetria Exploratória Diferencial.

bagaço e sua exposição às intempéries, conforme a tabela 6. Como a perda para o bagaço úmido foi mais intensa, Santos et al (2011) a relacionou com a fermentação do bagaço, causada pela presença de fungos que degradaria a parte não fibrosa do bagaço de cana-de-açúcar. Assim os resultados das análises termogravimétricas mostram que há uma perda de cerca de 30% da biomassa do bagaço de cana, em períodos de estocagem de até 150 dias.

Tabela 6 – Degradação do bagaço da cana-de-açúcar, em J/g, ao longo de 150 dias

Análise	Bagaço natural	Bagaço seco	Bagaço úmido
Inicial	12680	12680	12680
15 dias	12006	11024	7428
45 dias	11133	10433	6236
75 dias	8796	10478	6135
150 dias	8988	8588	6062

Fonte: Santos et al (2011)

Essa deterioração é significativamente menor do que a apresentada para os açúcares solúveis no colmo da cana-de-açúcar. Porém, atualmente não existe nenhuma técnica ou projeto de estocagem do bagaço, este é simplesmente enviado a um pátio, aonde tratores vão depositando o material em pilhas de bagaço de cana-de-açúcar, que pode chegar a ter cerca de 300 m de extensão, 100 m de largura e 40 m de altura, o que corresponde a aproximadamente 100.000 toneladas de bagaço estocadas. Assim acaba gerando o envelhecimento do estoque nas pilhas, já que é depositado aleatoriamente, sem nenhum controle do tempo de armazenagem, o que interfere diretamente na qualidade do material, como visto no estudo de Santos et al (2011).

Como o colmo precisa ser processado o mais rápido possível, devido ao contra tempo do rápido declínio da porcentagem de sacarose na cana-de-açúcar após a colheita, seus locais de processamento possuem um raio restrito de atuação e requerem pequenos tempos de transporte para não haver perdas significativas do material ao longo do percurso. A restrição espacial e a necessidade de um baixo tempo de transporte são limitantes que levam a descentralização das usinas, o que causa perdas na economia de escala da usina. Mesmo que tecnologicamente fosse possível processar maiores capacidades, a rápida degradação da matéria-prima impede esse avanço.

Dessa forma, percebe-se que o uso do bagaço de cana-de-açúcar proporcionaria uma maior flexibilidade na rede de logística. Para essa matéria-prima, como não há alta perecibilidade, a rede logística não precisa ter uma restrição espacial e tempos de transporte tão curtos. Isso permite consolidar a carga e consequentemente possibilita o seu uso direto em indústrias de maiores escalas, caso seja tecnologicamente viável esse aumento de escala. Para tornar essa diferença de escala mais tangível, atualmente existem quase 400 usinas de etanol de primeira geração no Brasil contra 11 refinarias que produzem o produto substituto do etanol, a gasolina. Considerando que os outros resíduos agrícolas possuem um comportamento similar ao bagaço da cana-de-açúcar, pode-se pensar em estruturas de rede logísticas mais centralizadas em um local de processamento para essas biomassas, no caso biorrefinarias, tendo assim um potencial para ganhos de escala.

IV. Infraestrutura Brasileira

Neste capítulo o assunto a ser abordado será a infraestrutura brasileira e os e modais de transporte destinados preferencialmente ao transporte de cargas. Segundo de Paula e Faveret Filho (2004), a expansão do agronegócio e de outras atividades produtivas a ele vinculadas possui uma correlação direta com a infraestrutura necessária para o escoamento da produção. Para os autores, cada vez mais se exige velocidade, qualidade e baixos custos, uma vez que a escolha do modal de transporte e consequentemente o frete são componentes muito significativos nos custos finais do agronegócio.

Atualmente a matriz de transporte brasileira é predominantemente rodoviária, como mostra a figura 20. Comparando o Brasil com outros países de dimensões territoriais semelhantes, observa-se que existe um desalinhamento da matriz brasileira em relação aos demais. Isto acaba provocando um custo logístico alto, o que deixa o Brasil com dificuldades para uma maior competitividade internacional.

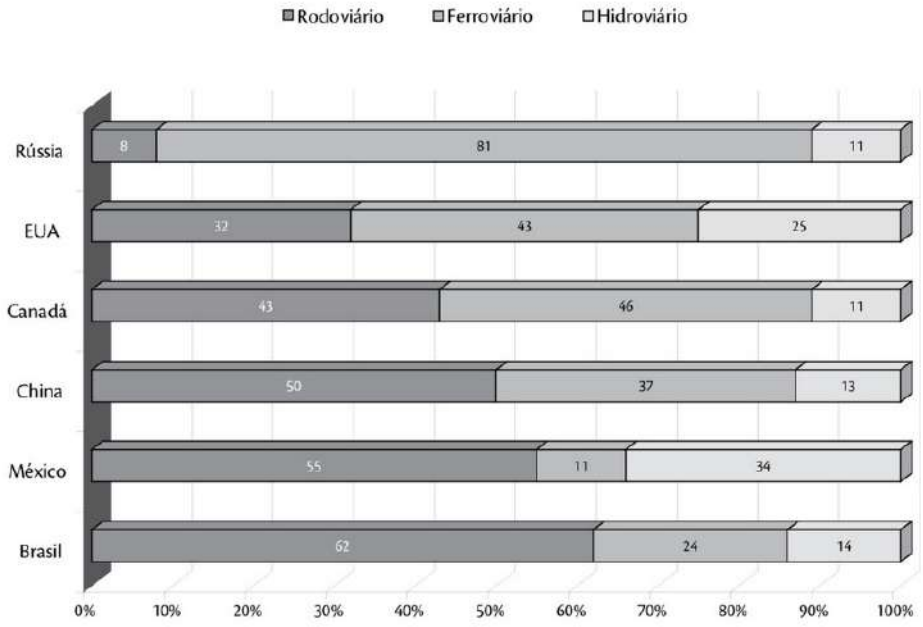


Figura 20 -Representatividade da matriz de transporte brasileira
Fonte: Nova Cana (2013)

Além do desalinhamento, de Paula e Faveret Filho (2004) apontam que existem outros fatores que aumentam os custos logísticos tanto para o mercado interno quanto para externo, como ferrovias obsoletas e ineficientes, algumas rodovias em estado precário - esburacadas ou sem pavimentação, além de poucas alternativas hidroviárias,

escassez de armazéns e portos sobrecarregados. Isso faz com que se tenha uma defasagem de custo logístico em relação ao restante dos países. Por exemplo, de Paula e Faveret Filho (2004) estimaram que para escoar produtos agrícolas para o porto, o frete no Brasil custa em torno de US$ 40 por tonelada, enquanto para um produtor do Mississipi, Estados Unidos, o valor fica em somente US$ 6,60 por tonelada. Este fato está ilustrado na tabela 7, elaborada pelo Instituto ILOS (2013), a respeito da participação e a média do frete praticado pelos modais, em relação à tonelagem por quilômetro rodado (TKU), de todas as movimentações de carga no Brasil e nos EUA.

Tabela 7 – Comparação entre modais no Brasil e nos EUA

	2013		2013	
	% TKU	US$ / Mil TKU	% TKU	US$ / Mil TKU
Rodoviário	67%	US$ 133	31%	US$ 310
Ferroviário	18%	US$ 22	37%	US$ 29
Aquaviário	11%	US$ 30	10%	US$ 10
Dutoviário	3%	US$ 25	21%	US$ 9
Aéreo	0,04%	US$ 1.060	0,3%	US$ 1.107

Fonte: Instituto ILOS (2013)

Para o caso do etanol a discrepância entre os custos logísticos fica ainda mais evidente. O setor sucroalcooleiro brasileiro possui um dos menores custos de produção do etanol, na faixa de US$ 0,18/litro, enquanto nos Estados Unidos é de US$ 0,33/litro e na Europa chega a US$ 0,53/litro (ALMEIDA et al, 2007). No entanto, no Brasil quando são adicionados os custos de transporte, tanto para a cana-de-açúcar quanto para o etanol produzido, o custo total da operação perde boa parte da competitividade apresentada no custo de produção. Dependendo da distância até seu destino final, o custo com transporte pode chegar a mais de 30% do custo final o que prejudica sua competitividade.

Nesse sentido, fica evidente a importância da infraestrutura nacional na formação dos custos finais. Para o mercado de etanol de primeira geração, conforme destacado por Neves et al (2000), “o processo industrial é antigo e conhecido, não sendo esperadas grandes melhorias tecnológicas. Já na logística de transporte, embalagem e

canais de distribuição, a tecnologia pode contribuir bastante para a redução de custos". A fim de facilitar as análises, a cadeia de etanol foi dividida em dois fluxos distintos.

O primeiro fluxo logístico na cadeia produtiva da cana-de-açúcar é a transferência desta matéria-prima para as agroindústrias processadoras, que são as usinas. A logística envolvida neste percurso é nomeada na literatura como CCT – Corte, Carregamento e Transporte (NUNES, 2010). Essa logística é o responsável por organizar os agentes que irão retirar a cana do campo, escolher quais áreas serão colhidas em quais épocas, definir a localização das frentes de corte (a distância máxima que a cana pode ser colhida de seu agente processador), dimensionar os equipamentos de transporte que serão utilizados e os intervalos de tempo em que esses veículos deixarão o campo e chegarão à usina, de forma a não perder a qualidade da matéria-prima e não causar longas filas.

É preciso lembrar que o colmo de cana precisa ser processado o mais rápido possível após ser colhido, uma vez que depois de retirado do solo perde a capacidade de reter açúcares, o que diminui a sua qualidade e que influencia no preço pago pela matéria-prima[7]. Isso requer uma boa infraestrutura local, uma vez que irá influenciar no tempo de chegada da cana à usina. Essa necessidade de um ágil processamento é diferente para o bagaço da cana-de-açúcar, como visto na seção II.2, mas como essa biomassa é proveniente da moagem da cana, seu processo está atrelado à logística CCT, o que não acontece com a palha, não precisando ir rapidamente para a usina após a colheita da cana.

O segundo fluxo é do etanol produzido nas usinas para os consumidores, podendo ser para mercado interno ou externo. Atualmente, segundo dados fornecidos pela Nova Cana (2013), percebe se que há um consumo maior no mercado interno em relação à exportação. Não há diferença, em termos de suas propriedades físicas ou

[7] O preço pago pela cana-de-açúcar é calculado de acordo com os seguintes parâmetros (CONSECANA, 2006):
"I – Qualidade da cana-de-açúcar expressa em kg de ATR (Açúcar Total Recuperável);
II – Preço médio dos produtos acabados, açúcar e álcool, livre de tributos e frete, na condição PVU (Posto no Veículo na Usina) e PVD (Posto no Veículo na Destilaria) por produtores do Estado de São Paulo, em relação ao mercado externo e interno;
III – Participação do custo da cana-de-açúcar (matéria-prima) no custo do açúcar e do álcool, em nível estadual; e
IV – Mix de produção e de comercialização do ano-safra de cada unidade industrial."

químicas, entre etanol proveniente do colmo ou dos resíduos agrícolas, isto é, primeira ou segunda geração. No entanto, logisticamente os resíduos agrícolas possuem possibilidade de uma maior consolidação das biomassas sem perda de seu valor. Isso faz com que haja novas possibilidades de arranjos logísticos que serão discutidos no próximo capítulo.

O atual fluxo de etanol de primeira geração, principalmente a infraestrutura utilizada, será mais detalhado neste capítulo no intuito de identificar suas principais características e seus principais gargalos. Por se tratar do mesmo produto, o etanol, os gargalos logísticos enfrentados pela primeira geração possuem forte potencial para também serem os futuros gargalos enfrentados pelo mercado do etanol de segunda geração. Além disso, Manoel Carnaúba, gerente da GranBio uma empresa com foco em etanol de segunda geração, disse numa entrevista à Nova Cana (2013): "Nosso foco inicialmente será o mercado externo, os Estados Unidos [...]". Pode-se concluir que o etanol de segunda geração da empresa terá uma vertente mais de exportação, o que ressalta a importância do detalhamento do fluxo de etanol para o porto.

A infraestrutura de um país varia ano após ano, seja por depreciação ou por investimentos. Vale ressaltar que durante muitos anos o Brasil teve investimentos cada vez menores em infraestrutura, como é possível observar através da figura 21, que mostra o investimento em transporte na forma de percentual do Produto Interno Bruto (PIB). Para mudar esse cenário, o governo federal lançou em 2007 o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que busca melhorar essa situação, apesar de ainda ter investimentos muito pequenos em comparação a outros países do BRIC (grupo de países composto de Brasil, Rússia, Índia e China), como a China e Índia, que investiram 10% e 8% do seu PIB no ano de 2011, respectivamente em infraestrutura de transporte (CNT, 2012). De qualquer modo, o presente trabalho apresentará a seguir a infraestrutura atual que pode ser utilizada para os dois fluxos da cadeia de etanol, como também apresentará as possibilidades que a infraestrutura prevista trará com os projetos que estão em andamento.

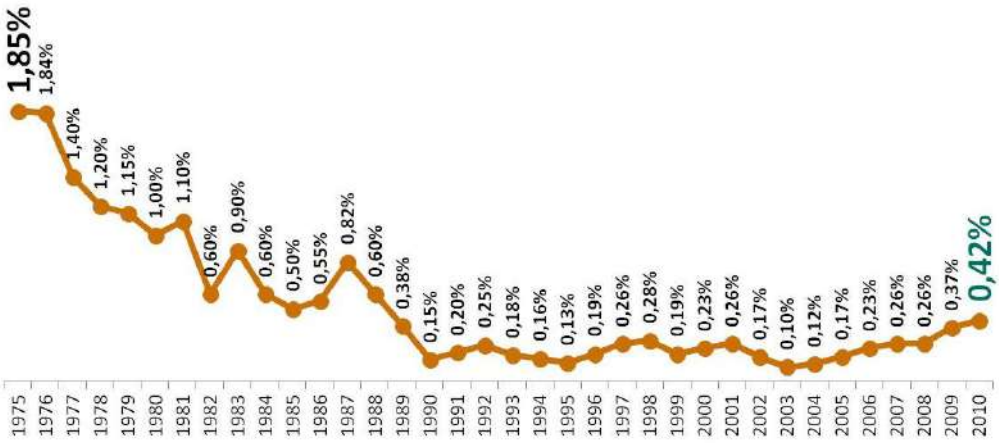


Figura 21 - Evolução do percentual do PIB brasileiro investido em transporte
Fonte: CNT (2012)

IV.1. Infraestrutura Atual

Como já dito anteriormente, a infraestrutura brasileira é apontada como um dos principais gargalos na competitividade do agronegócio, além de ser um parâmetro limitante como é o caso das frentes de corte. A fim de se entender melhor esse limitante, na presente seção foi feito um mapeamento da cadeia sucroalcooleira, incluindo os modais utilizados, os principais fluxos utilizados e a infraestrutura envolvida.

O transporte do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar pode ser realizado por diferentes modais que serão detalhados a seguir, onde cada modal possui especificações sobre quais e como o produto deve ser movimentado e suas limitações em termos de infraestrutura. O modal aéreo foi previamente eliminado da análise, pois possui um frete que inviabilizaria o mercado agroindustrial, uma vez que este é baseado em produtos de baixo valor agregado, conforme visto anteriormente na tabela 6.

IV.1.1. Modal Rodoviário

A malha rodoviária no Brasil possui diversos modelos de gestão, podendo ser administradas pelos governos ou pela iniciativa privada. Segundo um estudo do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP) feito em 2011, o estado de conservação da malha privatizada classificada como boa/ótima corresponde a 76,5% enquanto para a malha pública este percentual é de 22,40%. Estes dados são ilustrados na figura 22, que demonstra que o país possui uma qualidade de malha rodoviária pavimentada bem diversificada.

Figura 22– Condição da malha rodoviária brasileira
Fonte: CNT (2012)

Através da avaliação da figura 22, pode se identificar que no Sudeste e no Sul do país existe uma concentração de rodovias classificadas como ótimas e boas. O que corrobora o fato de que para essas regiões o modal rodoviário é mais competitivo em relação ao restante do país no transporte de carga.

Para as operações de corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar (CCT), o modal rodoviário é predominantemente utilizado, uma vez que este tem a flexibilidade de uma maior aproximação da área de colheita. Atualmente a prática mais utilizada para a colheita mecanizada é utilização de veículos de transbordo[8] na área de colheita, onde executa um transporte intermediário para o caminhão que fica aguardando próximo ao local (SILVA, 2006). Utilizam-se diferentes tipos de caminhão para esse transporte da cana à usina, conforme mostra a tabela 8.

O caminhão Truck tem capacidade de carregar até 10 toneladas de carga, enquanto os caminhões Romeu-Julieta, Treminhão e Rodotrem possuem capacidades de 25, 40, e 60 toneladas, respectivamente. Apesar do peso total influenciar na velocidade do caminhão carregado, Silva (2006) afirma que a variação na velocidade é de aproximadamente 5 km/h. Devido às baixa variação, este trabalho irá considerar que a

[8] Caçambas tracionadas por tratores.

velocidade média não é influenciada pelo tipo de caminhão e quantas toneladas este são capazes de carregar, mas e, sim, se o caminhão está ou não carregado. A partir das premissas utilizadas por Silva (2006), é possível definir as velocidades médias que os caminhões fazem tanto em rodovias asfaltadas como de terra, conforme apresentado na tabela 9.

Tabela 8 - Caminhões utilizados no transporte de cana-de-açúcar

Nome	Ilustração	Capacidade (ton)
Truck		10
Romeu e Julieta		25
Treminhão ou Bitrem		40
Rodotrem		60

Fonte: Silva (2006)

Tabela 9 – Velocidade média (km/h) para diferentes tipos de condições de operação.

Condições de Operação	Asfalto		Terra	
	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio
Velocidade Média (km/h)	34	55	23	30

Fonte: Silva (2006)

Já a distribuição de etanol, atualmente pode ser feita de duas maneiras. A primeira seria de uma ponta rodoviária até outro modal, isto é, curtos trechos rodoviários até terminais de transbordo para outros modais de transporte e a segunda maneira é o uso exclusivo do modal rodoviário para a distribuição do etanol (IBP, 2011). Atualmente existe uma predominância da modalidade rodoviária no transporte de etanol correspondendo a aproximadamente 90% do fluxo total de etanol, como pode ser

visto na figura 23. O fluxo do etanol consiste basicamente de rotas que são originadas nas usinas e destinadas ao mercado externo (portos) ou ao mercado interno (bases de distribuição).

UF Origem	UF Destino	Volume Total	Volume Ferro	Volume Rodo	% do total
SP	SP	9.767	733	9.033	42%
GO	GO	1.131		1.131	47%
PR	PR	1.029	278	750	51%
SP	RJ	874		874	55%
MG	MG	843	83	760	59%
MS	SP	827		827	62%
SP	PR	811	641	169	66%
MG	SP	757	106	651	69%
MT	MT	521		521	71%
MS	PR	477		477	73%
GO	SP	475		475	75%
SP	MG	397		397	77%
SP	RS	351	253	98	78%
GO	DF	311		311	80%
PE	PE	267		267	81%
MG	BA	222		222	82%
MS	MS	216		216	83%
AL	BA	200		200	84%
MG	RJ	188		188	85%
Total		23.266	2.096	21.171	

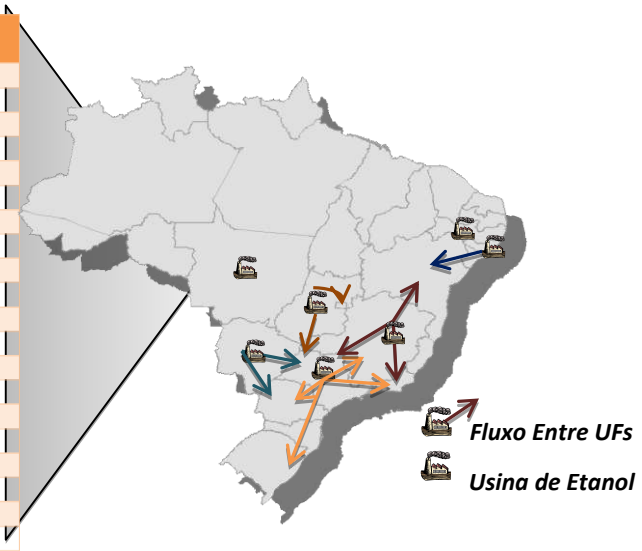


Figura 23 – Matriz com origem/destino do etanol, em 1000 m³, e modais utilizados.
Fonte: IBP (2011)

Os veículos que transportam etanol são chamados de veículos-tanque, estes são capazes de fazer a movimentação de granéis líquidos através de reboques que podem variar de 31 m³ a 47 m³, segundo a empresa de operação logística Jaloto (2014), a qual atende a esse mercado. Na figura 24 estão ilustrados possíveis configurações de veículos-tanque. Para este trabalho será usado como premissa que as velocidades médias desses veículos-tanques são as mesmas dos caminhões de granéis sólidos, apresentado na tabela 9.

Além disso, é preciso entender a formação do preço do transporte rodoviário. O preço do frete rodoviário é formado considerando o precificado através dos custos do transporte, e os fatores de mercado relativos ao produto e ao período de movimentação (SETTEN, 2010). Em relação aos custos de transporte, estes são divididos em custos fixos e variáveis.

(a) (b)

Figura 24–Possíveis configurações de veículos-tanque, sendo (a): Carreta Tanque e (b): Bitrem
Fonte: IBP (2011)

Os custos fixos são aqueles gastos desembolsados pelo detentor do equipamento de transporte independente da utilização do mesmo. Nota-se que, quanto maior for o uso do equipamento de transporte, maior a possibilidade de diluição dos custos fixos entre as cargas transportadas. Já os custos variáveis correspondem aos custos que variam conforme a utilização do equipamento, envolvendo combustíveis, gastos com pneus, lubrificação e manutenção. Para esses custos, quanto maior for a distância a ser percorrida pelo veículo, maior será seu gasto desembolsado.

Se o frete fosse determinado somente pelos custos de transporte, não haveria praticamente variações de frete ao longo do ano. No entanto, essas variações existem e são causadas pelos fatores ligados ao mercado. Segundo Setten (2010), estes fatores externos estão relacionados à safra do produto, à demanda internacional e à safra do produto concorrente no uso do transporte rodoviário.

De forma geral, verifica-se que, no Brasil, o modal rodoviário é flexível e com grande oferta de serviços. Sua flexibilidade o deixa aplicável a atender as sazonalidades de mercado, como o de *commodities* agrícolas, requerendo em comparação aos outros modais um baixo nível de planejamento, já que este modal pode atender a qualquer local e a qualquer momento, por ter uma grande oferta de serviço. No entanto, fica-se exposto às oscilações de frete e a custos de tonelada por quilômetro rodado mais altos. Além disso, por se tratar de um modal compartilhado com o fluxo de pessoas, é o modal que mais gera impactos sociais negativos, como acidentes e engarrafamentos.

IV.1.2. Modal Ferroviário

A principal vantagem que o modal ferroviário oferece se refere à capacidade de carregamento. Em comparação ao transporte rodoviário, cargas de alta tonelagem são preferencialmente transportadas por ferrovias, em especial quando é necessário percorrer longas distâncias (CNT, 2013). Como pode-se perceber na figura 25, cargas acima de 40 toneladas tornam o modal ferroviário o mais vantajoso, independente da distância percorrida. Além disso, o modal ferroviário se destaca por seus menores impactos ambientais e menores riscos de acidentes em comparação ao modal rodoviário.

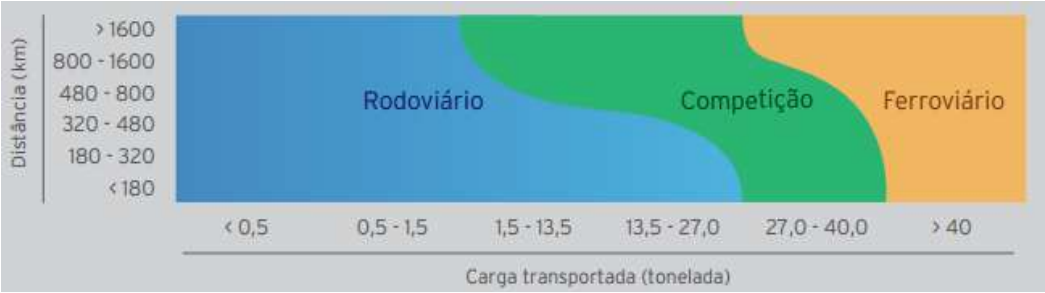


Figura25 – Competição do modal de transporte segundo a distância percorrida e peso de carga
Fonte: CNT (2013)

Assim como em outros países, as ferrovias brasileiras movimentam, principalmente, produtos de baixo e médio valor agregado, cujo custo de frete corresponde a uma significativa parcela do preço final do produto. Assim, os ganhos obtidos pelo uso desse modal reduzem os custos da tonelada. Exemplos desses produtos são basicamente produtos agrícolas e de extração mineral, combustíveis e produtos industriais de baixo valor agregado.

O sistema ferroviário brasileiro atualmente é composto de 28.692 km de malha ferroviária. Essa malha é composta por trilhos que possuem bitolas largas, métricas ou mistas, isto é, diferentes distâncias medidas entre dois trilhos da linha férrea. Esses dados são fornecidos pela CNT (2013), como pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10 – Extensão da malha ferroviária existente no Brasil

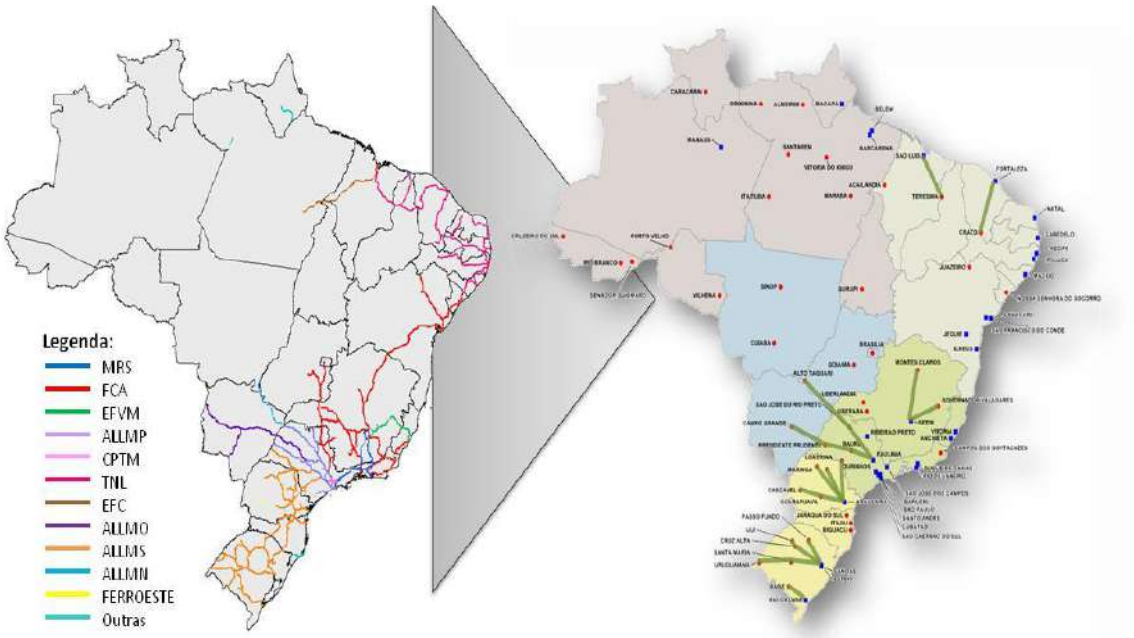
Ferrovias	Bitola			
	Larga (1,6 m)	Métrica (1,0 m)	Mista	Total
América Latina Logística Malha Oeste S.A. - ALLMO[1]	-	1.945	-	1.945
Ferrovia Centro-Atlântica S.A. - FCA	-	7.910	156	8.066
MRS Logística S.A. - MRS	1.632	-	42	1.674
Ferrovia Tereza Cristina S.A. - FTC	-	164	-	164
América Latina Logística Malha Sul S.A. - ALLMS	-	7.254	11	7.265
Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. - FERROESTE	-	248	-	248
Estrada de Ferro Vitória a Minas - EFVM	-	905	-	905
Estrada de Ferro Carajás - EFC	892	-	-	892
Transnordestina Logística S.A. - TLSA	-	4.189	18	4.207
América Latina Logística Malha Paulista S.A. - ALLMP	1.463	243	283	1.989
América Latina Logística Malha Norte S.A. - ALLMN	617	-	-	617
Ferrovia Norte-Sul - FNS - VALEC/Subconcessão:	720	-	-	720
SubTotal	5.324	22.858	510	28.692

Fonte: CNT (2013)

Porém, nem todas essas ferrovias são utilizadas atualmente para o transporte de etanol. A maior concentração de ferrovias utilizadas para o transporte do biocombustível está no Sul e Sudeste e a malha do Nordeste é muito pouco utilizada, conforme visto nos mapas da figura 26. Vale lembrar que o transporte da cana-de-açúcar para a usina é feito atualmente exclusivamente pelo modal rodoviário.

Como já citado anteriormente, a princípio considera-se que o etanol de segunda geração terá uma vertente mais de exportação. Portanto, dentro da malha ferroviária que trabalha com o mercado de etanol, destacam se as principais as linhas férreas com acesso aos principais portos do Centro-Sul brasileiro: a América Latina Logística (ALL), Ferrovia Centro Atlântica (FCA) e a MRS Logística.

A ALL acessa os portos de Rio Grande (RS), São Francisco do Sul (SC), Paranaguá (PR) e Santos (SP). Para os combustíveis, suas principais entradas, ou seja, pontos de carregamento são Canoas (RS), Araucária (PR) e Paulínia (SP). Já a FCA acessa os portos de Vitória (ES) e Santos (SP), tendo carregamento no Distrito Federal e mais sete estados brasileiros: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Sergipe, Goiás, Bahia e São Paulo. E, por último, a MRS Logística que acessa nos portos de Itaguaí (RJ) e Santos (SP), cortando os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.



(a) (b)

Figura 26 – Malha ferroviária existente no Brasil, sendo (a): malha total e (b):com transporte de etanol
Fonte: CNT (2013) e IBP (2013)

No caso do transporte de etanol, além da não utilização de todo potencial ferroviário, outros fatores comprometem a eficiência do modal ferroviário brasileiro. Entre eles estão gargalos físicos, financeiros e institucionais. Segundo a CNT (2013), não é possível apontar apenas uma única barreira para esse comprometimento, e sim uma conjunção desses fatores.

A velocidade comercial média das composições férreas é de aproximadamente 40 km/h. Porém, a CNT (2013) aponta que a existência das invasões de faixas de domínio[9] e as passagens de nível forçam a diminuição da velocidade das composições de 40 km/h para 5 km/h, caracterizando-se como um gargalo físico. Essa redução de velocidade limita a eficiência do transporte ferroviário, além de elevar os custos operacionais do modal e o risco de ocorrência de acidentes. Outro gargalo identificado pela CNT (2013) é a não uniformidade de bitolas, que dificulta a integração do sistema. Essa heterogeneidade tem impactos econômicos relevantes, pois impõe um custo

[9] Faixa de domínio é uma distância de 15 metros situados a margem das ferrovias de transporte de carga, no qual só poderá haver edificações, que não sejam ferroviárias, após essa distância.

adicional para a conexão entre as malhas e gera custos de transbordo e maior tempo na movimentação.

Em relação aos investimentos, a Revista Exame disse em 2010 em uma reportagem dedicada à infraestrutura, que um país com as dimensões do Brasil deveria ter 52.000 km em estradas de ferro para a integração do modal, ou seja, aproximadamente duas vezes superior ao atual. No entanto, para se dobrar o número de estradas de ferro atuais, seriam necessários muito mais recursos para o setor do que é investido atualmente. Porém, as concessões ferroviárias não previam essa obrigatoriedade da ampliação da malha pelo ente privado, portanto cabendo somente a investimentos públicos, caracterizando um gargalo institucional. Segundo a CNT (2013), esses contratos deveriam ser revistos de modo que o contratante de transporte ferroviário possa investir no modal, mas com garantias de nível de serviço e custos de transporte.

IV.1.3. Modal Hidroviário

O modal hidroviário é caracterizado como um modal de baixo custo operacional e reduzidos níveis de emissão de poluentes e acidentes. Porém, é pouco flexível em comparação ao modal rodoviário, uma vez que a natureza é quem determina a localização da via e por isso há a necessidade de conexões com outros modais, a fim de possibilitar uma logística integrada. O Brasil possui diversas bacias hidrográficas, constituídas por uma extensão de águas disponível para navegação de 29.000 km e mais outros 15.000 km que poderão se tornar disponíveis para transporte após investimentos como construção de eclusas[10] e obras de dragagem (IBP, 2011). Entretanto, atualmente, somente 13.000 km são utilizados comercialmente, conforme visto no mapa (a) da figura 27.

Conforme pode ser visto no mapa (b) da figura 27, para o transporte de combustíveis, como o etanol, as hidrovias utilizadas são as do Norte do país, da Bacia Amazônica, tendo como principal rota a hidrovia do Rio Madeira, entre Porto Velho e Manaus. Nesse trecho é escoado aproximadamente 200.000 m³ de etanol vindo do Mato Grosso com a finalidade de atender quase todo o consumo do Amazonas, Acre e

[10] Eclusa é uma obra da engenharia hidráulica, em que através de comportas é possível transportar cargas por canais onde existam desníveis de terreno.

Roraima (MILANEZ et al, 2010). No entanto, devido à baixa densidade populacional e consequentemente de demanda do local, esse fluxo não confere a nível nacional uma solução econômica impactante como ocorreria na região Centro-Sul. Além disso, nota-se que o modal é utilizado abaixo da potencialidade, tendo como exemplo a hidrovia Tietê-Paraná, a principal via hidroviária do Centro-Sul brasileiro.

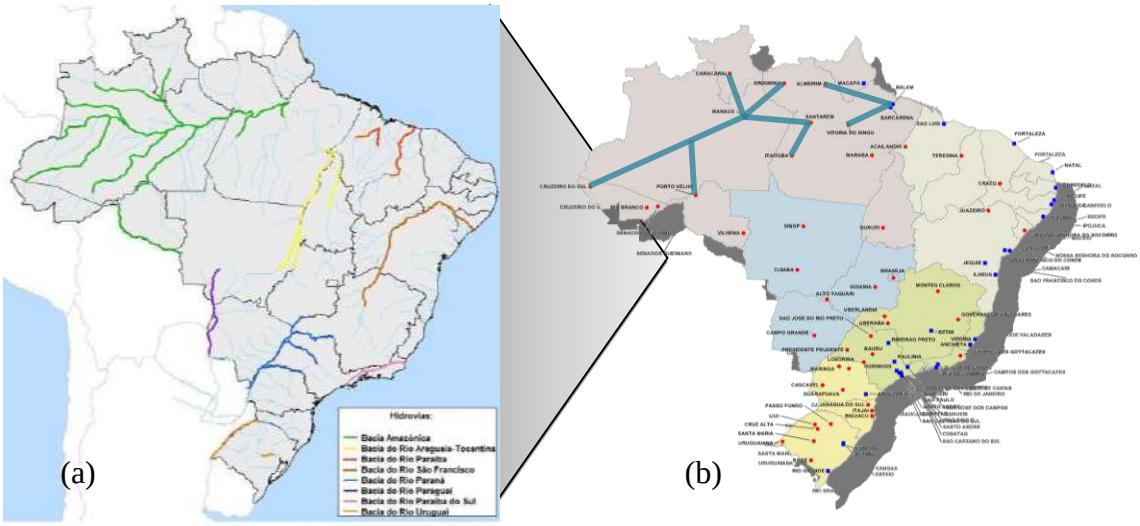


Figura 27– Malha hidroviária existente no Brasil, sendo (a): malha total e (b): com transporte de etanol
Fonte: CNT (2013) e IBP (2013)

A bacia hidrográfica do Tietê-Paraná, que seria capaz de atender aos produtos do setor sucroalcooleiro devido a sua localização privilegiada, possui uma extensão de 2.400 km e enorme importância econômica por permitir o transporte de três estados: Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo, além de fazer fronteira do Paraná com o Paraguai e a Argentina (NUNES, 2010). Para o IBP (2011), o total de cargas transportadas na hidrovia Tietê-Paraná anualmente se aproxima de quatro milhões de toneladas, valor abaixo de sua capacidade total de transporte que está estimada em 20 milhões de toneladas anuais.

No entanto, para essa capacidade ser atingida, é preciso investimentos em infraestrutura de eclusas para possibilitar o transporte contínuo. Além disso, os rios nacionais geralmente não desembocam no oceano (NUNES, 2010). Isso significa que para o transporte de exportação, o modal hidroviário deve ser complementado por outros modais para conseguir movimentar o produto até seu destino final, os portos. Para a hidrovia Tietê-Paraná, os atuais pontos de descarga são no Anhembi (SP), Santa

Maria da Serra (SP) e Pederneiras (SP), por onde o transporte hidroviário é ligado ao modal rodoviário ou ferroviário para finalizar o transporte até o Porto de Santos. Esse transbordo tanto para o carregamento quanto para o descarregamento se torna um gargalo logístico para a utilização deste modal, uma vez que o gasto total com o frete corresponde aos custos hidroviários mais os custos com o transbordo e as pontas de outros modais no carregamento e descarregamento.

Além disso, para transportar a produção de etanol utilizando o sistema hidroviário, as empresas que atuam nesse modal de transporte precisam fazer adaptações, já que existem diferenças quanto à segurança para o transporte de combustíveis. Essas adaptações consistem em aumentar as barcaças e a potência de empuxo (NOVA CANA, 2013), em que as barcaças são os "vagões" onde a carga é carregada e os empurradores empurram as barcaças, conforme ilustrado na figura 28, no qual está destacado o empurrador. Outro ponto importante é a necessidade de armazenamento prévio do produto no ponto de transbordo para posterior carregamento, uma vez que este modal é característico de grandes volumes.

Figura 28–Equipamento de transporte hidroviário: empurrador e barcaça
Fonte: Nunes (2010)

A velocidade média dos equipamentos de transporte pelo modal hidroviário é muito baixa, variando de 10 a 12 km/h, o que confere um elevado tempo de viagem pela hidrovia. Adiciona-se ainda o fato de se gastar muito tempo na passagem pelas eclusas, já que os comboios precisam ser desmembrados para permitir a passagem, o que,

segundo Nunes (2010), gera uma fila comboios que podem impactar dias no tempo gasto na viagem.

Mesmo com esses gargalos atuais, após investimentos, o modal poderia reduzir custos logísticos e provocaria uma diminuição na emissão de poluentes para a carga transportada. Assim, seria uma alternativa econômica para o transporte tanto dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar (caso perto do local de moagem haja uma hidrovia) como o do etanol, principalmente para o mercado interno. Esta afirmativa é corroborada pelo fato de existir um projeto chamado Logum que originou uma empresa de mesmo nome, que será detalhado na seção de infraestrutura futura, com interesse em movimentar etanol pela hidrovia Tietê-Paraná a partir do final de 2014. Para isso a empresa está investindo na construção de terminais de recepção de combustível na hidrovia (LOGUM, 2014).

IV.1.4. Modal Dutoviário

O modal dutoviário é caracterizado pelo transporte de grandes volumes de granéis líquidos, necessitando de fluxo contínuo e alto grau de planejamento, uma vez que não apresenta flexibilidade na alteração entre origens e destinos. Assim é preciso ter certeza sobre o volume que será movimentado, bem como a oferta e a demanda dos produtos devem ser bem definidas (NUNES, 2010). Quanto ao seu custo, o modal possui custos variáveis mais baixos e custos fixos mais altos que os modais rodoviário e ferroviário. Devido à sua característica líquida e de oferta e demanda com menor sazonalidade, apenas o etanol do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar tem a possibilidade de ser transportado por esse modal.

No Brasil a maior parte da rede de dutos é operada pela Transpetro, que armazena e transporta petróleo, derivados de petróleo, biocombustíveis e gás natural (TRANSPETRO, 2014). Segundo informações da própria empresa, o modal dutoviário brasileiro possui uma rede de 7.517 km de oleodutos, conforme apresentado na figura 29. No entanto, a maior parte das linhas de oleodutos é utilizada para o transporte de outros combustíveis que não o etanol, tendo estes pequenos trechos listados na tabela 11. Em compensação, para o transporte de etanol existe uma empresa entrante no setor, a Logum, que será analisada na seção de infraestrutura futura. A nível de comparação

desse modal, os Estados Unidos possuem aproximadamente 440 mil km de dutovia, isto é, uma densidade de malha dutoviária 25 vezes maior que a brasileira (IBP, 2011).

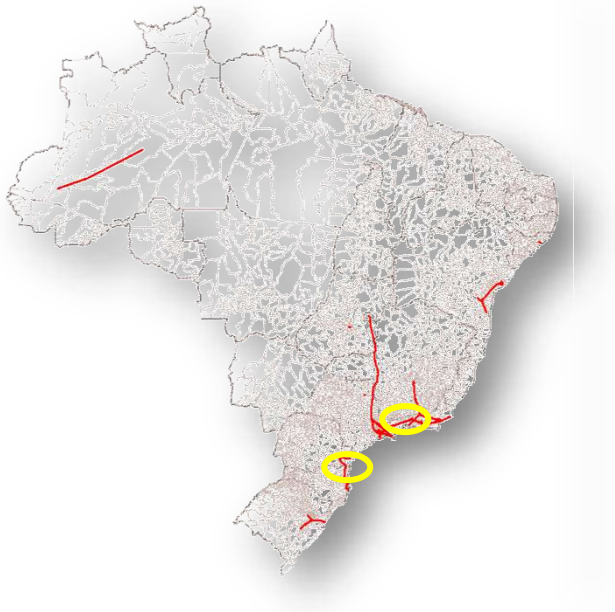


Figura 29–Malha brasileira de oleodutos com destaque para os dutos que são capazes de transportar etanol.
Fonte: IBP (2011) e Transpetro (2014)

Tabela 11–Malha brasileira de oleodutos que são capazes de transportar etanol

Operadora	Origem	Destino
Logum	Ribeirão Preto (SP)	Paulínia (REPLAN - SP)
Transpetro	Paulínia (REPLAN - SP)	Baueri (SP)
Transpetro	Paulínia (REPLAN - SP)	Duque de Caxias (REDUC - RJ)
Transpetro	Paulínia (REPLAN - SP)	Ilha D'Agua (Porto - RJ)
Transpetro	Paulínia (REPLAN - SP)	Volta Redonda (RJ)
Transpetro	Araucária (REPAR - PR)	Guaramirim (SC)
Transpetro	Araucária (REPAR - PR)	Itajaí (Porto - SC)
Transpetro	Araucária (REPAR - PR)	Biguaçu (SC)

Fonte: Transpetro (2014) e Logum (2014)

O preço cobrado para cada movimentação fica disponível no site da Transpetro e da Logum e é mensurado em R$/m³, conforme exemplificado na tabela 12. Para ambas as empresas o preço cobrado varia de acordo com o fluxo de cada terminal de origem e destino, sendo que em alguns casos já está inserido o valor do transbordo rodoviário ou ferroviário e a utilização dos tanques de armazenamento. Além disso, a operação exige um volume mínimo por viagem dutoviária (batelada mínima) que, de acordo com a

velocidade de deslocamento do etanol de cada duto, confere um tempo de viagem por batelada, como mostra tabela 12.

Tabela 12–Exemplos de preço para transporte dutoviário tabelado em 2014 e condições operacionais

Origem	Destino	Preço (R$/m³)	Batelada (m³)	Viagem (dias)
Paulínia (REPLAN)	Barueri	36,85	4.000	3
Paulínia (REPLAN)	Duque de Caxias	73,62	14.000	14
Araucária (REPLAN)	Guaramirim	20,38	500	2
Araucária (REPAR)	Itajaí	30,82	1.000	3
Araucária (REPAR)	Biguaçu	38,00	1.000	3

Fonte: Transpetro (2014)

Embora o modal dutoviário seja uma solução para transporte de longas distâncias, este modal não é muito utilizado perante as outras formas de transporte devido a sua baixa disponibilidade no Brasil e a necessidade de alto grau de planejamento com definições mais precisas de oferta e demanda. Assim como o modal hidroviário, este modal está atualmente recebendo pesados investimentos para o escoamento de etanol através do projeto Logum. Esse novo cenário de infraestrutura será detalhado na seção III.2.

IV.1.5. Comparação entre os modais de transportes

Após detalhar os modais, essa seção visa fazer uma comparação entre os modais. Nunes (2010) indica alguns a aspectos comparativos, conforme ilustrado na tabela 13.

Como já discutido anteriormente, o modal rodoviário é aquele que tem maior flexibilidade, uma vez que se utiliza do sistema porta-a-porta, isto é, coleta o produto no ponto de origem e o entrega no ponto de destino. Já os outros modais não possuem esta mesma flexibilidade, pois possuem estruturas mais fixas. Exatamente por ter uma infraestrutura fixa instalada, os modais ferroviário, hidroviário e dutoviário apresentam altos custos fixos e baixos custos variáveis, ao contrário do modal rodoviário. Por esse motivo, como os custos fixos se diluem à medida que se aumenta a distância percorrida,

esses modais são mais apropriados para percorrerem longas distâncias, enquanto o modal rodoviário é mais indicado para curtas distâncias.

Tabela 13–Comparativo entre os modais com as potenciais cargas a movimentar do setor sucroalcooleiro

Modal	Potenciais cargas a movimentar	Flexibilidade	Distância Apropriada	Custo Fixo	Custo Variável
Rodoviário	Cana-de-açúcar* e Etanol	Grande	Curta	Baixo	Alto
Ferroviário	Etanol	Média	Longa	Alto	Baixo
Hidroviário	Cana-de-açúcar* e Etanol	Média	Longa	Alto	Baixo
Dutoviário	Etanol	Média	Longa	Alto	Baixo

*Incluindo o bagaço e a palha de cana-de-açúcar

Fonte: Nunes (2010)

Outro aspecto importante é o ponto de transbordo. Para atender porta-a-porta utilizando modais de estruturas mais fixas, é preciso o uso de pontos de transbordo para equacionar o volume dos diferentes modais que farão as pontas até a origem/destino. Conforme a tabela 14, os modais que transportam elevados volumes em cada viagem necessitam de grande formação de estoques. Como visto na seção II.1.2, a formação de estoques pode não ser a melhor estratégia a ser utilizada o que pode inibir o uso da intermodalidade. Outro ponto a se considerar são os gastos com transbordo e o tempo dessas transferências.

O número mínimo de pontos de transbordo foi definido baseado no fato de que o modal rodoviário opera no sistema “porta-a-porta”. Já o modal ferroviário que tem uma vertente mais de exportação, tem sua descarga no porto (local de destino), precisando apenas de um transbordo referente ao carregamento em um ponto de ligação com a ferrovia. E os modais hidroviários e dutoviário no mínimo necessitam de dois pontos de

transbordo, tendo em vista que suas estruturas normalmente não estão ligadas nem na origem nem no destino da carga, a menos que o ponto de descarregamento seja exatamente no local de destino (na fábrica ou no porto, por exemplo).

Tabela 14–Comparativo entre os modais em relação a formação de estoque e ponto de transbordo

Modal	Volume a ser Movimentado	Necessidade de Formação de Estoque	Nº **Mínimo** de Pontos de Transbordo
Rodoviário	Baixo	Não	0
Ferroviário	Alto	Sim	1
Hidroviário	Alto	Sim	2
Dutoviário	Alto	Sim	2

Fonte: Nunes (2010)

Por fim, o último fator a ser considerado é o fato de que com o crescimento observado do agronegócio nacional é fundamental a diversificação da matriz de transportes brasileira. Isso porque de acordo com o Instituto ILOS (2013), a infraestrutura de exportação do Brasil não tem suporte para o recebimento simultâneo de tanto volume pelo modal rodoviário, o que gera filas e uma descarga portuária demorada e acontece analogamente com o mercado interno. Além disso, há o fator social, visto de que os outros modais geram menos trânsito e menores chances de ocorrência de acidentes.

IV.2. Infraestrutura Futura

Com já dito anteriormente, a infraestrutura de um país varia ao longo dos anos, de acordo com os investimentos ou até mesmo a falta deles que gera depreciações. Desse modo, essa parte do trabalho visa detalhar um pouco mais a respeito de projetos de infraestrutura em andamento que tem o potencial de influenciar de alguma maneira a possível cadeia dos resíduos agrícolas e do etanol de segunda geração. Esses projetos estão baseados no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) com previsão até 2010 e no projeto Logum que tem previsão de finalizar sua última etapa em 2016.

O PAC em sua primeira versão, em 2007, prometeu dispor de R$ 58,3 bilhões para projetos de logística. Atualmente com a nova versão de projetos essa quantia chega a um total de R$ 132 bilhões, sendo que 41% desses investimentos serão participações da iniciativa privada. A segunda versão do programa, o PAC2, possui ao todo 843 empreendimentos para categoria de transporte. Sendo que para esta área os projetos estão focados nas ferrovias (48 empreendimentos) e rodovias (421 empreendimentos) do país, além da construção e modernização de hidrovias (70 empreendimentos) e outros setores como aeroportos, portos. O resultado desses investimentos para o escoamento dos combustíveis, o que inclui o etanol, está ilustrado na figura 30.

Figura 30– Mapa de previsão da nova infraestrutura brasileira para 2020
Fonte: IBP (2011)

Vale ressaltar que a figura 21 mostra que o investimento em transporte realizado pelo governo nos últimos 30 anos foi inferior a 1% do Produto Interno Bruto (PIB) e o relatório do Banco Mundial (2007) mostra que o Brasil precisaria investir 3,2% do PIB em infraestrutura para acompanhar o crescimento econômico do país (BANCO MUNDIAL, 2010). Este fato é corroborado pela avaliação feita pelo Instituto ILOS (2013) com os executivos de logística que indicam que é contínua a queda da qualidade da infraestrutura brasileira. Os executivos atribuíram nota 5,7 para as propostas do PAC e nota 3,9 para o andamento das execuções.

O projeto Logum é voltado para a logística do etanol e provém de uma sociedade composta pela Odebrecht TransPort, Petrobras, Copersucar, Raízen, Camargo Correa e Uniduto Logística (LOGUM, 2014). O investimento está previsto em R$ 7 bilhões e conta com financiamento do BNDES. O resultado desse projeto é a empresa Logum que será responsável pela construção e operação do Sistema Logístico de Etanol, isto é, operações de carga, descarga, movimentação e estocagem, operação de portos e terminais terrestres e hidroviários. Para isso, está prevista uma rede única de alcooldutos envolvendo uma multimodalidade no sistema de transporte através de hidrovias, rodovias, cabotagem, além de operações em terminais hidroviários, portos e armazéns.

Dessa forma o sistema prevê corredores de transporte que funcionarão em conjunto com o sistema de distribuição já existente, conforme mostra o mapa na figura 31. A lógica desse sistema é o etanol sair das usinas onde é produzido por caminhões-tanque até os terminais terrestres (para os dutos) ou aquaviários (para a hidrovia). Nos terminais é feito o transbordo, em que o etanol é armazenado em tanques para depois ser transportado. O projeto conta com nove terminais, sendo 6 terminais terrestres e 3 hidroviários, localizados ao longo da Hidrovia Tietê-Paraná. Vale salientar que apesar desses investimentos serem direcionados para o escoamento de etanol, suas melhorias nos terminais aquaviários, caso compartilhados, podem impactar positivamente para outras mercadorias, como a própria cana-de-açúcar e seus resíduos agrícolas, o bagaço e a palha.

A implantação da linha dutoviária prevista tem o fluxo do Centro-Oeste em direção ao Sudeste, com aproximadamente 1.300 km entre Jataí (GO) e Paulínia (SP). O diâmetro do duto vai aumentando na medida em que se aproxima do armazenamento principal, ou seja, Paulínia (SP), de forma a possibilitar a captura de etanol ao longo de todo o percurso. Já na parte hidroviária, haverá carregamento de etanol em dois terminais aquaviários, tendo o descarregamento no Anhembi (SP). No terminal de descarga, o etanol será bombeado através do modal dutoviário até o armazenamento de Paulínia (SP). A combinação dos modais dutoviário e hidroviário tem como finalidade a racionalização do processo de transporte do etanol, com os menores custos. A partir do armazenamento em Paulínia (SP), o combustível é distribuído até os consumidores finais.

Figura 31–Mapa do Sistema Logístico Multimodal da Logum
Fonte: Logum (2014)

Além desses projetos, outros também estão previstos ou em fase de estudo, tendo sido escolhidos para detalhamento somente aqueles que têm o maior potencial de impactar a cadeia do agronegócio e do etanol. Pode-se perceber que investimentos estão de fato ocorrendo no setor de infraestrutura, no qual o Brasil se encontra atualmente em defasagem em relação aos outros países. No entanto, ainda há muito a ser desenvolvido, principalmente na utilização da multimodalidade. De todo modo, esperam-se impactos positivos no longo prazo, possibilitando cenários cada vez mais atrativos.

V. Rede Logística

A partir dos conceitos e das premissas apresentados nos capítulos anteriores, este capítulo busca identificar as influências logísticas no uso dos resíduos agrícolas no sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, ou seja, o bagaço e a palha. Essa cadeia, como visto na seção II.2, pode ser dividida em dois fluxos. O primeiro fluxo consiste no suprimento de matéria-prima na usina e o segundo é a distribuição do produto, o etanol, das usinas para o consumidor final, conforme ilustra a figura 32.

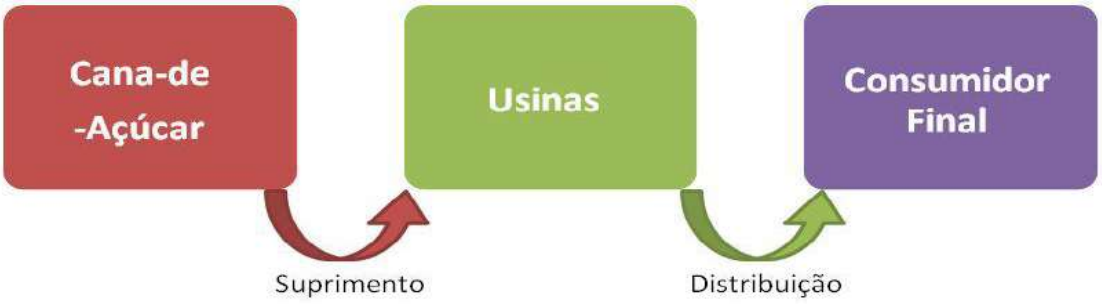


Figura 32–Fluxos logísticos da cadeia do sistema sucroalcooleiro
Fonte: Elaboração própria

Vale relembrar que a estrutura lignocelulósica confere aos resíduos agrícolas maior flexibilidade no seu tempo de processamento. Isso significa que essa biomassa não precisa ser processada imediatamente após a colheita da cana-de-açúcar, como é o caso da primeira geração. Desse modo, há uma oportunidade de estocagem dessa matéria-prima que pode ser usada como um equalizador entre a demanda constante por etanol e a oferta sazonal das safras de cana-de-açúcar.

O uso dos resíduos da cana-de-açúcar como matéria-prima ainda não estão bem estabelecidos. A pesquisa do etanol de segunda geração é vista como uma oportunidade de agregar valor à biomassa que atualmente ou não é utilizada ou tem o seu potencial subutilizado para cogeração. No intuito de impulsionar a tecnologia de segunda geração em nível de escala comercial, o BNDES e a Finep elaboraram o PAISS Industrial, que consiste em um programa de apoio à inovação dessa e outras tecnologias no setor sucroalcooleiro (NYKO et al, 2013). Duas empresas que estão inseridas nesse programa planejam começar a operar suas unidades comerciais de etanol de segunda geração ainda em 2014. Essas empresas são a Raízen, do Grupo Cosan, e a GranBio.

Os projetos apresentados pelas duas empresas encaram de formas diferentes as oportunidades do uso dos resíduos agrícolas, o que resulta em algumas diferenças que

serão destacadas ao longo desse capítulo. A Raízen enxerga a parte fibrosa da cana-de-açúcar, ou seja, o que é atualmente considerado como resíduo agrícola, como um complementar da cadeia de primeira geração, na intenção de aumentar a produtividade por hectare (RAÍZEN, 2013). Já a empresa GranBio vê essa parte fibrosa como sendo a principal matéria-prima de sua cadeia agroindustrial (GRANBIO, 2013).

O resultado dessa diferença de visão é que a rede logística a ser considerada para o suprimento da cana-de-açúcar, bagaço e palha às usinas é diferente entre os casos da Raízen e da GranBio, o que consequentemente remete a fluxos distintos de distribuição do etanol. Segundo as próprias empresas, no caso da Raízen o fluxo da cadeia de etanol de primeira geração é o mesmo para o etanol de segunda geração. Essa igualdade não existe para o cenário da GranBio, tendo os fluxos diferenciados de primeira e segunda geração. As diferenças dessas redes logísticas e suas influências serão discutidas ao longo deste capítulo. A fim de se estabelecer uma melhor didática, a partir desse ponto do trabalho, a rede logística proveniente do caso Raízen será chamada de Cenário 1 e a do caso GranBio será Cenário 2, respectivamente.

V.1. Caso Raízen (Cenário 1)

A Raízen começou a construção de sua primeira planta industrial para a produção em escala comercial do etanol celulósico e pretende iniciar sua operação no ano-safra 2014/2015 (RAÍZEN, 2014). Esta planta teve um investimento de R$ 230 milhões e está localizada ao lado da usina de Costa Pinto, em Piracicaba (SP). Segundo a empresa, há uma estimativa de fabricar 40 milhões de litros de etanol de segunda geração por ano. O investimento mencionado é prioritariamente para a estação de pré-tratamento da celulose, na qual haverá a extração de seus açúcares, visto que, em seguida, os equipamentos usados são os mesmos da usina de primeira geração. Segundo dados fornecidos pela ANP (2013), a usina Costa Pinto produz atualmente 220 milhões de litros de etanol por ano via primeira geração, tendo uma capacidade nominal de 1,14 milhões de litro por dia o que confere aproximadamente 200 dias de operação anual.

Segundo a Raízen (2014), o objetivo da empresa não é parar o investimento na unidade de Costa Pinto. Até o ano de 2024 está prevista a construção de mais sete plantas de etanol de segunda geração, todas no estado de São Paulo e de forma interligada às atuais usinas de primeira geração. Espera-se que quando as plantas de

segunda geração estiverem operando com capacidade máxima as mesmas produzam juntas 1,5 bilhão de litros de etanol celulósico ao ano. Para ter um comparativo, a produção total de etanol da Raízen foi de aproximadamente 2,3 bilhões de litros de etanol na safra 2013/14.

A estimativa é que, com a tecnologia de segunda geração difundida, seja possível aumentar a capacidade de produção do biocombustível em até 50% a partir da mesma área plantada. Isso significa um aumento na produtividade sem grandes investimentos na área cultivada. É o que confirma o diretor da empresa, João Alberto Abreu, "apostamos fortemente no etanol celulósico para elevar a produtividade sem aumentar a área cultivada, aproveitando os resíduos da cana" (RAÍZEN, 2013).

Dessa forma, nota-se que a visão da Raízen é incrementar a produção do etanol produzido atualmente com o etanol celulósico, portanto, este apenas complementa a produção, não tendo a mesma importância relativa para a empresa. Além disso, a empresa busca ter uma vantagem que é a possibilidade de produção mesmo em períodos de entressafra, uma vez que os resíduos agrícolas não perdem suas propriedades tão rapidamente como os açúcares da cana-de-açúcar, como visto na seção II.2. Isso permite uma continuidade da produção do etanol mesmo em períodos de entressafra, o que acarreta em um aumento da rentabilidade, uma menor volatilidade no preço do produto e um melhor dimensionamento dos passivos da empresa, uma vez que diminui a alta sazonalidade na oferta de etanol gerada pelas safras.

A seguir será analisado o Cenário 1 que ilustra o caso das usinas se basearem na visão da Raízen, isto é, tendo etanol de segunda geração como um complemento à produção de primeira geração e seguindo os mesmos fluxos logísticos. A figura 33 ilustra esse cenário.

Nesse cenário, há apenas um fluxo de suprimento, o transporte do colmo da cana-de-açúcar e de sua palha das frentes de corte para a usina de processamento. Isso ocorre por que a usina de segunda geração está atrelada à de primeira geração. Pelo mesmo motivo, há a possibilidade de apenas um fluxo de distribuição. Esses fluxos, tanto de suprimento quanto de distribuição serão detalhados a seguir, assim como os impactos logísticos gerados pela produção de etanol celulósico.

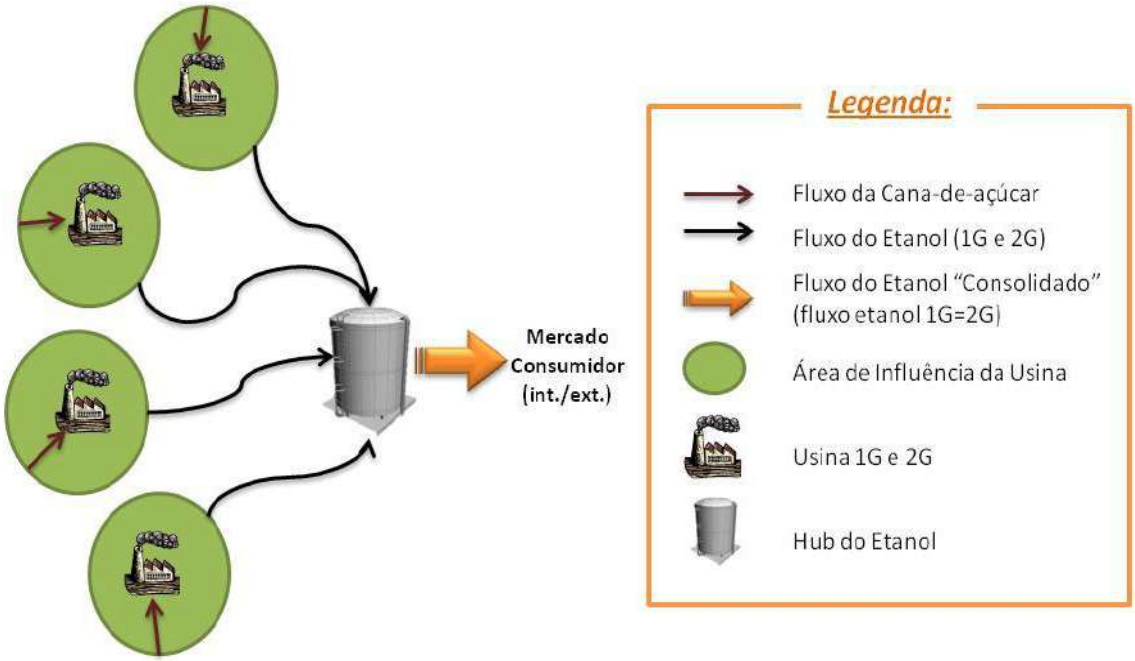


Figura 33–Rede Logística do Cenário 1
Fonte: Elaboração própria a partir de Raízen (2014)

V.1.1. Suprimento

O fluxo de suprimento das matérias-primas à usina de processamento para o Cenário 1 está ilustrado com mais enfoque na figura 34.

Figura 34– Fluxo de Suprimento do Cenário 1
Fonte: Elaboração própria a partir de Raízen (2014)

A usina de primeira geração, ilustrada na legenda como usina 1G, é responsável pela fabricação convencional do etanol. Nela, o caldo da cana-de-açúcar passa por um processo de fermentação em que leveduras transformam os açúcares disponíveis do caldo em etanol. Para o Cenário 1, a usina de segunda geração, ilustrada na legenda

como usina 2G, consiste no pré-tratamento dos materiais celulósicos, onde através de enzimas, as fibras são transformadas em açúcares solúveis. Com os açúcares solúveis, há uma convergência com a usina de primeira geração na fermentação e sua posterior destilação do etanol, no qual este é purificado.

A área de influência da usina é medida pelo possível raio de captação de cana-de-açúcar. Normalmente este raio está limitado a certa distância não muito grande, com variações de 20 a 40 km, pois quanto mais distante o campo de colheita estiver da agroindústria, maior será o valor do frete agrícola e maior será o tempo de transporte que impacta na qualidade do colmo da cana-de-açúcar. Entretanto, o raio não é uma variável fixa para todas as usinas. Alguns pontos que a sensibilizam são a disponibilidade de terras com possibilidade de plantar ou arrendar ao redor da unidade industrial, a qualidade do solo e a declividade (NUNES, 2010).

Ainda de acordo com o raio de captação, a velocidade média de transporte também o influencia. A velocidade resulta no tempo de utilização do equipamento de transporte para a movimentação da matéria-prima. Isso faz como que quanto maior for a velocidade média, mais barato pode ser o valor do frete e com isso a possibilidade de um maior raio de captação. Essa variável está relacionada aos tempos gastos no carregamento/ descarregamento, à qualidade dos veículos, à qualidade das vias e ao trajeto percorrido. O carregamento/ descarregamento e a qualidade dos veículos são dimensões que a usina possui um controle maior do que a qualidade das vias, que geralmente são públicas, e o trajeto percorrido, tendo em vista que algumas unidades ficam próximas às cidades, o que gera restrições no tráfego urbano.

No fluxo da cana-de-açúcar, há primeiramente o transporte do colmo da cana-de-açúcar para a usina de primeira geração. Após a moagem, em que separa o caldo do bagaço, este será levado para a cogeração de energia elétrica da usina. O excedente de bagaço da cogeração irá à unidade de pré-tratamento para a extração dos açúcares, que posteriormente utilizará a mesma cadeia da primeira geração. Cabe a ressalva que o uso do bagaço para a cogeração é uma opção da empresa. Caso a segunda geração se mostre uma opção mais rentável, há a possibilidade de todo o bagaço ser usado na segunda geração.

Outro fluxo de suprimento que acontece paralelamente é o da palha de cana-de-açúcar que antes era deixada no campo. Com uma colheita mecanizada, no Cenário 1 essa palha passa a ser colhida e levada diretamente para as unidades de pré-tratamento da segunda geração. Essa matéria não é tradicionalmente utilizada para a cogeração, o que evita essa competividade apresentada para o bagaço. Por outro lado, para sua implementação, é preciso uso de colheita mecanizada e investimentos para a elaboração desse novo fluxo de suprimento.

Na maior parte das vezes, a transferência dessas matérias-primas ocorre através do modal rodoviário, já que este modal confere uma maior flexibilidade na captação na área de campo e normalmente o raio de captação não é muito elevado[11].

No período de safra, a usina de primeira geração funciona 24 horas por dia o que implica em uma demanda contínua pela cana-de-açúcar. No entanto, a oferta desta matéria-prima, ou seja, sua colheita, não é contínua, pois sofre influências como chuvas e turnos de trabalho. Portanto, é preciso de um pequeno estoque de cana-de-açúcar para evitar que a usina de primeira geração seja paralisada por falta de matéria-prima, lembrando que este estoque deve ser o menor possível, pois como mencionado na seção II.2, a cana-de-açúcar perde 50% dos seus açúcares rentáveis após 24 horas de colhida. Já ao longo do ano, a sazonalidade inerente à safra da cana convencional e a necessidade de processá-la rapidamente, fazem com que se obtenha também um comportamento sazonal na produção do etanol de primeira geração, ilustrado na figura 35.

A segunda geração traz a possibilidade de ampliar a lógica da rede logística. Conforme também visto na seção II.2, o material lignocelulósico não decompõe tão rapidamente como para os açúcares solúveis da cana-de-açúcar, o que confere uma flexibilidade maior do tempo de transferência e armazenamento da matéria. Para o Cenário 1 essa flexibilidade tem como consequência o uso de parte desse material lignocelulósico obtido no período de entressafra e nos períodos de baixa da safra. Essa política de acionar as unidades de segunda geração quando há uma diminuição ou até

[11] A usina Diamante, localizada no município de Jaú (SP), é uma exceção com relação ao modal utilizado, em que o transporte da cana-de-açúcar é feito por hidrovia o que confere um maior raio de captação girando em torno de 80 km. Esta exceção só foi possível por que a usina está localizada na beira do rio Tietê, pertencente à bacia Tietê-Paraná. A cana-de-açúcar é levada por caminhões até um dos dois terminais de transbordo no rio de onde segue até a usina.

mesmo parada das unidades de primeira geração, altera o comportamento de produção de etanol total ao longo do ano. Tal fato é ilustrado na figura 36, que usa como exemplo o potencial apontado pela Raízen de 50% de produção adicional com o uso da tecnologia de segunda geração.

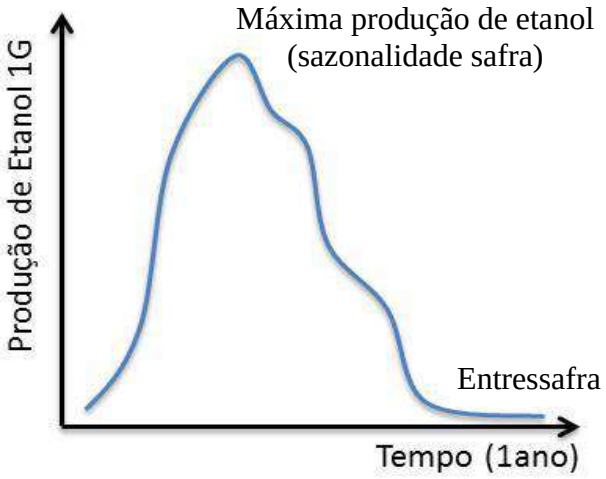


Figura 35– Ilustração do comportamento da produção de etanol via primeira geração e cana convencional
Fonte: Elaboração própria

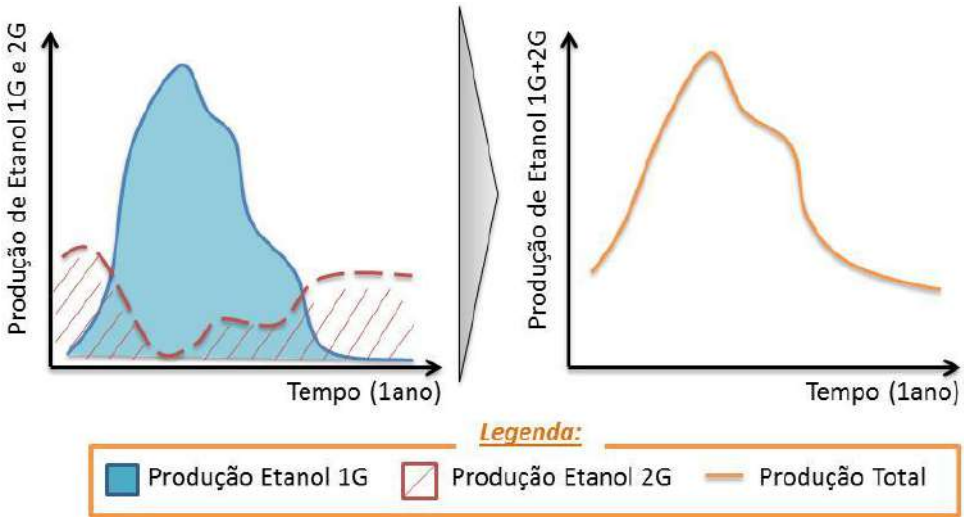


Figura 36– Ilustração do comportamento de produção de etanol para o Cenário 1.
Fonte: Elaboração própria

Com o uso exclusivo da primeira geração, o dimensionamento de recursos humanos e de equipamentos para cada usina é uma escolha muito mais difícil a ser feita, tendo em vista que no pico da colheita de cana-de-açúcar esses recursos são muito importantes, já na colheita fora do pico eles são menos utilizados chegando ao ponto

não serem utilizados na época de entressafra. Esses fatores geram um superdimensionamento desses recursos no suprimento, pois é preciso dimensionar de forma a atender a demanda de matéria-prima em todos os períodos do ano, ou seja, tem que ser feito um dimensionamento que atenda ao pico.

O uso da produção via segunda geração diminui essa diferença entre o pico da colheita e a entressafra, o que resulta em um melhor dimensionamento dos recursos, pois é capaz de diminuir a ociosidade e discrepâncias de demandas ao longo do ano. Essa redução da discrepância entre o ponto de maior e menor produção está ilustrada na figura 37. Um superdimensionamento de mão-de-obra, frota e equipamentos em geral implica em investimentos que são desnecessários em épocas de baixa produção e com isso observam-se também perdas de escala desses recursos, já que quanto mais produtivos e eficientes, maiores serão as diluições do investimento resultando em menores custos unitários.

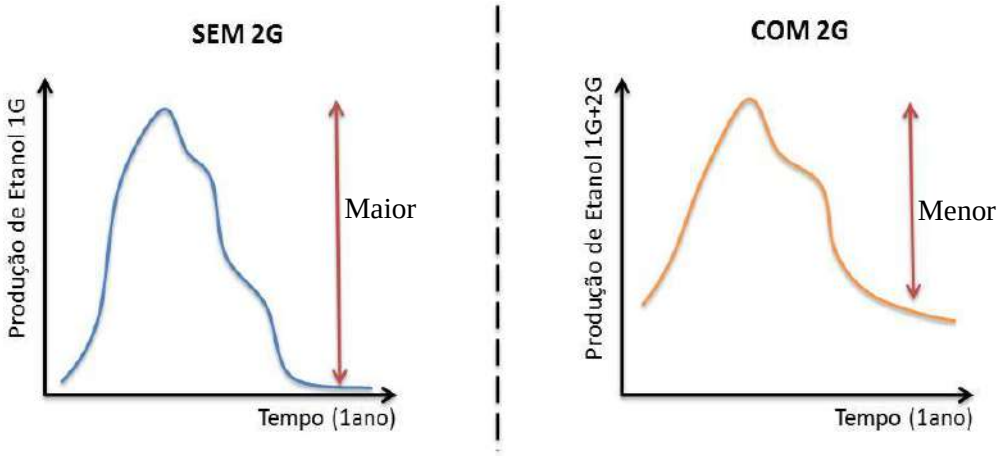


Figura 37– Comparação entre a diferença dos pontos de maior e menor produção para com e sem o uso da segunda geração no Cenário 1.
Fonte: Elaboração própria

Além da segunda geração, existe mais uma possibilidade que pode ser usada para um melhor dimensionamento, que é o uso de operadores logísticos para a terceirização. Estes operadores são empresas que possuem mão-de-obra e equipamentos especializados nos processos logísticos e podem ser usados tanto em cenários de uso exclusivo da primeira geração como nos cenários em que também há o uso da segunda geração, resultando em dimensionamentos ainda melhores.

Essa melhoria é oriunda principalmente pelo uso desses operadores no período de pico na safra, pois diminuiria o limite máximo, reduzindo os recursos próprios

imobilizados e a necessidade de gestão durante a safra, atualização tecnológica e diminuição do risco de crédito. Por outro lado, a usina passa a ter uma dependência com o operador contratado e mesmo com punições previstas em contrato, em caso de não cumprimento das metas como a quantidade de suprimento e a qualidade da matéria-prima, a usina é a principal afetada no contrato, pois pode gerar a sua improdutividade com gastos incalculáveis, além de a solução para o superdimensionamento ser apenas um repasse de recursos necessários para os terceiros.

Esse trabalho se limita a identificar esse superdimensionamento na rede suprimento e relacioná-lo com o custo logístico gerado. Não será quantificado o impacto gerado pelo dimensionamento no custo da matéria-prima, ficando este esforço como sugestão para futuras pesquisas.

V.1.2. Distribuição

O fluxo de distribuição do etanol da usina de processamento aos mercados consumidores para o Cenário 1 está ilustrado com mais enfoque na figura 38.

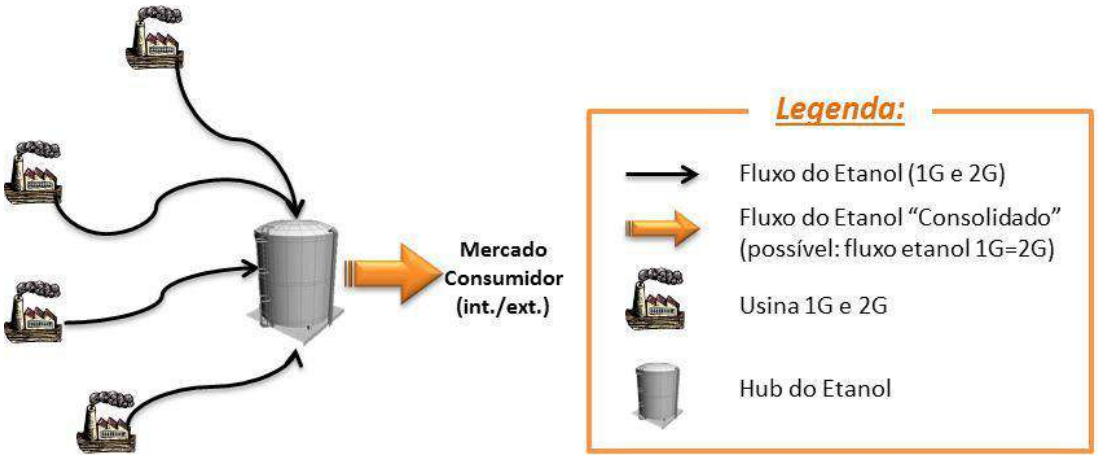


Figura 38–Fluxo de Distribuição no Cenário 1
Fonte: Elaboração própria a partir de Raízen (2014)

As usinas de primeira e segunda geração estão detalhadas melhor na parte de suprimento, na seção IV.1.1. Já o *hub* logístico consiste em técnica logística de concentrar cargas em determinado ponto para então redistribuí-los de acordo com seu destino final. Para o presente trabalho, terminais de transbordo também serão considerados *hubs*, assim como terminais portuários, como é o caso de usinas próximas à região portuária. Isso significa consolidar a carga em um armazenamento com a

vantagem potencial de reduzir os custos com a distribuição do etanol e ter maior controle sobre o seu gerenciamento uma vez que partirá de um só local. No entanto, a construção de um *hub* logístico requer investimentos, além de sua localização, quantidade de *hubs* necessários e capacidade de armazenamento serem uma decisão estratégica da cadeia sucroalcooleira. Vale ressaltar que esse tipo de análise na estrutura de rede logística de centralização e descentralização foi discutido na seção II.1.3 e será novamente debatida nas seções subsequentes com o enfoque nos Cenários 1 e 2.

O etanol de segunda geração não possui diferenças em suas propriedades físicas e químicas em relação ao etanol de primeira geração. Dessa forma, há a possibilidade de encarar o etanol proveniente das duas formas de uma maneira única, não havendo diferenciação no transporte nem na armazenagem. No entanto, existem políticas diferenciadas nos EUA e na Europa para o etanol celulósico já que este é considerado mais sustentável. Nos EUA, por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA, na sigla em inglês) paga prêmios em forma de bônus adicionado ao preço do produto se o etanol for celulósico (NOVA CANA, 2013). Logo, para a comercialização com esses países pode se pensar em distinguir as cadeias de distribuição do etanol de primeira e segunda geração, tanto para os *hubs* de etanol quanto nos fluxos de transporte que serão apresentados a seguir. Porém, a Raízen não confirma tal preferência pelo mercado externo, o que confere o mesmo fluxo de distribuição para as duas vias de geração.

O fluxo de etanol das usinas para o *hub* é diferente dos fluxos apresentados para suprimento, uma vez que, por se tratar de produto de granel líquido, há no mínimo a necessidade distinta dos equipamentos utilizados para a realização do transporte e armazenamento. O fluxo da usina ao *hub* utiliza principalmente o modal rodoviário, já que os volumes são desagregados devido à baixa escala de produção das usinas o que acarreta em volumes não muito elevados e pequenas distâncias. Além disso, as usinas estão situadas normalmente em regiões agrícolas com baixa infraestrutura o que, adicionado aos outros fatores de escala mencionados, inviabiliza a construção de infraestruturas logísticas somente para atender a essa demanda através outros modais.

Já o fluxo de etanol consolidado é aquele em que o etanol armazenado no *hub* será distribuído para mercados nacionais automotivos e industriais, além do mercado externo. Atualmente, há uma predominância para o mercado interno e os fluxos

direcionados à exportação possuem relativamente pequenos volumes e ocorrem de forma esporádica. O responsável pelo serviço de distribuição do etanol pode ser a própria usina ou uma distribuidora que compra o produto da usina. O uso de distribuidoras é favorável por se tratar de um material inflamável e necessitar de especialidade maior da frota. Caso seja transportado pela usina, necessitará de alto investimento em recursos para a logística que na maioria das vezes não é o seu *core business*[12]. Porém, atualmente não há a figura de um distribuidor para o mercado externo como demandante do serviço de transporte, como ocorre com os fluxos de mercado interno, ficando fluxo, neste caso, a cargo da própria usina.

Em geral, observa-se na conjuntura brasileira atual que o transporte tanto para o mercado interno quanto para o externo (até o porto), para longas distâncias e grandes volumes a ser movimentado, é feito principalmente por modal rodoviário, devido principalmente à falta de infraestrutura dos outros modais e suas interligações necessárias, mostrada no capítulo III. Na região Centro-Sul, a Logum está investindo nos modais dutoviários e hidroviários, que apresentam uma eficiência para o mercado de etanol, o que resultará em uma migração do modal rodoviário para esses novos modais nessa região. O modal rodoviário possui alterações na tarifa de acordo com demanda de serviço, isto é, diferenças nas tarifas entre os períodos de pico da safra e entressafra. Já para os outros modais as alterações na tarifa são relativamente pequenas, pois os fatores de influência já foram determinados no projeto de viabilização do investimento das estruturas fixas, tendo apenas a presença de novos entrantes o potencial de gerar uma variação maior.

Na distribuição do etanol, olhando exclusivamente a usina de primeira geração em um horizonte de tempo de um ano, percebe-se que há novamente uma necessidade de um equalizador entre a oferta e demanda do etanol, ocasionada pela sazonalidade apresentada na safra e principalmente pelo período da entressafra que costuma durar aproximadamente 180 dias. Nesse período, não há colheita, assim toda a parte industrial fica paralisada, mas o consumo de etanol se mantém, necessitando estocar etanol quando a produção for maior do que o consumo (no pico) para poder atender àdemanda durante o período de entressafra. De forma ilustrativa, a figura 39 mostra o

[12] *Core Business* é o negócio central da empresa.

comportamento de demanda de etanol ao longo do ano e a distribuição da oferta de etanol de primeira geração de acordo com a sazonalidade.

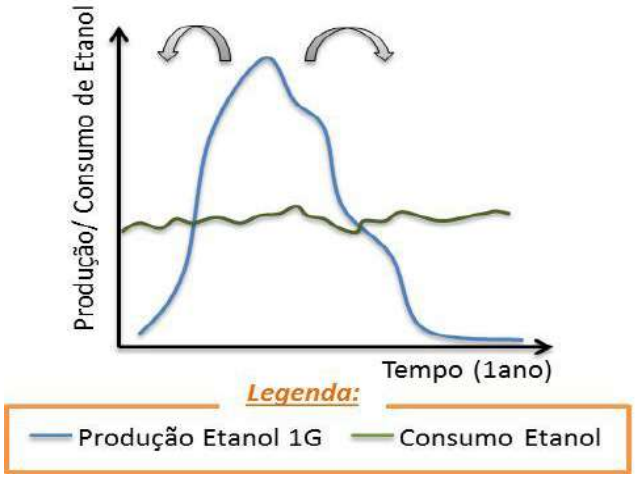


Figura 39–Diferença entre os comportamentos de demanda e produção de etanol via primeira geração e cana convencional
Fonte: Elaboração própria

Cabe ressaltar que o comportamento de safra na região Centro-Sul é diferente na região Norte-Nordeste, ou seja, apresentam uma sazonalidade diferenciada, conforme visto nas figuras17 e 18 da seção II.2. Dessa forma, caso houvesse uma oferta similar de etanol nas duas regiões, a sazonalidade de uma região seria compensada nacionalmente pela sazonalidade da outra região. Isso significa que se as duas regiões tivessem o mesmo nível de produção de etanol, a oferta desse produto nacionalmente seria mais equilibrada ao longo do ano, o que reduziria os impactos da sazonalidade. No entanto, conforme visto na seção II.2, isso não condiz com a realidade brasileira que possui uma produção de 90% na região Centro-Sul e por isso esse cenário de compensação nacional não será analisado.

Assim, novamente tem-se o caso de superdimensionamento devido a essa discrepância entre a oferta e demanda de etanol ao longo do ano. Relembrando o que foi mencionado na seção de suprimento, a produção do etanol de segunda geração pode ser planejada de forma a diminuir essa variação. Assim como acontece na rede de suprimento, esse balanceamento tem a capacidade de reduzir o superdimensionamento da rede de distribuição que consiste dos recursos humanos e de equipamentos para o transporte e a armazenagem do etanol, que é ilustrado na figura 40.

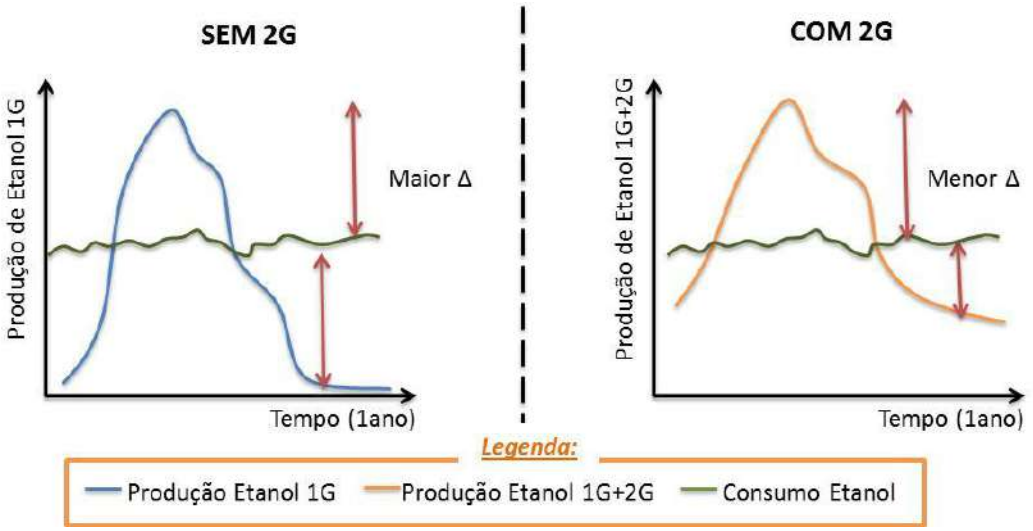


Figura 40– Comparação entre a produção e o consumo de etanol para com e sem o uso da segunda geração no Cenário 1.
Fonte: Elaboração própria

Por exemplo, é possível fazer uma comparação preliminar da necessidade de investimentos em tancagem com ou sem o uso do etanol de segunda geração, isto é, ilustrar como a sazonalidade afeta nos custos. Primeiramente serão definidas algumas premissas para este cálculo, sendo estas a tancagem útil, o fator de sazonalidade, a cobertura necessária em estoque e os custos de investimento em tancagem em m³ (IBP, 2011). A tancagem útil, também conhecida como deflator de tancagem, é o volume do tanque que realmente pode ser utilizado para armazenar combustíveis, ou seja, desconsidera as perdas pelo lastro e a altura de segurança dos níveis de combustível. O fator de sazonalidade faz referência ao pico da necessidade de tancagem (pico de produção do etanol) em relação à necessidade de tancagem média, ou seja, representa um fator em m³ do quanto é preciso ter de capacidade de armazenagem para atender os picos de demanda. Por último, a cobertura necessária em estoque é quantos dias o produto em estoque supre as demandas diárias médias sem ressuprimento de estoque.

De acordo com o estudo realizado pelo IBP (2011), a necessidade de tancagem e, consequentemente, o investimento necessário podem ser calculadas a partir das equações 3 e 4.

$$TancagemNecessária = \frac{ProdAnual}{365} * Cobert.Estoque * FatordeSazon.$$

Equação 3

$$Investimento = \frac{TancagemNecessária}{DeflatordeTancagem} * Custodetancagem$$

Equação 4

O mercado de etanol tem os valores de premissas apresentados na tabela 15.

Tabela 15- Premissas do mercado de etanol e outros combustíveis para o cálculo de tancagem e seu respectivo custo de investimento.

Premissa	Valor
Deflator de Tancagem	85%
Fator de Sazonalidade do Etanol (só com 1G)	1,5
Fator de Sazonalidade do Biodiesel	1,3
Fator de Sazonalidade da Gasolina	1,1
Cobertura de Estoque*	1
Custo de Investimento em Tancagem	R$ 2.500/m³

*A premissa de cobertura de estoque foi definida pela própria autora.

Fonte: IBP (2011)

A cobertura de estoque foi escolhida como 1 dia, uma vez que este é apenas um estudo comparativo preliminar e esta variável não iria interferir na análise em questão. Com isso, considerando hipoteticamente uma produção anual de 365 milhões de litros de etanol que usa unicamente a tecnologia de primeira geração, esta usina terá a necessidade em tancagem útil de 1.500 m³. Isso gera uma tancagem total de aproximadamente 1.764 de m³ que por sua requer um investimento de 4,41 milhões de reais só em tancagem.

Já com o uso da tecnologia de segunda geração complementando a produção de etanol, percebe se uma menor discrepância na oferta do etanol, conforme já discutido,

que resulta em um menor fator de sazonalidade. No presente trabalho, não será quantificado exatamente o novo fator de sazonalidade, tendo em vista que irá variar muito de acordo com a política adotada pela usina no uso da segunda geração. Para uma ilustração preliminar dos ganhos obtidos com a mudança de comportamento de oferta de etanol, considerou se os fatores de sazonalidade do biodiesel (1,3) e da gasolina (1,1), sendo o último previamente descartado para esse cenário por ser considerado um cenário muito otimista, que não condiz com o comportamento apresentado na figura 40. Para uma mesma produção total, com primeira e segunda geração, com o fator do biodiesel, o investimento requerido em tancagem passa a ser de aproximadamente 3,82 milhões de reais, gerando uma economia de mais de 580 mil reais.

Vale lembrar que os números apresentados são apenas para tancagem de uma produção anual de 365 milhões de litros. Considerando a produção anual nacional e que, além da tancagem, existem outros recursos logísticos que também seriam impactados pela redução na discrepância entre o pico de oferta e os períodos fora desse pico, há um grande potencial de economia nesses recursos com o uso da segunda geração. Isso gera menores custos de investimentos para atender às demandas futuras, que conforme a figura 11 na seção II.2, há uma possibilidade dessa demanda dobrar até 2024, necessitando de altos investimentos tanto para a produção quanto nos aspectos logísticos.

V.2. Caso GranBio (Cenário 2)

Para o Cenário 2 será considerado o caso GranBio, que é controlada pela GranInvestimentos, holding da família Gradin. Segundo a própria GranBio (2013), eles serão os primeiros a operar uma planta em escala comercial de etanol celulósico no Brasil e também no Hemisfério Sul. A primeira planta está sendo construída em São Miguel dos Campos, Alagoas, com investimento de R$ 350 milhões. A capacidade total de produção nominal será de 82 milhões de litros de etanol de segunda geração por ano.

Quando houve o anúncio de sua construção, a planta estava prevista para entrar em operação no início de 2014. Em uma reportagem, o vice-presidente da GranBio, Alan Hiltner, disse que a fábrica de São Miguel dos Campos está na fase final de preparação para iniciar as operações em escala comercial (NOVA CANA, 2014). Segundo o mesmo, este processo demora em média de 30 a 60 dias e só após desse

período a empresa informará a data de inauguração da fábrica. A GranBio tem a previsão de chegar a 2021 operando dez usinas com produção anual de 1 bilhão de litros de etanol celulósico.

O foco da GranBio é somente na produção do etanol de segunda geração, não tendo uma planta de primeira geração própria. Para garantir o fornecimento da matéria-prima, os resíduos agrícolas, a empresa mantém alianças com usinas de primeira geração que garantem esse fornecimento (GRANBIO, 2013). Essas parcerias foram feitas com lavouras de colheita mecanizada que já estão em operação em Alagoas, em que foi acrescentado um sistema de coleta e armazenamento do bagaço não utilizado na cogeração e da palha de cana-de-açúcar que era deixada no campo. A GranBio entende que este modelo de integração complementa a eficiência operacional de ambas as rotas de produção do etanol.

No entanto, o uso exclusivo do bagaço e da palha de cana-de-açúcar provenientes de cana das usinas de primeira geração é apenas inicial. A ideia é que esses resíduos da primeira geração sejam complementados ou até substituídos por outra variedade de cana-de-açúcar que segue o caminho oposto da cana convencional (NOVA CANA, 2013). As pesquisas desenvolvidas sobre a cana convencional ao longo dos anos estiveram voltadas em retirar o máximo da celulose da cana-de-açúcar. Isso era feito em uma tentativa de aumentar o açúcar produzido por hectare, o que aumenta a produtividade da primeira geração. A consequência foi a redução do conteúdo celulósico ao mínimo possível, sendo que hoje pode-se dizer que a cana-de-açúcar utilizada só possui celulose suficiente para manter se em pé.

Como o foco da GranBio é na segunda geração, foi necessário criar um programa de desenvolvimento de uma nova variedade de cana-de-açúcar, chamada cana-energia ou cana Vertix (GRANBIO, 2013). Essa variedade busca recuperar a fibrosidade da cana, que está mais de acordo com o perfil de segunda geração. O resultado é uma cana mais robusta, mais resistente a pragas e ao estresse hídrico, além de um alto teor de fibras e baixo teor de açúcar. Por ser mais agreste do que as canas de açúcares convencionais, o custo de produção para uma tonelada de cana Vertix será significativamente inferior. Na figura 41, pode-se visualizar algumas das características da cana Vertix.

Figura 41– Características da cana Vertix.
Fonte: GranBio (2013)

Segundo a GranBio, o plantio comercial da cana Vertix está previsto para 2015 (NOVA CANA, 2013). De acordo com a figura 41 percebe-se que a cana Vertix deverá produzir o dobro de biomassa do que a convencional, além da metade do teor de açúcar e o dobro da quantidade de fibra. Essa conta resulta na mesma quantidade de açúcar e quatro vezes mais fibra por área cultivada, além de poder ser colhida em qualquer época do ano. Caso essas propriedades sejam realmente validadas, a cana Vertix será mais produtiva do que a convencional e permitirá um melhor equalizador entre a oferta e a demanda do etanol já que não há sazonalidade em sua colheita.

A estimativa da GranBio é que após todas as implementações, o etanol da empresa atinja um preço 20% menor que o do etanol produzido tradicionalmente (NOVA CANA, 2013). O uso dessa nova variedade de cana-de-açúcar significa uma inversão de valores no setor sucroalcooleiro. O bagaço e a palha deixam de ser considerados resíduos agrícolas, passando a ser o principal suprimento dessa cadeia agroindustrial. Já o caldo da cana-de-açúcar que atualmente é a principal matéria-prima passa a ser tratado como um resíduo.

No entanto, o etanol celulósico não é o único foco da empresa. Segundo o presidente da GranBio, Bernardo Gradin, a verdadeira estratégia do grupo é demonstrar aos investidores que a inovação celulósica funciona em escala industrial (NOVA CANA, 2014). Além disso, ao fazer os testes e as validações com a cadeia de etanol celulósico, é possível reduzir o risco associado a processos futuros e diminuir o custo do financiamento. Ainda segundo o presidente, os próximos passos serão a produção de

bioquímicos por rota celulósica e de nanocelulose cristal, "Estamos olhando do etanol de segunda geração à nanocelulose, passando por químicos", disse Bernardo Gradin.

Para os bioquímicos, a empresa já começou o processo de parcerias em busca de sua produção por rota celulósica. A GranBio assinou em agosto de 2013 um acordo com a empresa Rhodia visando à produção em larga escala de bio n-butanol. A previsão é de iniciar as operações da fábrica entre 2015 e 2016. A empresa não divulga o valor do investimento. Além desse projeto, a GranBio está buscando novos parceiros como os produtores de celulose e papel (NOVA CANA, 2014).

A seguir será analisado o Cenário 2, que ilustra o caso das usinas se basearem na visão da GranBio, isto é, tendo etanol de segunda geração como principal foco, além do uso da cana Vertix. A figura 42 ilustra esse cenário.

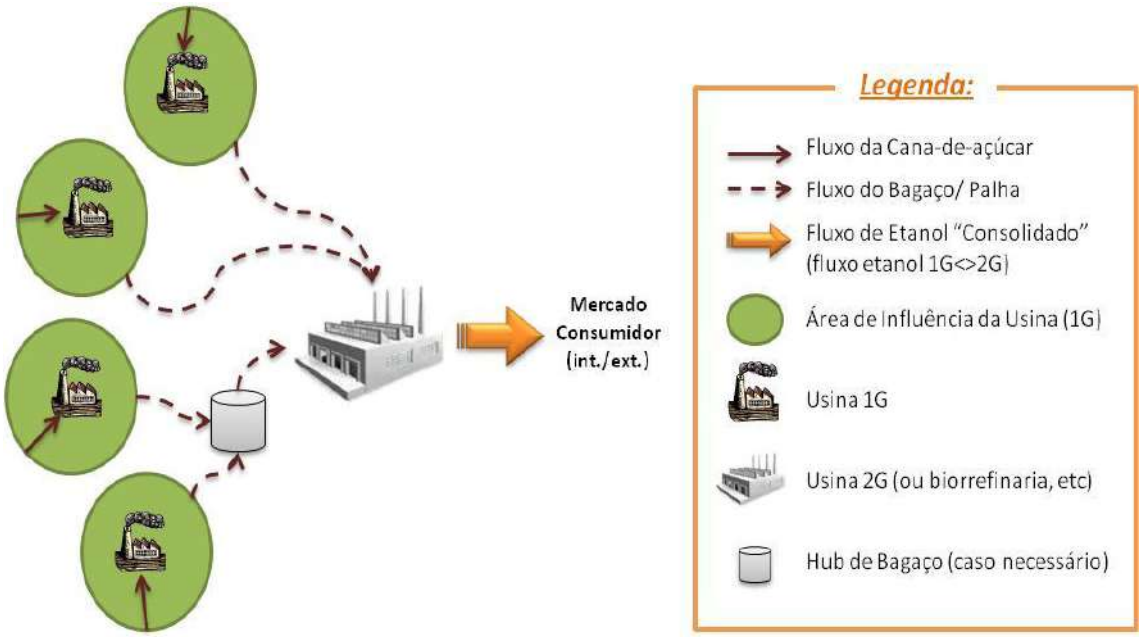


Figura 42–Rede Logística do Cenário 2
Fonte: Elaboração própria a partir de GranBio (2013)

Nesse cenário, é possível pensar em algumas possibilidades de fluxos de suprimento. Por exemplo, tendo o transporte do colmo da cana-de-açúcar para a usina de primeira geração e o da palha das frentes de corte direto para a usina de segunda geração, ou os dois fluxos primeiramente para a usina de primeira geração ou os dois fluxos indo direto para a de segunda geração. Isso ocorre por que a usina de segunda geração não está atrelada à de primeira geração, tendo essa última apenas para

complementar o processo. Pelo mesmo motivo e por ainda não haver um fluxo consolidado de escoamento desse cenário, há várias possibilidades de fluxos de distribuição. Esses fluxos, tanto de suprimento quanto de distribuição serão detalhados a seguir, assim como os impactos logísticos gerados pela produção de etanol celulósico.

V.2.1. Suprimento

O suprimento do Cenário 2 ocorre de maneira diferente ao apresentado no Cenário 1. Como a segunda geração está desvinculada da produção via primeira geração, a unidade de processamento não fica mais na usina de primeira geração e, por isso, precisa de uma transferência das matérias-primas para essa nova unidade de processamento.

A usina de primeira geração bem como a área de influência dessa usina já foram detalhadas na seção de suprimento do Cenário 1 (IV.1.1). Para o Cenário 2, a usina de segunda geração compreende não só o processo de pré-tratamento do material lignocelulósico como também todo seu processo de fermentação que para o Cenário 1 é compartilhado com a primeira geração. Além disso, deixa-se como possibilidade que essa denominada usina 2G possa ser não só para a produção de etanol celulósico como também para outros bioquímicos, como é de interesse da GranBio, que do ponto de vista de rede logística não tem muitas interferências.

A cana-de-açúcar colhida precisa passar por um processo de moagem para se obter o caldo e o bagaço da cana-de-açúcar. De modo a não perder os açúcares da primeira geração e gerar o bagaço da cana-de-açúcar, tem se primeiramente o mesmo fluxo de cana-de-açúcar apresentado no Cenário 1 para uma usina de primeira geração, com todas as limitações no estoque dessa cana-de-açúcar e no seu raio de captação. De lá o caldo vai para as unidades de primeira geração e o bagaço fica apto a ser transportado para as usinas de segunda geração.

Como dito na seção IV.1.1, a densidade é um importante componente na formação dos custos de transporte, sendo que quanto maior for a densidade maior será a possibilidade de economia por tonelada transportada, pois uma quantidade superior de material poderá ser transportada em espaço físico reduzido. O bagaço é uma biomassa que possui uma densidade que varia de 60 a 100 kg/m³ e, por estar localizado na usina

de primeira geração, pode ser densificado antes de ser transferido para a usina de segunda geração. Segundo a Embrapa (2012), esse densificação pode ser feita através da formação de briquetes ou pellets, que se faz através da secagem para reduzir o teor de umidade do bagaço seguido da introdução da matéria em uma prensa ou extrusora e por fim o corte do material compactado no comprimento desejado.

O resultado da densificação pode ser influenciado pelas propriedades da matéria-prima, como o tamanho das partículas, o teor de umidade e a densidade aparente, assim como por variáveis do processo de compactação, entre elas a pressão, temperatura e uso de agentes ligantes. De forma geral a briquetagem ou peletização são processos muito vantajosos no que diz respeito à armazenagem e transporte do material com ganhos em sua compactação. A redução de volume depende das variáveis apresentadas, mas em geral a densidade dos materiais compactados variam entre 500 e 1000 kg/m³, o que é significativamente maior que a densidade apresentada por biomassa não compactada (EMBRAPA, 2012).

Depois de compactado nas usinas de primeira geração, o bagaço poderá seguir diretamente para a usina de segunda geração. Outra opção que pode ocorrer é um *hub* de bagaço de cana-de-açúcar, em que duas ou mais usinas consolidam o bagaço produzido para este ser levado a usina de segunda geração. Essa opção de consolidação é uma alternativa para usinas de pequeno porte, que possuem baixa produção ou simplesmente uma escolha operacional das empresas visando às vantagens de consolidação de cargas para o transporte.

Já a palha de cana-de-açúcar é gerada no momento da colheita. Assim, a palha não precisa passar pela usina de primeira geração, como é o caso do bagaço, tendo a opção de, após ser colhida, ir direto para a usina de segunda geração. No entanto, como já irá existir a estrutura de densificação do bagaço na usina de primeira geração, pode ser mais favorável que a palha também passe por este processo de densificação na usina de primeira geração, necessitando uma análise de compensação se é favorável economicamente essa compactação frente aos ganhos com transporte e armazenagem.

Vale relembrar que o material lignocelulósico não degrada tão rapidamente quanto os açúcares solúveis oriundos do colmo da cana-de-açúcar, o qual degrada 50% em 24 horas. Dessa forma é possível armazenar esse material por um maior período de

tempo, tendo a flexibilidade de armazená-lo durante alguns dias. Pelo estudo visto na seção II.2, o bagaço da cana-de-açúcar perde somente 30% do seu poder em 150 dias. Adicionado a isso vem o fato que, para o Cenário 2, a GranBio vai utilizar a cana Vertix que pode ser colhida ao longo de todo ano devido às suas características mais robustas.

Assim, com um planejamento na colheita é possível defasar o cultivo de forma a colher essa cana mais constantemente ao longo do ano do que em relação à cana convencional. Isso gera logisticamente uma quebra no limite de escala de produção da usina de segunda geração, uma vez que a matéria-prima não precisa ser processada imediatamente após a sua colheita. No entanto, de acordo com a literatura, existem outros fatores que geram gargalos nessa produção, como a capacidade de fermentação e conversão dos açúcares em etanol. Com isso, para o Cenário 2 será usado como limite de capacidade de produção a escala apresentada pela GranBio em Alagoas, ou seja, 82 milhões de litros por ano.

Com os dois fatores, a possibilidade de armazenagem da matéria-prima e a defasagem na colheita da cana Vertix, o Cenário 2 tem o potencial de gerar o resultado apresentado na figura 43. Além disso, caso seja interesse da empresa não só usar a cana Vertix, mas também usar os resíduos agrícolas de canas convencionais provenientes de áreas de colheita próximas à usina basta um planejamento da cana Vertix para que sua colheita não coincida com o pico da safra da cana convencional, gerando o mesmo resultado da figura 43.

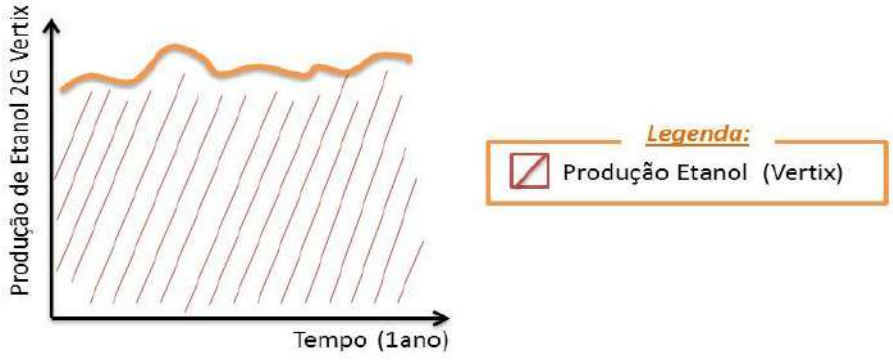


Figura 43–Ilustração do comportamento de produção de etanol para o Cenário 2
Fonte: Elaboração própria

O comportamento do Cenário 2 não gera superdimensionamentos ao longo do ano, pois não há uma forte sazonalidade como a apresentada no Cenário 1. Isso gera um

melhor planejamento da cadeia, pois se tem menos incertezas que são responsáveis pelo superdimensionamento.

V.2.2. Distribuição

Já o fluxo de distribuição do etanol pode ser encarado de forma semelhante ao apresentado para o Cenário 1, detalhado na seção IV.1.2. Relembrando que o presidente da GranBio, Bernardo Gradin, em uma entrevista, confirma uma preferência pela distribuição do etanol celulósico para o mercado externo. Tal fato é devido às políticas diferenciadas nos EUA e na Europa para o etanol celulósico, no qual se pagam prêmios em forma de bônus adicionado ao preço do produto uma vez que o etanol celulósico é considerado mais sustentável.

A primeira usina construída da GranBio está localizada em São Miguel dos Campos, em Alagoas, o que caracteriza uma distância de 60 km por rodovia até o porto de Maceió. De acordo com o quadro de competição entre os modais rodoviários e ferroviários apresentados na figura 25 da seção III.1.2, para essa distância é mais favorável o uso rodoviário para o transporte do etanol da usina de segunda geração até o porto de onde irá seguir para o mercado externo.

Além disso, caso haja uma evolução tecnológica do processo de fermentação de forma a aumentar a capacidade de produção do etanol celulósico na usina, sabendo que tem o respaldo logístico para esse aumento, haverá uma maior consolidação de etanol na própria usina de produção. Isso significa menores gastos na consolidação do mesmo, não necessitando da transferência do etanol para *hubs* de onde partiria sua distribuição para os mercados. Dessa forma, passa a ser vantajoso o transporte através de outros modais que não o rodoviário para longas distâncias, pois há um alto volume de carga a ser transportada.

Na distribuição, também há impactos do novo comportamento de produção anual de etanol apresentado na figura 42. É possível utilizar como exemplo o mesmo caso apresentado na distribuição para o Cenário 1, em que se fez um cálculo preliminar de possíveis economias de investimentos em tancagem. No entanto, o Cenário 2 apresenta uma produção de etanol mais constante ao longo do ano e visualmente mais compatível com o comportamento apresentado pela produção de gasolina. Dessa forma,

será usado o fator de sazonalidade da gasolina (1,1) para o cálculo. Sendo assim, considerando a mesma metodologia de cálculo apresentada na seção IV.1.2 e a mesma produção hipotética de 365 milhões de litros de etanol por ano, de modo a facilitar a comparação entre os dois cenários, a necessidade de investimento em tancagem com base no Cenário 2 seria de aproximadamente 3,24 milhões de reais. Isso resulta em uma economia de aproximadamente 588 mil reais em relação ao apresentado para o Cenário 1 e de 1,17 milhões de reais em relação a uma estrutura com uso exclusivo de produção via primeira geração.

V.3. Comparação Qualitativa das Influências Logísticas

Nessa seção será estruturada uma análise comparativa das influências logísticas entre os cenários apresentados. Inicialmente ressaltam-se os principais aspectos que compõem esses cenários, já que essas características impactam na estrutura logística. A consolidação dessas características é apresentada na tabela 16.

Os materiais do mercado sucroalcooleiro apresentam baixo valor agregado, isso significa baixos valores monetários, que estão na ordem de aproximadamente 1 real por unidade, que no caso da biomassa é tonelada e para o etanol é litro. Na questão da perecibilidade o etanol não apresenta características perecíveis, enquanto o colmo da cana-de-açúcar pode perder 50% de seus açúcares solúveis em 24 horas e para material lignocelulósico relativamente uma pequena degradação ao longo de dias, gerando uma oportunidade de estocagem desse material.

Para todos os materiais do setor sucroalcooleiro, o nível de serviço exigido é alto se considerado esse nível como a disponibilidade do produto no local certo e no tempo certo, já que, para esse setor, não há influências a respeito dos outros valores de produto mencionados na seção II.1, referente a forma e marketing. No caso do etanol isso se deve ao fato que a falta de etanol no mercado de combustíveis pode ser suprida pela gasolina o que é ruim para a fidelização do uso exclusivo do etanol (etanol hidratado), além do fato que gasolina deve ser misturada com etanol (etanol anidro). Já para o mercado da indústria química, a falta de etanol como matéria-prima pode acarretar uma parada de produção que geraria altos gastos. Pelo mesmo motivo, exigem-se altos níveis de serviço para a cana-de-açúcar para a primeira geração e futuramente para o bagaço e a palha na segunda geração.

A colheita da cana-de-açúcar convencional é sazonal, pois existem períodos específicos ao longo do ano para seu cultivo e colheita, o que reflete diretamente na geração do bagaço, da palha e na produção de etanol. No entanto, com o uso da cana Vertix essa colheita pode ser em qualquer momento do ano, o que resulta em uma geração constante dos materiais lignocelulósicos e na produção mais equilibrada de etanol. Outro ponto que a sazonalidade da colheita também reflete na demanda pelos materiais agrícolas, que estava ajustada de acordo com a sazonalidade, porém o mesmo não acontece com a demanda por etanol que não apresenta sazonalidade ao longo do ano, apenas variações devido às taxas de crescimento ao longo dos anos.

Quanto ao custo da falta, todos esses materiais tem um alto custo pelos mesmos motivos apresentados para nível de serviço, uma vez que sua disponibilidade está consequentemente atrelada à sua falta. Já para os custos de oportunidade, a cana-de-açúcar possui o maior custo devido a sua alta perecibilidade que inviabiliza o seu estoque. Os materiais lignocelulósicos e o etanol possuem baixo valor agregado, o que é característico de produtos com baixo custo de oportunidade, porém no caso dos materiais lignocelulósicos há degradação após algum tempo em estoque, o que confere um acréscimo no custo de oportunidade devido a essa perecibilidade. Dessa forma seu custo de oportunidade está entre o colmo da cana-de-açúcar e o etanol, caracterizando se como um custo médio.

Definidas as características dos componentes do setor sucroalcooleiro, o próximo passo é fazer a análise comparativa das influências logísticas nos cenários apresentados, considerando os impactos gerados por esses componentes. A análise irá seguir a ordem do triângulo de decisão introduzido na seção II.1. Dessa forma, a primeira vertente a ser analisada é o transporte, seguido de manutenção de estoque e localização. Primeiramente será mostrado como as variáveis logísticas são determinadas no fluxo de suprimento de cada cenário.

Tabela 16 – Principais características dos produtos do setor sucroalcooleiro que impactam a logística

Aspecto	Cana-de-açúcar (colmo)	Bagaço/ Palha	Etanol
Valor Agregado	Baixo	Baixo	Baixo
Densidade	Baixa	Baixa	Média
Perecibilidade	Muito Alta	Média	Baixa a Nula
Nível de Serviço Exigido	Alto	Alto *	Alto
Produção/ Colheita ("Oferta")	Sazonal**	Sazonal*/**	Sazonal**
Demanda	-	-	Constante
Custo da Falta	Alto	Alto *	Alto
Custo de Oportunidade	Muito Alto	Médio *	Baixo

*Características que serão estabelecidas após a implementação da segunda geração.
**Depende da cana em questão, para cana Vertix é "Constante".

Fonte: Elaboração própria

V.3.1. Suprimento

V.3.1.1. Transporte

Seguindo o triângulo de decisão logística discutido na seção II.1, primeiramente serão destacadas as variáveis de transporte nos fluxos de suprimento dos cenários apresentados. Os custos de transporte são calculados a partir dos fatores de distância, volume de carga, densidade, capacidade de acondicionamento, manuseio, responsabilidade e aspectos do mercado (*hnow how*). Os fatores capacidade de acondicionamento, manuseio e responsabilidade não serão analisados, pois não são característicos do agronegócio uma vez que não se requer o uso de embalagens ou equipamentos especiais e nem danos/reclamações potenciais.

Os materiais apresentados no suprimento das usinas, ou seja, colmo, bagaço e palha da cana-de-açúcar, possuem alto volume de carga, porém também possuem baixa

densidade em sua forma bruta. Devido ao limite de espaço nas viagens, essas características implicam em baixa consolidação de carga que, adicionado ao fato de possuírem baixo valor agregado, implica em alto impacto dos custos de transporte no custo final dessas cargas. A fim de minimizar os custos e viabilizar o transporte, a distância fica restrita a menores quilometragens.

No entanto, caso haja um aumento da densidade do material a ser transportado, haverá mais consolidação de carga. Isso significa a redução do preço unitário por que há uma diluição dos custos no incremento de carga movimentada. Desse modo, é possível reduzir os custos com transporte ou aumentar o raio de captação (distância) para o mesmo frete calculado sem densificação, ficando a cargo da estratégia da organização responsável pelo suprimento.

No Cenário 1, observa se que não é possível a densificação da cana-de-açúcar, uma vez que sua origem é no campo o que lhe confere restrições na distância de captação da matéria-prima para não comprometer os gastos com transporte. Já para o Cenário 2 há a possibilidade da densificação na área das usinas de primeira geração que se utilizarão do caldo. Para este cenário, a organização responsável precisa fazer duas determinações: primeiro, se é prioridade a redução do frete ou o aumento no raio de captação e, segundo, se compensa a redução do frete em contrapartida aos gastos necessários com a densificação.

Já em relação ao desempenho esperado para a operação de transporte são analisados os critérios de velocidade, consistência, capacitação, disponibilidade e frequência. A usina de primeira geração, que impacta o Cenário 1, devido às características de perecibilidade da matéria-prima e do alto nível de serviço requerido, necessita de maior velocidade (ou seja, menor *lead-time*) e consistência, o que não é tão primordial para as usinas de segunda geração, pois há uma menor perecibilidade para o bagaço e a palha, ou seja, para o Cenário 2. A capacitação não é um item importante nesse fluxo, já que trabalham sempre com os mesmos tipos de carga e volumes. Porém, a disponibilidade é um item muito importante, pois é preciso fazer carregamento nas áreas de colheita, isto é, no campo, fato que restringe o suprimento pelo modal rodoviário, já que este possui maior flexibilidade para fazer o carregamento no campo. Além disso, a frequência sazonal para a cana convencional implica na necessidade de

flexibilidade entre a utilização ou não do meio de transporte, o que não ocorre para cana Vertix.

V.3.1.2. Manutenção de Estoques

O segundo vértice do triângulo de decisões é a manutenção de estoques, que foi apresentada na seção II.1.2. A política de manutenção de estoque tem como decisões quando e quanto pedir de ressuprimento e quanto manter em estoque de segurança. Como as usinas já têm uma informação prévia de quanto irão colher, pois isso foi determinado no período do cultivo, há um planejamento sobre a demanda de matéria-prima que será processada. Assim, os cenários apresentados possuem uma dinâmica de estoque com taxa de consumo previsível, ou seja, com baixos níveis de incerteza conferindo maior controle sobre o estoque em momentos futuros.

Para a cana-de-açúcar, analisando a política de tamanho do estoque, como seu custo de oportunidade é muito elevado devido à alta perecibilidade que pode gerar grandes perdas do material rentável, é mais favorável estoques menores a fim de reduzir o custo de oportunidade, o que confere menores gastos com armazenagem. Porém, essa matéria-prima também tem um custo de falta para a usina e o gasto com transporte de pequenos volumes é maior, já que necessita de mais viagens para ressuprimento e a busca por reduzir o tempo de consolidação, fazendo com que a cana-de-açúcar chegue mais rápido à usina, pode levar a um fracionamento de carga que torna a tonelada por quilômetro rodado mais cara. Dessa forma, é preciso balancear o custo de oportunidade gerado pela perda do material rentável com o custo da falta para a usina e os gastos gerados no transporte, de modo a achar o menor gasto total com esses três custos.

A decisão do momento e quantidade do ressuprimento da cana-de-açúcar convencional está atrelada à sua colheita que é sazonal, o que força uma parada no processamento no período da entressafra. Mas no período de safra tanto para a cana convencional quanto para a Vertix, esse momento de ressuprir é calculado de modo a não faltar matéria-prima para a usina num turno de 24 horas, ou seja, não zerar o estoque. Assim, tem-se alta frequência de ressuprimento da cana colhida na usina, para buscar minimizar as perdas de material por perecibilidade, mas por outro lado aumenta os gatos com transporte e custo de falta, por isso não há postergação ou antecipação do pedido. Como o custo de oportunidade é maior do que o de falta e os cenários são de

demandas e tempos de ressuprimento conhecidos, o estoque de segurança é subdimensionado, obedecendo ao modelo *just in time*.

No caso do bagaço e da palha, o custo de oportunidade não é tão elevado, pois a perecibilidade desses materiais é menor e se mantém o custo de faltar esses materiais na usina. Assim, pode-se pensar em políticas de estoques maiores, o que implica em maiores gastos com armazém, mas menores gastos com o transporte. O momento e a quantidade de ressuprimento desses materiais lignocelulósicos também estão atrelados à safra da cana-de-açúcar, já que são gerados durante a mesma. Para cana convencional, Cenário1, o consumo desses materiais em períodos de baixa colheita ou de entressafra é possível devido à política de estoques maiores e significativo estoque de segurança gerados nos períodos de pico de safra para conseguir atender nos períodos de baixa. Já para a cana Vertix, Cenário 2, é possível espaçar o ressuprimento do material lignocelulósico de forma a equilibrar custos de estoque e o custo com o suprimento (colheita e transporte), caracterizado pelo modelo de lote econômico.

V.3.1.3. Localização

Por último o vértice da localização, que foi detalhado na seção II.1.3. No cenário 1, a tendência é de descentralização dos estoques da cadeia de suprimento, pois esta cadeia está atrelada ao risco de perecibilidade da cana-de-açúcar, já que a segunda geração serve como complementar da primeira geração, e há uma alta previsibilidade da demanda. Assim, a descentralização reduz esse risco associado a perecibilidade e de se manter estoques que possuam elevados custos de oportunidade. Já para o cenário 2, pode se pensar em casos mais centralizados, pois a característica da matéria-prima principal não é de altos custos de oportunidade, sendo possível centralizar o estoque da matéria-prima e viabilizar maiores escalas de processamento.

Para obter o ótimo da configuração da rede logística é preciso levar em consideração todos os custos fixos e variáveis da produção e dos três vértices do triângulo logístico. Além disso, cada região possui características que podem favorecer ou não o modo de operar, o que afeta a estrutura logística a ser definida. Dentro dessas características de influência da localização está a infraestrutura de cada região, o qual foi apresentado para a conjuntura brasileira no capítulo III.

Caso a cadeia de suprimento esteja localizada próxima a uma hidrovia, é possível aumentar o raio de captação ou reduzir os custos de transporte sem gastar com densificação, pois o limite físico desse modal é maior, o que confere mais volume de carga a ser transportado. Para o Cenário 2, com a consolidação do bagaço e da palha de cana-de-açúcar, é possível o seu transporte através de ferrovias também, caso existam ferrovias disponíveis perto da região do processamento. Além disso, estradas asfaltadas e em bom estado de conservação conferem maior velocidade ao modal rodoviário, conforme a tabela 9 da seção III.1.1, o que reduz o tempo de chegada do material para o mesmo frete, ou seja, reduz o custo de oportunidade da biomassa.

Na tabela 17 há a consolidação dos resultados das influências das variáveis logísticas na cadeia de suprimento para ambos os cenários.

Tabela 17– Principais variáveis logísticas que afetam a cadeia de suprimento.

Variável – Suprimento	Cenário 1	Cenário 2
Aspectos de Mercado (Know how)	Conhecido, exceto pelo pré-tratamento da 2G	Novo, exceto a parte da 1G
Nível de Serviço Requerido	Alto	Alto
Distância entre os Players	Pequena	Possibilidade de maiores distâncias
Volume de Carga Movimentada	Baixo	Possibilidade de maiores volumes mov. por vez
Densidade da Carga Movimentada	Baixa	Baixa, com possibilidade de aumento
Lead Time Requerido	Baixo *lead time* e consistente	Flexível
Taxa de Consumo (processamento da matéria-prima)	Previsível (baixo nível de incerteza)	Previsível (baixo nível de incerteza)
Frequência de Ressuprimento	Alta	Baixa, para maiores volumes de carga mov.
Postergação/ Antecipação do Pedido	Sem postergação ou antecipação	Pode haver antecipação do pedido
Política de Tamanho de Estoque	1G: *Just in time* 2G: Grande (para atender a entressafra)	Lote econômico
Estoque de Segurança	1G: Tende a nulo 2G: Sazonal, alto para atender a entressafra	Constante e calculado de acordo com o lote econômico
(Des) Centralização	Descentralizado	Possibilidade logística de centralização

Fonte: Elaboração própria

V.3.2. Distribuição

V.3.2.1. Transporte

Já para cadeia de distribuição, a carga a ser armazenada e transportada é o etanol. Conforme visto na tabela 16, esse material não apresenta uma densidade tão baixa quanto a biomassa e no fluxo de distribuição possui, em sua maioria, alto volume

de carga a ser movimentada. Como o consumo de etanol é em todo território nacional e sua produção está concentrada em algumas regiões, isso gera transporte com grandes distâncias. De forma a não ter altos impactos no custo final do produto, característico de baixo valor agregado, é possível consolidar o transporte dessa carga.

No Cenário 1, observa-se que há descentralização das unidades de produção, o que por sua vez gera incialmente baixa consolidação dos fluxos de etanol. Por isso, há investimento em *hubs* de etanol para consolidação deste, resultando em menores impactos nos custos dos fluxos de longa distância. Já para o Cenário 2, dependendo da escala de produção da usina, pode se considerar que o etanol já estará consolidado na própria usina ou também será preciso da técnica do *hub* para melhorar a eficiência do transporte. A localização dos *hubs* é determinada de forma a se ter as menores distâncias do etanol ao *hub*, ou seja, a melhor consolidação de carga desse trecho deve ser compensada por menores distâncias de transporte.

Para o desempenho esperado na operação de transporte do etanol, a velocidade (ou seja, menor *lead-time*) não é tão primordial uma vez que o produto não é perecível. Essa caraterística possibilita a formação de estoques, que será debatido a seguir, sendo assim, o cumprimento do tempo de entrega não precisa ser tão rigoroso. Já a capacitação, assim como na cadeia de suprimento, não é um item importante. Para o Cenário 1, é preciso um transporte disponível para transportar o etanol localizado nas usinas descentralizadas de processamento e que seja flexível entre utilização ou não do meio de transporte devido à frequência sazonal da cana convencional. No Cenário 2, há a possibilidade de consolidação, o que amplia as possibilidades de disponibilidade e possíveis modais a serem utilizados, uma vez que alguns modais são utilizados prioritariamente para maiores volumes de carga, conforme visto na seção III.1.5., além da cana Vertix não ter um comportamento sazonal o que implica em um frequência constante no transporte.

V.3.2.2. Manutenção de Estoque

Já para manutenção de estoques, quando a colheita tem comportamento sazonal, consequentemente a produção de etanol também é sazonal, o que gera grandes volumes de estoque para garantir seu consumo durante o período entressafra. Como visto anteriormente, a segunda geração reduz a necessidade desse estoque, pois os materiais

lignocelulósicos podem ser processados durante esse período o que gera uma política de menores estoques.

Quanto à dinâmica de estoque, a taxa de consumo para o setor de combustíveis é menos precisa, uma vez, que para o fluxo de distribuição, existem diferentes mercados consumidores, ao invés de um só mercado (usina) como ocorre no suprimento, e há substituto do produto (gasolina). Isso não ocorre com a indústria química, tendo maior previsão de sua taxa de consumo de etanol. Assim, somando-se ao fato de que quanto maiores a distâncias de transporte maior será a chance de imprevistos no *lead-time*, os estoques de etanol apresentam níveis de incerteza maiores do que as apresentados no suprimento, conferindo a necessidade de uma política de manutenção de estoque diferenciada.

O etanol possui alto custo de falta e baixo custo de oportunidade, com isso tem-se uma política de maiores tamanhos do estoque, para que haja uma garantia que não falte produto ao mercado. Além disso, essa política vai a favor da redução dos custos de transporte através da consolidação da carga no transporte do produto, mas gera maiores custos de armazenagem, necessitando de um balanceamento dos mesmos. O momento e a quantidade de ressuprimento do etanol nas usinas estão atrelados ao processamento, que é sazonal para o Cenário 1 e constante para o Cenário 2, mas no caso dos *hubs* de etanol o ressuprimento pode ser controlado pela logística, havendo um equilíbrio entre os estoques que estão nos *hubs* e nas usinas, que estarão diretamente associados ao total de produção do etanol.

Para o Cenário 1, devido à descentralização das usinas, caso o atendimento dos mercados seja feito diretamente da usina, os estoques de segurança nas mesmas devem ser mantidos de forma conservadora por conta do custo de falta e das incertezas na dinâmica desse cenário. Além disso, no Cenário 1, mesmo com o uso dos materiais lignocelulósicos, há um pico de produção de etanol, conforme visto na figura 36, ou seja, um momento de grande quantidade de ressuprimento que será consumido ao longo dos meses em que a produção não supre o consumo, como é o caso da entressafra. Já para o Cenário 2 e nos hubs, a centralização permite maior controle sobre as incertezas, necessitando comparativamente de menores estoques de segurança.

Com o planejamento de colheita da cana Vertix, pode-se estipular que não haja o pico de produção apresentado no Cenário 1, tendo dessa forma, mais momentos de ressuprimentos em menores quantidades, no qual há um equilíbrio maior entre a produção e o consumo do etanol. O uso de *hub*, como dito anteriormente, é para consolidar os volumes de etanol que foram processados de forma descentralizada, assim o seu ressuprimento é feito com maiores frequências e menores volumes de ressuprimento.

V.3.2.3. Localização

Logo, para o vértice localização do triângulo de decisões logísticas, o Cenário 1 é de descentralização, com exceção do uso de *hubs* e o Cenário 2 é de possível centralização caso a tecnologia de processamento do etanol permita. Vale lembrar que para obter o ótimo da configuração da rede logística, é preciso levar em consideração todos os custos fixos e variáveis da produção e dos três vértices do triângulo logístico.

Para os dois cenários na cadeia de distribuição, a região na qual está localizada toda infraestrutura logística possui grande influência na viabilidade do cenário de distribuição, isso acontece, pois estes se caracterizam por fluxos de grandes distâncias. Assim, a disponibilidade de infraestrutura de cada região produtora irá impactar na forma como será feita a distribuição. Se a região está próxima do porto ou do mercado interno o modal a ser utilizado é o rodoviário conforme já visto anteriormente, mas para grandes distâncias é preciso verificar a disponibilidade de ferrovias, hidrovias ou dutovias (projeto Logum) próximas à região produtora que poderão reduzir os custos logísticos e seus impactos na viabilidade econômica da cadeia como em todo.

Na tabela 18, há a consolidação dos resultados das influências das variáveis logísticas para ambos os cenários na cadeia de distribuição.

Tabela 18– Principais variáveis logísticas que afetam a cadeia de distribuição.

Variável – Distribuição	Cenário 1	Cenário 2
Aspectos de Mercado (Know how)	Conhecido	Novo (maior consolidação, possível diferenciação do 1G para 2G, ...)
Nível de Serviço Requerido	Alto (existência de substitutos)	Ainda não estabelecido, provavelmente alto
Distância entre os Players	Grande e diversificada	Grande e diversificada
Volume de Carga Movimentada	Baixo até o *hub,* depois o volume é consolidado	Possibilidade de maior consolidação na usina, ou uso de *hub.*
Densidade da Carga Movimentada	Média	Média
Lead Time Requerido	Flexível	Flexível
Taxa de Consumo (indústria química e combustíveis)	Ind. Química: Previsível Comb.: Menos previsível	Ind. Química: Previsível Comb.: Menos previsível
Frequência de Ressuprimento	Usina: De acordo com o processamento (saz.) *Hub*: Alta (menores volumes)	Usina: De acordo com o processamento (cte.) *Hub*: Alta (para menores volumes)
Postergação/ Antecipação do Pedido	Antecipação do pedido (custo de falta maior)	Antecipação do pedido (custo de falta maior)
Política de Tamanho de Estoque	O somatório nas usinas é grande (para atender a entressafra)	Grande
Estoque de Segurança	Grande (possui incertezas)	Grande (possui incertezas)
(Des) Centralização	Descentralizado até o *hub*	Possibilidade logística de centralização

Fonte: Elaboração própria

V.3.3. Comparação de toda rede logística

O resultado de uma comparação genérica entre as duas redes logísticas, olhando desde a colheita da cana-de-açúcar até o mercado consumidor, está apresentado na tabela 19.

O Cenário 1, apesar não ter estoque de cana-de-açúcar, possui maiores estoques de etanol que confere custos maiores de armazenagem referente ao Cenário 2. No entanto, os gastos com suprimento no Cenário 2 são maiores, uma vez que este é feito em duas etapas, do campo à usina de primeira geração e depois para usina de segunda geração. Já na distribuição, os gastos do Cenário 2 é menor, caso este seja possua uma maior escala de processamento, o que confere redução nos custos de consolidação do etanol. Isso significa que o menor gasto não é unânime para um único cenário apresentado. Com isso é necessária uma análise de compensação para encontrar a opção mais adequada economicamente, isto é, o ponto em que a soma de todos os custos é mais baixa.

Tabela 19– Principais variáveis logísticas que afetam a cadeia de suprimento e distribuição.

Gastos	Cenário 1	Cenário 2
(Des) Centralização	Descentralizado até o *hub*	Possibilidade logística de centralização
Gastos com Produção	Maior	Menor (considerando apenas a escala de produção)
Gastos com Estoque	Maior	Menor
Gastos com Transporte de Suprimento	Menor	Maior
Gastos com Transporte de Distribuição	Maior	Menor

Fonte: Elaboração própria

O ponto de menor custo irá variar cada ocasião, uma vez dependendo da região, há diferentes custos de tancagem, frete de suprimento ou distribuição do etanol. Com isso, é preciso fazer uma ressalva que o comparativo apresentado na tabela 19 é uma visão simplificada dos custos, podendo haver alterações pontuais de acordo com a localização à qual a rede estará inserida ou novas tecnologias. Exemplificando uma possível alteração está no fato de que a tecnologia de segunda geração ainda está começando a evoluir em escala comercial. Quanto menor for seu custo de produção, mais viável economicamente o mercado será e maior será a flexibilidade nos outros gastos apresentados.

VI. Conclusão

As influências logísticas no uso dos resíduos agrícolas, bem como a relação dos fatores determinantes para o desenvolvimento de conceitos logísticos deste mercado no cenário brasileiro, foram apresentadas ao longo desse trabalho para o setor sucroalcooleiro. Para isso, foram apresentados os principais conceitos logísticos e as características dos materiais envolvidos na cadeia, a fim de se identificar quais são esses fatores determinantes na análise. O resultado para os possíveis cenários apresentados do setor sucroalcooleiro indicou a importância da logística, podendo trazer economias significativas ao segmento, de forma a gerar vantagens competitivas.

Portanto, os profissionais do mercado de resíduos agrícolas precisam ter um conhecimento bastante amplo de logística, o que engloba uma visão sistêmica da empresa, que compreende a qualidade do produto, atividade industrial, agrícola, entre outros. A busca de melhores cenários logísticos reflete em diferentes localizações que favoreçam os custos, ou que tenham uma infraestrutura mais adequada, além de viabilizar o uso de outros modais que não o rodoviário para a movimentação das cargas. Deve ser destacado que a grande representatividade do setor de transporte rodoviário no consumo de etanol é uma consequência direta da matriz de transporte brasileira, que utiliza em grande parte o modal rodoviário, apesar de ser um país de grandes dimensões e abundantes bacias hidrográficas, o que favoreceria o transporte ferroviário, hidroviário e o dutoviário.

Para as localidades onde há infraestrutura dos outros modais, estes trariam benefícios não só econômicos como também ambientais e sociais, que estão relacionados à menor emissão de poluentes na atmosfera, menores engarrafamentos e menores chances de ocorrência de acidentes. Além disso, sabe-se que o mercado consumidor de etanol, principalmente o externo, está mais exigente com questões de sustentabilidade, oferecendo até algumas premiações como é o caso do etanol celulósico nos EUA. Por isso, aumenta a preocupação de como esses produtos serão transportados, de forma a aumentar o seu desenvolvimento sustentável e credibilidade no mercado.

Esse estudo apontou também algumas oportunidades geradas pelo uso de resíduos agrícolas dentro do setor sucroalcooleiro, justificadas pelo reajuste entre a oferta e a demanda. Tais oportunidades trazem reduções nos investimentos necessários

para o atendimento da demanda de etanol que, do ponto de vista logístico deixa o seu processamento menos custoso, o que favorece o seu uso.

Apesar de ter sido escolhido estudos de caso abrangentes, esse trabalho pode considerar o seu objetivo alcançado, uma vez que validou qualitativamente os diversos impactos logísticos entre os períodos de colheita, produção e consumo do setor sucroalcooleiro. Além de fornecer relações reprodutivas para os outros mercados de resíduos agrícolas e identificar oportunidades redução dos custos logísticos no setor. Assim, não se pretendeu, neste trabalho, especificar sobre uma única unidade de processamento existente e sua cadeia.

Destaca-se ainda que o mercado de resíduos agrícolas é ainda dependente de tecnologias emergentes, o que lhe confere ainda um grande potencial de mudanças na estrutura, como alterações no custo de produção. Por isso, esse trabalho voltou-se para um estudo com enfoque mais amplificado, ou seja, evidenciando mais as discussões de âmbito estratégico das empresas e do governo do que análises quantitativas com precisão e acurácia que podem ter seus resultados alterados rapidamente com a mudança da tecnologia dos materiais celulósicos. Um exemplo dessa mudança é que atualmente o Cenário 1 apresentado possui um investimento inferior ao Cenário 2, 230 milhões contra 350 milhões. No entanto, essa diferença com os adventos da tecnologia podem variar significativamente.

Por fim, esse estudo também serve como fonte consolidada de informações atualizadas na conjuntura brasileira, que normalmente estão espalhadas em diversas fontes e bases de dados, facilitando o acesso às informações do uso de matérias-primas lignocelulósicas e suas influências logísticas na cadeia.

VI.1. Recomendações

Para uma avaliação mais precisa a respeito dos gastos necessários, seria preciso determinar com exatidão os fatores estruturais que interferem particularmente em cada região e em cada período do ano (por exemplo, entressafra). Entre esses fatores estão as distâncias entre os campos de colheita, usina e os mercados consumidores, os valores de oferta e demanda, além de definir especificamente os fluxos entre eles e a infraestrutura logística na qual eles estão localizados. O grau de dificuldade de uma avaliação desse

nível não é trivial, mas é importante para a otimização da estrutura logística de cada caso, a qual a estrutura de gestão de cada empresa pode facilitar ou dificultar o projeto de avaliação de desempenho como se propõe neste trabalho.

Em suma, além dessa análise mais específica, ficam algumas recomendações a serem feitas para futuros trabalhos que forem realizados nesta mesma linha. Entre elas estão o estudo sobre o mercado de outros resíduos agrícolas não destacados aqui, como os provenientes do milho, já que também há possivelmente gargalos e oportunidades específicas desses mercados. Outro estudo seria um aprofundamento das características regionais do mercado de transporte no Brasil e quantificação do frete para diferentes regiões e modais utilizados, mensurando numericamente como de fato podem interferir no preço, ou na variação do preço, do serviço de transporte.

VII. Bibliografia

AGUIAR, D. A., RUDORFF, B. F., & FERNANDO, W. (2008). *Monitoramento do modo de colheita da cana-de-açúcar.* Acesso em 15 de Janeiro de 2014, disponível em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE: http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/artigos

ALMEIDA, A. M., VARGAS, J., INÁCIO, D., & VIEIRA, J. G. (2007). Colaboração logística na cadeia de suprimentos do etanol: o elo atacadista-varejista. *III SAEPRO.* UFV.

ALMEIDA, J. R., RUNQUIST, D., NOGUÉ, V. S., & LIDÉN, G. (2011). Stress-related challenges in pentose fermentation to ethanol by the yeast Saccharomyces cerevisiae. *Biotechnology Journal*, pp. 286–299.

ALMEIDA, M. F. (2012). Química Verde: desafios para o desenvolvimento sustentável.

ANP. (2013). *Lista completa das usinas de etanol autorizadas pela ANP a operar.* Acesso em 24 de Fevereiro de 2014, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/n/industria/usinas/lista-completa-usinas-etanol-autorizadas-anp-operar-170113/

ANTF. (2012). *Apresentações da ANTF.* Acesso em 06 de Novembro de 2013, disponível em Site da Associação Nacional de Transportes Terrestres: http://www.antf.org.br/pdfs/presidenciaveis.pdf

BALLOU, R. H. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos* (4° ed.). Bookilometroan.

BANCO MUNDIAL. (2010). *Connecting to Compete: Trade Logistics in Global Economy.* Acesso em 17 de Março de 2014, disponível em Site do Banco Mundial: http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD

BNDES. (2003). *Ampliação da produção de etanol e cogeração de energia.* Acesso em 2014 de Janeiro de 20, disponível em Site do BNDES: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo

BNDES. (2004). *Panorama do Complexo Soja.* Acesso em 10 de Fevereiro de 2014, disponível em Site do BNDES: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set804.pdf

BOWERSOX, D. C. (1996). *Logistical Management - The Integrated.*

BRESSAN FILHO, Â. (2010). *Os Fundamentos da Crise do Setor Sucroalcooleiro no Brasil* (2a ed.). Conab - Companhia Nacional de Abastecimento.

CAMELINI, J. H. (2012). Agricultura de precisão para cana-de-açúcar: expressão local de um processo global. São Paulo, Brasil: Programa de Pós- Graduação de Geografia da UNICAMP.

CESAR, E. (2009). *Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol.* Acesso em 07 de Novembro de 2013, disponível em CTBE: http://www.bioetanol.org.br/noticias/detalhe.php?ID=MTA1

CHING, H. (2006). *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada.* São Paulo: 3ª Ed. Atlas.

CNT. (2003). *TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL - Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País.* Acesso em 02 de Novembro de 2013, disponível em Portal TCU: http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2062408.PDF

CNT. (2012). *Investimentos Federais em Transporte.* Confederação Nacional de Transporte - CNT.

CNT. (2013). *O Sistema Ferroviário Brasileiro.* Relatório da malha ferroviária brasileira, Confederação Nacional de Transporte - CNT, Brasília.

CONSECANA. (2006). *Conseolho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo.* Piracicaba: Consecana.

DALE, B. E., & KIM, S. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, 361–375.

EMBRAPA. (2012). *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustrais e florestais*. Acesso em 01 de Dezembro de 2013, disponível em Infoteca Embrapa: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf

ERANKI, P. L. (2011). Advanced Regional Biomass Processing Depots: a key to the logistical challenges of the cellulosic biofuel industry. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, pp. 621-630.

FARIA, V. (2013). A ociosidade e o limite de capacidade das usinas de etanol. São Paulo: NovaCana.com.

FIESP. (2013). *Outlook 2023 - Projeções para o Agronegócio.* São Paulo: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - Fiesp.

FIGUEIREDO, K. (2006). A logística enxuta. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Estudo em Logística – COPPEAD/ UFRJ.

FLEURY, P. F. (2010). *Gestão Estratégica do Transporte.* Rio de Janeiro: ILOS.

FROHLING, M., SCHWEINLE, J., MEYER, J.-C., & SCHULTMAN, A. F. (2011). *Logistics of Renewable Raw Materials.* Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

GOVERNO DO ESTADO DE SP. (2002). *Lei 11241/02 | Lei n.º 11.241.* Acesso em 4 de Fevereiro de 2014, disponível em Jus Brasil: http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/129474/lei-11241-02

GRANBIO. (2012). *GraalBio anuncia primeira planta de etanol celulósico do Hemisfério Sul* . Acesso em 14 de Janeiro de 2014, disponível em Site da Granbio: http://www.granbio.com.br/wp-content/uploads/2012/05/Primeira_planta_de_etanol_celulosico.pdf

GRANBIO. (2013). Acesso em 12 de Fevereiro de 2014, disponível em Site da Granbio: http://www.granbio.com.br/

HESS, J. R. (2007). Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, pp. 181-190.

IBGE. (2013). *LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA.* Rio de Janeiro: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

IBP. (2011). *Planejamento Integrado de Cadeias Logísticas para Combustíveis no Brasil.* Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis.

ILOS. (2008). *Estoque - LEC*. Acesso em 22 de Janeiro de 2014, disponível em Site do Instituto de Logística e Supply Chain: http://www.ilos.com.br/

ILOS. (2011). Iniciativas de sustentabilidade ambiental das empresas no Brasil. *Logística Verde*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain.

ILOS. (2013). Panorama - Custos Logísticos no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto de Logística e Supply Chain.

JALOTO TRANSPORTES. (2014). *Detalhes da Frota da Jaloto*. Acesso em 12 de Março de 2014, disponível em Site da Jaloto: http://www.jaloto.com.br/frota.php

LAMBERT, D. M.-D. (2001). *The Supply Chain Manegement Processes.* The International Journal of Manegement.

LEITE, L. F. (2012). Considerações sobre as estratégias público-privadas para o desenvolvimento de biorrefinarias. *Biorrefinarias: Presente e Futuro*, 7-9.

LOGUM. (2014). *O sistema Logum*. Acesso em 22 de Fevereiro de 2014, disponível em Site da empresa Logum: http://www.logum.com.br/php/o-sistema-logum.php

MAPA. (2013). *Projeções do Agronegócio.* Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

MARENGO, J., & SOARES, W. (2003). Impacto das Mudanças Climáticas no Brasil e Possíveis Futuros Cenários Climáticos. *Condições climaticas e recursos hidricos no Norte do Brasil*, pp. 209-233.

MIAO, Z. S. (2012). Lignocellulosic biomass feedstock transportation alternatives, logistics, equipment configurations, and modeling. . *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, pp. 351-362.

MILANEZ, A. Y., NYBO, D., GARCIA, J. L., & XAVIER, C. E. (2010). Logística do Etanol: Situação atual e desafios futuros. *Sucroenergético, 31*, 49-98. BNDES Setorial.

NEVES, M., WAACK, R., & MARINO, M. (2000). Sistema Agroindustrial da cana-de-açúcar. *Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, *01*, pp. 559-572. Poços de Caldas.

NOVA CANA. (2013). *As projeções de produção de cana, açúcar e etanol para a safra 2023/24 da Fiesp/MB Agro.* Acesso em 22 de Fevereiro de 2014, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/estudos/projecoes-producao-cana-acucar-etanol-safra-2023-2024-fiesp-mb-agro/

NOVA CANA. (2013). *Etanol 2G será para exportação.* Acesso em 22 de Fevereiro de 2014, disponível em http://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-2g-sera-para-exportacao-110913/

NOVA CANA. (2013). *Logística: Infraestrutura e transporte para exportação de etanol.* Acesso em 4 de Março de 2014, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/etanol/logistica-infraestrutura-transporte/

NOVA CANA. (2013). *Para encontrar a melhor cana-de-açúcar, GranBio faz caminho inverso.* Acesso em 14 de Dezembro de 2013, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/n/cana/variedades/encontrar-melhor-cana-acucar-granbio-inverso-090513/

NOVA CANA. (2013). *Raizen vai ter usina de etanol de segunda geração em 2014.* Acesso em 2 de Abril de 2014, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/raizen-usina-etanol-2g-2014

NOVA CANA. (2014). *GranBio atinge etapa final antes de vender etanol 2ª geração no Brasil.* Acesso em 20 de Março de 2014, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-etapa-final-vender-etanol-2-geracao-180314/

NOVA CANA. (2014). *GranBio busca parceiros para seus novos projetos.* Acesso em 29 de Março de 2014, disponível em Revista Eletrônica Nova Cana: http://www.novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/granbio-busca-parceiros-projetos-070314/

NOVAES, A. G. (2001). Logística e Gerenciamento: Estretégia, Operação e Avaliação.

NUNES, P. B. (2010). Caracterização Logística do Sistema Agroindustrial. Piracicaba, São Paulo: Monografia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ).

NYKO, D., VALENTE, M. S., DUNHAM, F. B., & MILANEZ, A. Y. (2013). *Planos de fomento estruturado podem ser mecanismos mais eficientes de política industrial? Uma discussão à luz da experiência do PAISS e seus resultados.* Acesso em 26 de Março de 2014, disponível em BNDES Setorial: http://www.novacana.com/pdf/set3802.pdf

ONU. (2012). *A ONU e o meio ambiente*. Acesso em 09 de 07 de 2013, disponível em ONUBR - Nações Unidas no Brasil: http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente/

POTER, M. (2007). Climate Business. *Harvard Business Review*, 1-17.

RAÍZEN. (2013). Tecnologia a serviço do desenvolvimento. *Revista Raízen*(4), 18-10.

RAÍZEN. (2014). A hora e a vez do etanol de segunda geração. *Revista Raízen, 10*, 15-21.

REBELATO, M. G., MADALENO, L. L., & RODRIGUES, A. M. (2013). PONDERAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL SUCROENERGÉTICA. *Revista Gestão Industrial*, 392-415.

REVISTA EXAME. (2010). Começa a década da infraestrutura. *Revista Exame*.

ROMÃO, R. A. (2009). Análise da viabilidade do aproveitamento da palha da cana de açúcar para cogeração de energia numa usina sucroalcooleira. São Paulo, Brasil: Unesp - Pós Graduação.

ROSSETO, R. (2008). *Maturação da Cana-de-açúcar.* Brasília: Embrapa.

SANTOS, M. L., LIMA, O. J., NASSAR, E. J., CIUFFI, K. J., & CALEFI, P. S. (2011). Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. *34*, pp. 507-511.

SANTOS, M. L., LIMA, O. J., NASSAR, E. J., CIUFFI, K. J., & CALEFI, P. S. (2011). Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. *34*, 507-511. São Paulo: Química Nova [oline].

SECRETARIA DOS TRANSPORTES DE SÃO PAULO. (2010). *Secretaria dos Transportes de São Paulo*. Acesso em 06 de Novembro de 2013, disponível em Secretaria dos Transportes de São Paulo: http://www.transportes.sp.gov.br/

SETTEN, A. (2010). *Mecanismos de redução de custos logísticos de exportação.* Seminário Internacional em Logística Agroindustrial, ESALQ, Piracicaba.

SILVA, J. E. (2006). *Desenvolvimente de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de cort, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.* São Carlos: Universidade Federal de São Carlos.

Stephen, J. D. (2010). Biomass logistics as a determinant of second-generation biofuel facility scale, location and technology selection. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, pp. 503-518.

STOCKHOLM. (1972). *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*. Acesso em 23 de 05 de 2013, disponível em Site da ONU: http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&l=en

TAIZ, L., & ZEIGER, E. (2004). *Fisiologia vegetal* (3a ed.). Porto Alegre: Artmed.

TRANSPETRO. (2014). *Terminais e Oleodutos*. Acesso em 22 de Fevereiro de 2014, disponível em Site da Petrobras Transporte: http://www.transpetro.com.br/

UNICA. (2007). *Projeto Renovação.* Acesso em 4 de Fevereiro de 2014, disponível em Site da União da Indústria de Cana de Açúcar: http://www.unica.com.br/projeto-renovacao/

VAZ JR., S. (2012). *Coprodutos e Resíduos de Biomassa são Matérias- Primas para Produtos Químicos.* Brasília – DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa.

VAZ JÚNIOR, S. (2012). As biorrefinarias como oportunidade de agregar valor à biomassa. *Biorrefinaria: Presente e Futuro*, 11-12.

VAZ JÚNIOR, S. (2013). *Biomassa para Química Verde.* Brasília, DF: Embrapa Agroenergia.

WANKE, P. (2009). LOCALIZAÇÃO DE ARMAZÉNS. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Instituo de Logistica e Supply Chain.

WANKE, P. (2011). *FORMALIZANDO UMA POLÍTICA DE ESTOQUES PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS.* Rio de Janeiro: ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain.