Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Fatores determinantes da perda de qualidade do açúcar e seus impactos na logística de exportação

Aline Gisele Zanão Benatto

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências: Área de concentração Economia Aplicada

Piracicaba
2017

Aline Gisele Zanão Benatto
Engenheira Agrônoma

Fatores determinantes da perda de qualidade do açúcar e seus impactos na logística de exportação

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ VICENTE CAIXETA-FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências: Área de concentração Economia Aplicada

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Benatto, Aline Gisele Zañao

Fatores determinantes da perda da qualidade do açúcar e seus impactos na logística de exportação / Aline Gisele Zanão Benatto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

107 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Qualidade 2. Logística 3. Açúcar 4. *Logit* I. Título

À minha filha Cecília que faz
meus olhos brilharem todos os dias!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por todas as bênçãos recebidas, pela minha família, pelas oportunidades criadas para que eu pudesse concluir essa etapa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Vicente Caixeta-Filho, pela confiança, paciência e orientação.

Aos professores que participaram da banca de qualificação e defesa Profa. Dra. Lilian Maluf de Lima Cunha, Profa. Dra. Fabíola Cristina de Oliveira, Prof. Dr. Cláudio Aguiar, Profa. Dra. Marta Cristina Marjotta-Maistro e Prof. Dr. Luciano Rodrigues, que contribuíram para melhoria na construção desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP, pela contribuição à minha formação. Aos funcionários, em especial, à Maielli e à Aline Fermino. A todos os amigos do programa de Doutorado em Economia Aplicada, pelos bons momentos e pela amizade.

À minha mãe Mercedes, por mais esse apoio, incentivo e auxílio! Obrigada por ter cuidado inúmeras vezes da Cecília para que eu pudesse concluir essa etapa. Foi você que nunca me deixou desistir!

Ao meu pai Geraldo que sempre trabalhou incansavelmente para que nós concluíssemos os estudos. Ao meu irmão Renato pela parceria, amizade, conselhos e força nos momentos de apreensão. Vocês são fundamentais em minha vida!

À minha avó Maria, que mesmo sem conhecer o significado das letras, sempre incentivou todos os seus netos a estudar!

Ao meu marido César, por estar comigo nos momentos de alegria, conquistas, entusiasmos e também de ansiedade, angústias, aflição e estresse ao longo desta jornada. Você sempre acreditou em mim! Juntos compartilharmos sonhos e conquistas!

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram!

Aos meus sobrinhos Ana Luiza, Felipe, Manuella, Helena e Pietra (*in memoriam*).

À minha filha Cecília, amor incondicional e imensurável. Você transformou a minha vida!

Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele o fará.

(Salmos 37, 5)

SUMÁRIO

RESUMO.....9
ABSTRACT 10
LISTA DE FIGURAS 11
LISTA DE TABELAS 13
LISTA DE QUADROS 14
1 INTRODUÇÃO 15
1.1 Objetivos.....16
1.2 Organização da pesquisa 17
2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO 19
2.1 O setor sucroenergético no Brasil 19
2.2 O Mercado internacional de açúcar.....23
2.3 Logística do açúcar para exportação 26
2.3.1. O setor de transporte brasileiro 27
2.3.1.1 Transporte rodoviário 28
2.3.1.2 Transporte ferroviário 32
2.3.1.3 Transporte hidroviário.....34
2.3.2 O armazenamento de produtos agrícolas 36
2.3.2.1 Características da armazenagem de açúcar 36
2.4 Considerações finais 38
3 PROCESSO DE PRODUÇÃO E PARÂMETROS DE QUALIDADE DO AÇÚCAR 41
3.1 Processo de fabricação do açúcar 41
3.2 Propriedades do açúcar 43
3.2.1 Polarização ou pol (ºZ) 45
3.2.2 Cor: Unidades ICUMSA (U.I.).....46
3.2.3 Umidade 47
3.2.4 Resíduo Insolúvel ($mg.kg^{-1}$).....48
3.2.5 Dióxido de enxofre ($mg.kg^{-1}$) 48
3.2.6 Cinzas condutimétricas 49
3.2.7 Amido ($mg.kg^{-1}$).....50
3.2.8 Dextrana ($mg.kg^{-1}$).....50
3.2.9 Granulometria.....51

3.2.10 Floco ácido e floco alcoólico 51
3.2.11 Resíduos de agrotóxicos (mg.kg^{-1}) 52
3.2.12 Características físico-químicas dos açúcares 52
3.3 Considerações finais 57
4 MATERIAL E MÉTODO 59
4.1 Modelo Econométrico proposto 59
4.1.1 Especificação matemática do modelo 60
4.2 Base de dados 61
4.2.1 Fontes dos dados 62
4.3 Considerações Finais 65
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 67
5.1 Análise descritiva dos dados 67
5.2 Resultados do modelo logit 79
5.3 Custos logísticos decorrentes da perda de qualidade do açúcar bruto 86
6 CONCLUSÕES 93
REFERÊNCIAS 99

RESUMO

Fatores determinantes da perda de qualidade do açúcar e seus impactos na logística de exportação

O presente trabalho teve como objetivos identificar os principais problemas de qualidade do açúcar granel e desenvolver um modelo econométrico para mensurar a probabilidade da recusa do produto, estimar os custos logísticos envolvidos na perda de qualidade, assim como os possíveis investimentos que poderiam contribuir para a redução nos custos. Para atender a este objetivo foram realizadas entrevistas e coleta de dados com agentes do setor sucroenergético e utilizado um modelo econométrico *logit* para investigar os fatores que influenciam na perda de qualidade do açúcar VHP e consequentemente a recusa de caminhões em terminais de transbordo e terminais portuários. Os resultados revelaram um aumento no número de veículos rejeitados por problemas de qualidade nas duas safras analisadas, sendo a cor do produto o item de maior participação, além da cor fora de especificação (os demais parâmetros analisados foram umidade, granulometria, teor de cinzas, resíduos insolúveis e polarização). A regressão *logit* indicou o tempo de armazenamento como um dos principais fatores que influenciam na perda de qualidade do açúcar, além da temperatura, época do ano e macrorregião produtora. Já as variáveis relacionadas ao tipo de centrifuga utilizada na indústria e à umidade relativa do ar não apresentaram coeficientes significativos. As recusas de carga nos terminais acarretam prejuízos para o setor, principalmente no que diz respeito aos valores gastos com o frete, uma vez que o caminhão tem que retornar para usina de origem, o produto ser recuperado e voltar novamente ao terminal de destino. Para diminuir esses prejuízos seriam necessários investimentos em armazéns graneleiros que permitissem o melhor escoamento do produto, impedindo que o açúcar permanecesse muito tempo estocado; porém, o valor necessário para a construção desse tipo de armazém normalmente é considerado inviável pelos tomadores de decisão do setor. Desta forma, para minimizar os prejuízos decorrentes da recusa do produto em virtude da perda de qualidade, é necessário um maior acompanhamento e monitoramento do açúcar armazenado.

Palavras-chave: Qualidade; Logística; Açúcar; Modelo *Logit*

ABSTRACT

Determinants of loss of sugar quality and its impact on export logistics

The objectives of this study was to identify the main problems of bulk sugar quality and to develop an econometric model to measure the probability of product rejection, to estimate the logistics costs involved in the loss of quality, as well as the possible investments that could contribute to cost reduction. To meet this objective, we conducted interviews and data collection with agents from the sugarcane industry and used a logit econometric model to investigate the factors that influence the loss of VHP sugar quality and consequently the refusal of trucks at transshipment terminals and port terminals. The results showed an increase in the number of vehicles rejected due to quality problems in the two harvesting seasons that were analyzed, being the product color the item with the highest participation, besides the color not specified (the other parameters analyzed were moisture, grain size, ash content, Insoluble residues and polarization). The logit regression indicated the storage time as one of the main factors that influences the loss of sugar quality, besides the temperature, time of the year and producing macro-region. The other variables related to the type of centrifuge used in the industry and the relative humidity of the air did not present significant coefficients. Cargo denials at the terminals result in losses to the sector, especially in relation to the amounts spent on freight, once the truck has to return to the mill the product has to be recovered and to return to the destination terminal. In order to diminish such losses, it would be necessary to invest in bulk warehouses that would allow better disposal of the product, preventing the sugar from being stored for a long time. However the value needed for the construction of this type of warehouse is considered very high for many decision makers from the industry. In this way, to minimize the losses resulting from the refusal of the product due to the loss of quality, a closer monitoring of the stored sugar is necessary.

Keywords: Quality; Logistics; Sugar; *Logit* Model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil, safras de 1985/1986 a 2015/2016 20

Figura 2 - Área plantada com cana-de-açúcar nos estados que compõem a região Centro-Sul, em hectares 21

Figura 3 – Mapa dos países produtores de açúcar de cana-de-açúcar e de beterraba.....23

Figura 4 – Principais países exportadores de açúcar de cana e beterraba em 2016 24

Figura 5 Exportações brasileiras de açúcar VHP no período de 2000 a 2016, em milhões de toneladas 25

Figura 6 – Principais destinos do açúcar brasileiro no ano de 2016 26

Figura 7 Participação dos modais de transporte no Brasil em 2014 28

Figura 8 – Caminhão Bitrem Graneleiro.....30

Figura 9– Caminhão Bi-Caçamba basculante.....30

Figura 10 – Vagão hopper.....33

Figura 11 – Vagão FHD 33

Figura 12 – Barcaça plataforma para o transporte de cana-de-açúcar 35

Figura 13 – Barcaça graneleira para o transporte de açúcar a granel 35

Figura 14 – Armazém convencional com açúcar VHP estocado.....37

Figura 15 – Armazém convencional com açúcar ensacado estocado.....38

Figura 16 – Processo de fabricação de açúcar e álcool.....43

Figura 17 – Amostras de tipos de açúcar.....44

Figura 18 – Açúcar a granel recusado, por mês, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas). 68

Figura 19 – Açúcar a granel recusado, por item de especificação, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas).....69

Figura 20 – Açúcar a granel recusado, por cor, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas). 70

Figura 21 – Açúcar a granel recusado, por granulometria, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas) 71

Figura 22 - Açúcar a granel recusado, por alto teor de cinzas, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas) 72

Figura 23 – Açúcar a granel recusado, por excesso de umidade, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas) 74

Figura 24 – Açúcar a granel recusado, por alto teor de insolúveis, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas) 75

Figura 25 – Amostra de açúcar com resíduos insolúveis acima da especificação ... 76

Figura 26 – Açúcar a granel recusado, por polarização (POL) fora de especificação, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)..... 77

Figura 27 – Açúcar a granel recusado por item de especificação em cada macrorregião produtora, durante a safra 2014/2015 (em toneladas)..... 78

Figura 28 – Açúcar a granel recusado por item de especificação em cada macrorregião produtora, durante a safra 2015/2016 (em toneladas)..... 78

Figura 29 – Açúcar a granel com camadas amarelecidas 82

Figura 30 – Açúcar VHP com problemas de empedramento..... 83

Figura 31 – Dendrograma do grupamento das unidades produtoras 85

Figura 32 – Armazém graneleiro com fundo V 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de açúcar e etanol no período compreendido entre as safras 2000/2001 até 2015/2016 22

Tabela 2 – Parâmetros químicos dos açúcares refinado amorfo, cristal tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP 53

Tabela 3 – Parâmetros físicos dos açúcares refinado amorfo, cristal tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP. 54

Tabela 4 – Parâmetros microbiológicos dos açúcares refinado amorfo, cristal tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP. 55

Tabela 5 – Coeficientes da regressão logit para os veículos carregados com açúcar a granel durante as safras 2014/2015 e 2015/2016. 80

Tabela 6 – Custos adicionais com açúcar recusado por falta de qualidade nas macrorregiões produtoras, durante a safra 2014/2015. 87

Tabela 7 – Custos adicionais com açúcar recusado por falta de qualidade nas macrorregiões produtoras, durante a safra 2015/2016 88

Tabela 8 – Custos adicionais estimados com açúcar recusado por falta de qualidade, por semana de armazenamento.....89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de açúcar, padrões de embalagem e destino 29

Quadro 2 – Especificações técnicas do açúcar bruto 56

Quadro 3 – Resumo dos motivos considerados na escolha das variáveis explicativas do modelo econométrico..... 56

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos setores mais importantes da economia brasileira. Seu bom desempenho tem contribuído de forma bastante positiva na balança comercial nos últimos anos, resultando na geração de R$ 1,477 trilhão, o equivalente a 22,54% do PIB no ano de 2016, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo – CEPEA (2017).

O complexo sucroenergético é um dos principais setores dentre as esferas exportadoras da agropecuária. Em 2014 ficou em terceiro lugar, com uma participação de 13,25% das exportações do agronegócio, ficando atrás somente das exportações dos complexos soja e carnes, conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2015).

De acordo com Costa (2014), a partir da década de 90 notou-se um grande crescimento no setor, motivado principalmente devido à expansão da fronteira agrícola (sobretudo nas áreas de cerrado), ao aumento na produtividade em virtude do uso de novas tecnologias no campo, à profissionalização do setor e à demanda crescente por produtos no mercado internacional e doméstico.

Dentro do setor sucroenergético, o açúcar respondeu por 95,5% das exportações, o equivalente a 24,1 milhões de toneladas, tendo o açúcar bruto quase 76% de participação no total exportado. As exportações de etanol corresponderam a 4,5% de participação, segundo informações do MAPA (BRASIL, 2015).

O estado de São Paulo, com forte tradição no setor sucroenergético, configura-se como principal produtor, com 64% da produção de açúcar do país e também como principal exportador, sendo responsável por 66% do produto exportado pelo Brasil (BRASIL, 2015).

O açúcar que é entregue ao mercado externo utiliza principalmente os portos de Santos e Paranaguá. No ano de 2014 foram exportados pelo Porto de Santos pouco mais de 15,8 milhões de toneladas (71,6%), enquanto Paranaguá registrou 4,26 milhões de toneladas (19,2%), de acordo com dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2015).

A relevância da produção e exportação do açúcar para a economia brasileira e a importância da logística para a competitividade do setor foram os principais determinantes para esta pesquisa.

A eficiência logística, principalmente no que diz respeito à etapa de transporte, é um dos principais desafios enfrentados pelos produtores do setor. Segundo Caixeta-Filho et al. (1998), os custos de transporte são altos no Brasil em função de dois fatores: a concentração do transporte de produtos no modal rodoviário e a escassez de investimentos.

Para Wanke e Andries (2010), os custos com transportes no agronegócio podem representar até 64% dos gastos com logística. De acordo com Aguiar (2010), após a realização de um estudo de caso, concluiu-se que em agosto de 2009, para uma rota de açúcar com origem em Ribeirão Preto e destino ao Porto de Santos, 14% do preço do frete cobrado eram destinados ao pagamento de pedágios.

Um estudo de Carvalho (2005) revelou que o peso dos fretes rodoviários cobrados para o transporte de açúcar no estado de São Paulo chegava a representar entre 7 a 11% do total do valor do produto; neste contexto, uma cadeia logística bem estruturada, com boas condições de infraestrutura, é fundamental, uma vez que o transporte tem uma participação significativa nos custos de exportação do produto.

Além dos problemas relacionados à falta de infraestrutura e investimento, outros problemas relacionados à qualidade do produto podem encarecer as operações da logística do açúcar. Os aspectos ligados à cor e à umidade são os mais recorrentes, de acordo com informações fornecidas por agentes do setor.

No caso da umidade excessiva, este fator causará impacto na descarga dos veículos em terminais multimodais e portuários, uma vez que o açúcar com umidade acima do padrão de qualidade estabelecido forma torrões que impedem a passagem do produto nos equipamentos de recepção de carga. Já a cor acima do padrão internacional instituído não é aceita pelos importadores. Além destes, a granulometria, polarização, teor de resíduos insolúveis, entre outros, são fatores que podem levar ao aumento nos custos com a logística do produto.

1.1 Objetivos

Dada a importância dos problemas relacionados à qualidade na logística do açúcar granel para exportação, o objetivo deste trabalho é aplicar um modelo econométrico para avaliar o impacto das perdas por qualidade do produto,

implicando assim uma utilização mais eficiente dos modais de transporte utilizados pelo setor sucroenergético.

Especificamente, pretende-se:

- identificar os principais problemas de qualidade no açúcar junto aos agentes do setor e a bibliografia correlata;
- desenvolver um modelo econométrico para mensurar a probabilidade da recusa do produto e associado a isso, estimando também os custos adicionais provenientes da perda por qualidade do açúcar a granel para exportação;
- estimar os custos logísticos decorrentes da perda por qualidade, assim como os investimentos para evitar estes prejuízos.

1.2 Organização da pesquisa

Essa pesquisa está organizada em seis capítulos. Inicia-se com este capítulo introdutório, que descreve a problematização da pesquisa, sua importância e os objetivos. O capítulo dois apresentará um panorama do setor sucroenergético no Brasil, o mercado internacional do açúcar, além de uma discussão sobre as características da infraestrutura logística. O capítulo 3 tratará os principais aspectos de qualidade do açúcar. O capítulo quatro descreverá o Material e o Método a serem empregados. O capítulo cinco apresentará os principais resultados e discussões. Por fim, o capítulo seis discorrerá sobre as conclusões do trabalho.

2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO

Este capítulo tem como objetivo descrever brevemente o setor sucroenergético no Brasil, destacando os principais aspectos de qualidade que afetam a logística do setor.

2.1 O setor sucroenergético no Brasil

O setor sucroenergético brasileiro é referência de tecnologia e eficiência na produção de açúcar, etanol e bioenergia. Após o progresso alcançado nos elos agrícolas e industriais, o setor avançou nos processos de comercialização e na gestão do negócio.

A cadeia agroindustrial sucroenergética brasileira diferencia-se dos demais países produtores de açúcar de cana por produzir em grande escala tanto açúcar quanto álcool, com baixo custo de produção. O país também é o único no mundo com potencial para duplicar sua produção em razão das áreas ainda passíveis de serem cultivadas e em razão das tecnologias que vêm sendo desenvolvidas.

A produção brasileira de cana-de-açúcar se divide em duas grandes regiões produtoras, o Centro-Sul e a Norte-Nordeste[1]. A principal região produtora de cana-de-açúcar é a região Centro-Sul, responsável por 91% da quantidade total produzida durante a safra 2013/2014 (UNIÃO DA INDÚSTRIA CANAVIEIRA – UNICA, 2015).

Segundo dados da UNICA (2016), a área plantada com cana-de-açúcar no Brasil quase dobrou na última década, passando de 5,8 milhões de hectares em 2005 para 10,9 milhões no ano de 2015. A produção de cana-de-açúcar aumentou em quase 73%, passando de 385,1 milhões de toneladas na safra 2005/2006 para 666,8 milhões na safra 2015/2016, o que representou uma produção de 33,8 milhões de toneladas de açúcar e de 30,2 milhões de metros cúbicos de etanol.

Como é possível observar na Figura 1, há uma tendência de crescimento na produção de cana-de-açúcar no Brasil, apesar das safras 2011/2012 e 2012/2013 terem apresentado queda na produção em virtude das adversidades climáticas e da

[1] A região Centro-Sul conformaria os estados produtores das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, enquanto que a região Norte-Nordeste seria formada pelos estados do Norte e Nordeste do Brasil.

falta de investimentos na renovação dos canaviais. A safra 2013/2014 apresentou uma recuperação na produção e o mesmo ocorreu com a safra 2015/2016.

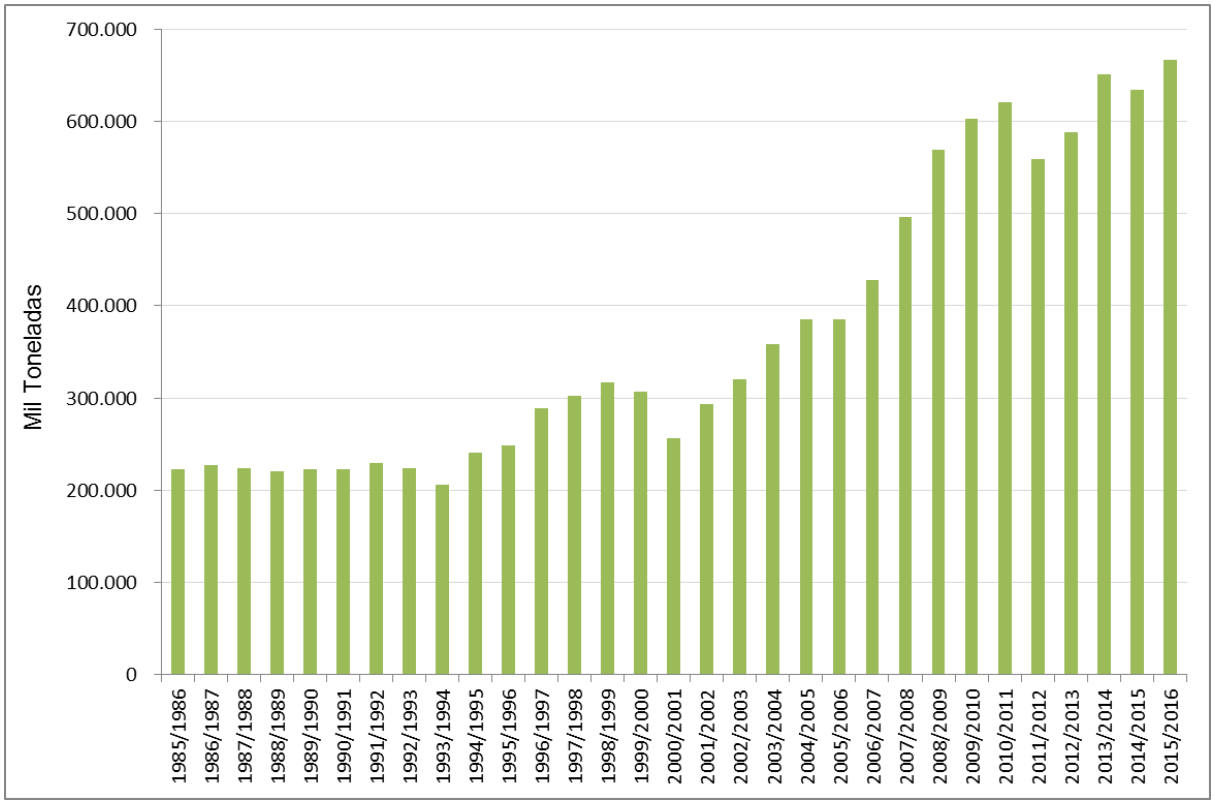

Figura 1 – Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil, safras de 1985/1986 a 2015/2016

Fonte: UNICA (2017)

A região Centro-Sul do país é atualmente a que está com maior expansão de sua fronteira agrícola; porém, o investimento em tecnologia e na mecanização da lavoura, com o intuito de diminuir o custo da produção, também vem aumentando significativamente segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2016) e UNICA (2016).

É possível visualizar na Figura 2 a evolução na área plantada com cana-de-açúcar nos estados que compõem a região Centro-Sul, destacando-se o estado de São Paulo que passou de uma área de 1,8 milhões de hectares no ano de 1990 para 5,7 milhões de hectares em (2015) Os estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul também expandiram significativamente as suas áreas plantadas com cana-de-açúcar entre 1990 e 2015 (UNICA, 2017).

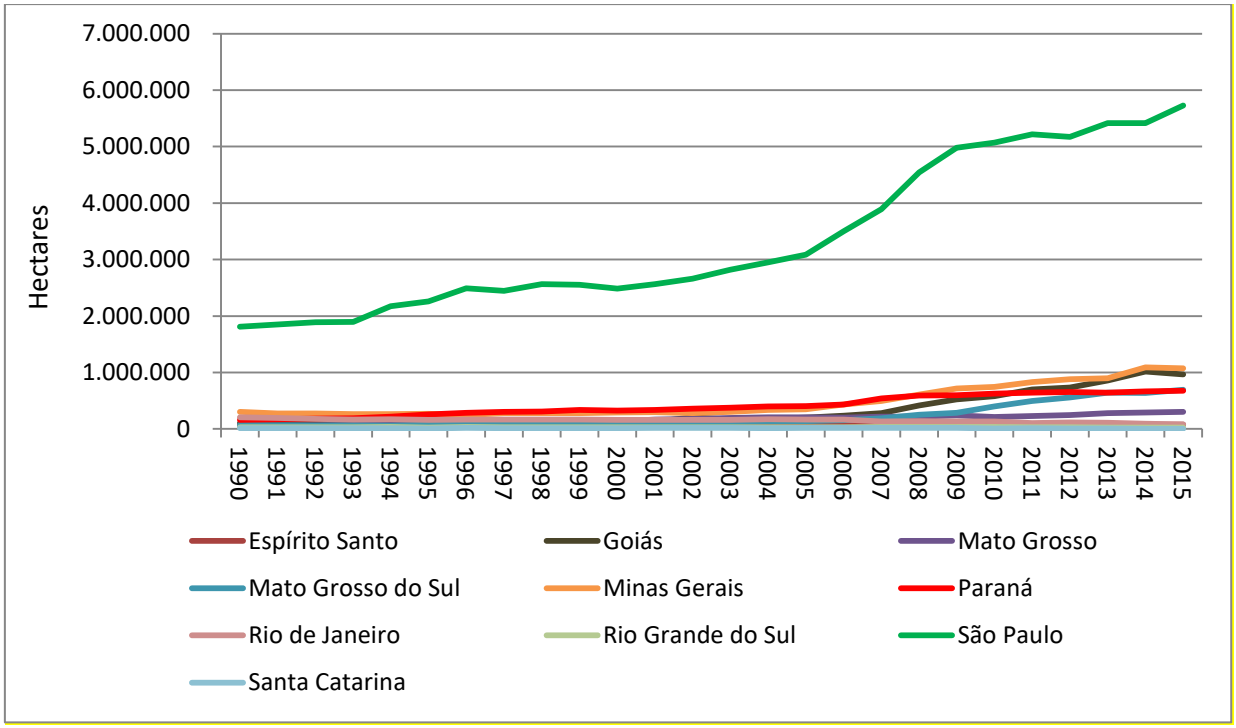

Figura 2 – Área plantada com cana-de-açúcar nos estados que compõem a região Centro-Sul, em hectares

Fonte: UNICA (2017)

Fazendo um paralelo entre o aumento da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil e os dados sobre a expansão da fronteira agrícola, nota-se como o aumento das áreas de plantio foi substancial; porém, o avanço tecnológico trazido por pesquisas que resultaram em novas variedades de cana-de-açúcar cultivadas no país a partir da década de 70 por instalações como as do Instituto do Açúcar e do Álcool – IAA, através de seu programa de melhoramento genético; do PLANALSUCAR[2], que fez diversos avanços e alcançou diversas variedades que foram batizadas com a sigla RB (República do Brasil). Já na década de noventa, as universidades federais tomaram a frente nas pesquisas de melhoramento genético da sigla RB mediante a RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético, que deu origem a outras tantas variedades baseadas no material genético da sigla RB como IAC, SP, CTC e CV. Segundo dados da EMBRAPA (2014), o Brasil possui 112 variedades de cana-de-açúcar e outras cujas

[2] Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar – PLANALSUCAR foi criado pelo IAA em 1971 tendo como finalidade a melhoria dos rendimentos da cultura tanto no campo quanto na indústria.

pesquisas ainda estão em andamento, com variação de suas características de maturação, exigência de solo e rendimento e aprimorando os métodos de colheita ou plantio e de inovações em técnicas industriais que tornaram possível ampliar o rendimento da produção sem necessariamente uma expansão da plantação, resultando no salto produtivo alcançado nas últimas décadas. Na Tabela 1 é possível observar a evolução da produção de açúcar e etanol no período compreendido entre as safras 2000/2001 até 2015/2016.

Tabela 1 – Produção de açúcar e etanol no período compreendido entre as safras 2000/2001 até 2015/2016

Safra	**Açúcar (t)**	**Etanol (m^3)**
2000/2001	16.198	10.592
2001/2002	19.218	11.536
2002/2003	22.567	12.623
2003/2004	24.919	14.736
2004/2005	26.685	15.389
2005/2006	25.823	15.821
2006/2007	29.988	17.844
2007/2008	31.026	22.527
2008/2009	31.049	27.526
2009/2010	32.956	25.691
2010/2011	38.006	27.376
2011/2012	35.925	22.682
2012/2013	38.246	23.226
2013/2014	37.594	27.476
2014/2015	35.571	28.480
2015/2016	33.837	30.232

Fonte: UNICA (2017)

A produção de açúcar no Brasil tem aumentado significativamente, principalmente na região Centro-Sul. Nota-se na Tabela 1 que a produção na safra 2000/2001, que foi de 16 milhões de toneladas, passou para 33,8 milhões de toneladas na safra 2015/2016. Este grande crescimento ocorreu ao longo dos últimos 15 anos, colocando o Brasil na posição de liderança na produção e

exportação de açúcar. A produção de etanol também teve um aumento expressivo nesse período, com um incremento de 20 milhões de metros cúbicos da safra 2000/2001 para a safra 2015/2016 (UNICA, 2017).

De acordo com dados da UNICA (2017), aproximadamente 65% da produção de açúcar no Brasil são destinados ao mercado externo, sendo que destes, cerca de 70% são do tipo *Very High Polarization* – VHP e *Very Very High Polarization* – VVHP, considerados açúcares brutos que serão reprocessados no país de destino (os 30% restantes se dividem principalmente em açúcar cristal e refinado, ficando o açúcar orgânico, com uma pequena parcela das exportações).

2.2 O mercado internacional de açúcar

O mercado mundial de açúcar pode ser dividido entre o açúcar produzido a partir da cana-de-açúcar e o produzido a partir da beterraba sacarina. Alguns dos maiores produtores de açúcar derivado da cana são o Brasil, Índia e Tailândia, enquanto os maiores produtores do açúcar de beterraba são a França, Rússia e Alemanha (FAO, 2016). Na Figura 3 é possível visualizar o mapa dos países produtores de açúcar de cana-de-açúcar e de beterraba.

Figura 3 – Mapa dos países produtores de açúcar de cana-de-açúcar e de beterraba

Fonte: Sucrose (2016)

De acordo com Marjotta-Maistro (1998), até o início da década de noventa, o Brasil figurava apenas em quinto lugar entre os maiores exportadores de açúcar do mundo. Segundo Burnquist e Bacchi (2002), a suspensão no sistema de cotas de exportação de açúcar no Brasil em 1994 contribuiu para o aumento da participação do setor no mercado internacional.

Miranda-Stalder (1997) argumenta que a evolução do comércio brasileiro de açúcar no exterior, após 1990, permite supor que as medidas políticas de desregulamentação e a indefinição de novas diretrizes para o programa do álcool possibilitaram uma maior flexibilidade na produção e comercialização do açúcar e do álcool, contribuindo com a maior participação no mercado externo.

De acordo com Silva (2005), o mercado internacional de açúcar conta com a participação de 120 países produtores, sendo possível observar na Figura 4 que o Brasil é maior exportador mundial, com 68% de participação no ano de 2016, seguido da Índia com 7% e da França com 5% das exportações mundiais de açúcar.

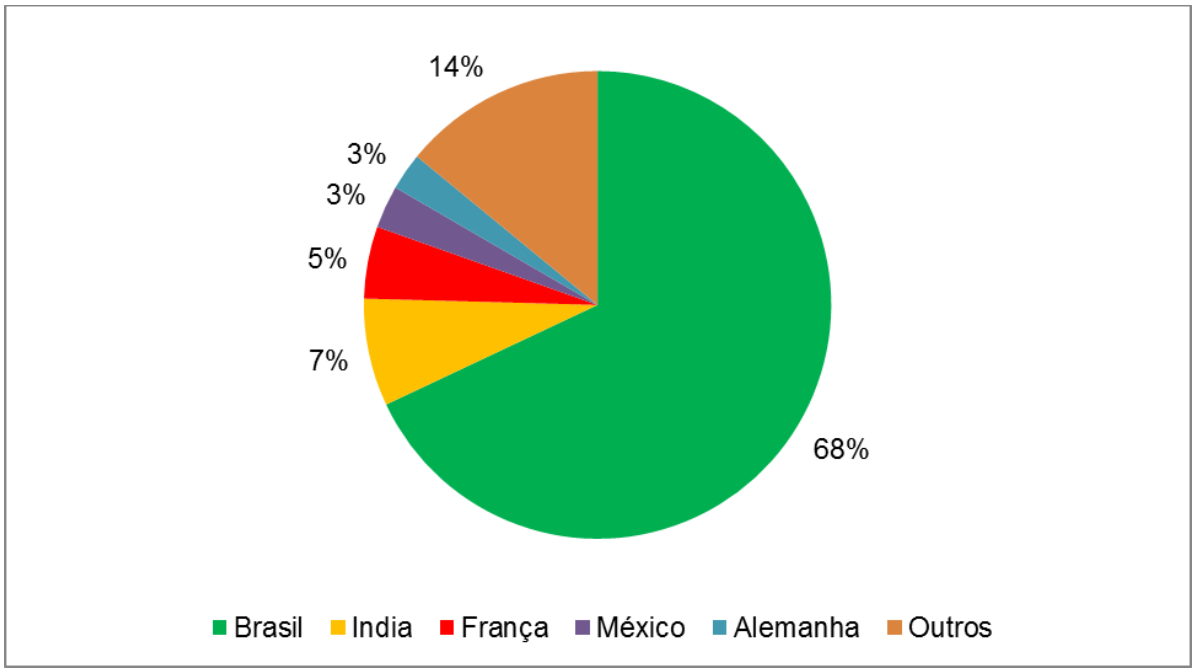

Figura 4 – Principais países exportadores de açúcar de cana e beterraba em 2016

Fonte: United Nations Commodity Trade Statistics – UN COMTRADE (2017)

Na Figura 5 observa-se a evolução das exportações brasileiras de açúcar no período de 2000 a 2016. É possível verificar o grande salto nas exportações do ano de 2000 para 2016, passando de cerca de 4 milhões de toneladas exportadas para quase 24 milhões de toneladas. Esse cenário se consolidou também em função da quebra de safra da Índia, em 2009, o que alavancou ainda mais as exportações do açúcar do Brasil.

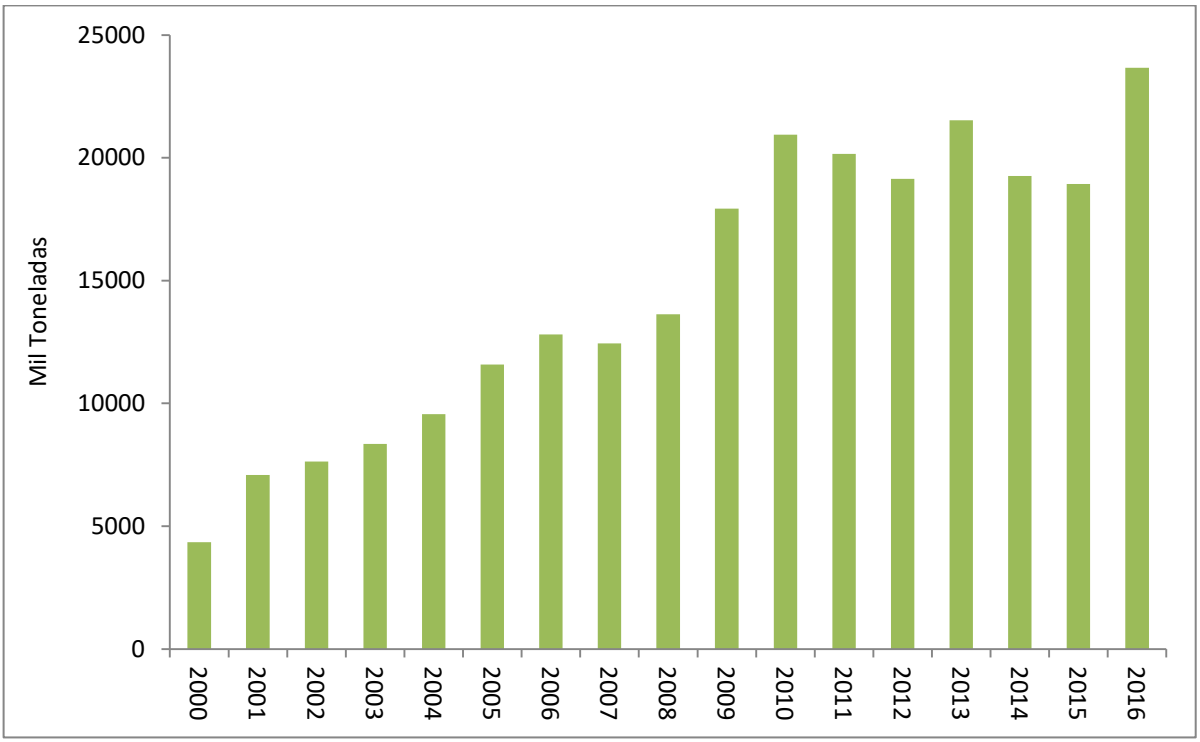

Figura 5 – Exportações brasileiras de açúcar VHP no período de 2000 a 2016

Fonte: UN COMTRADE (2017)

Os principais destinos do açúcar brasileiro em 2016 foram a Índia (com 2,44 milhões de toneladas), seguida da China (com cerca de 2,39 milhões de toneladas) e Argélia (com aproximadamente 2 milhões de toneladas de açúcar).

A Índia despontou como maior importador do produto brasileiro no ano de 2016, conforme Figura 6, porém, em virtude da quebra de safra no país causada pela seca. A China era, até então, o maior importador do açúcar brasileiro nos últimos anos, posto anteriormente ocupado pela Rússia. Além disso, o aumento do preço do açúcar no mercado mundial no ano de 2016 e o aumento na produção do setor alavancaram as exportações.

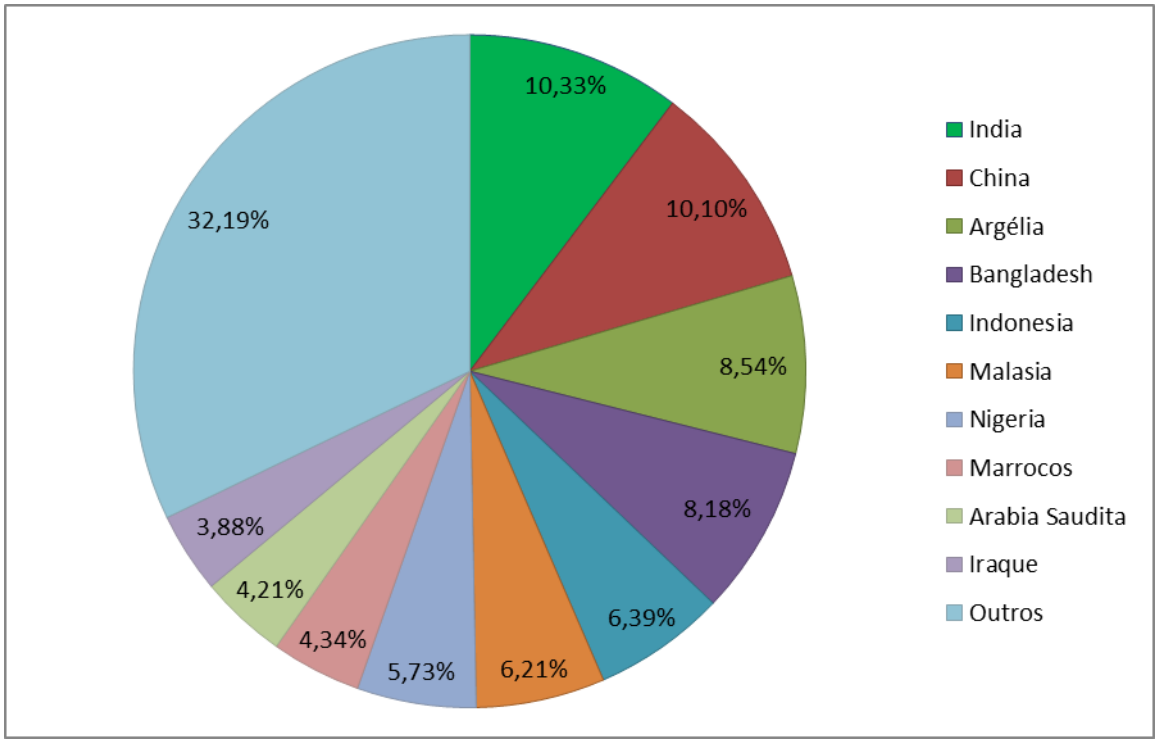

Figura 6 – Principais destinos do açúcar brasileiro no ano de 2016

Fonte: UN COMTRADE (2017)

O aumento da demanda pelo produto fez com que o cenário econômico se tornasse bastante positivo para o país, que já prevê um aumento da exportação para a China, que sinaliza se tornar o maior importador de açúcar do mundo, com um crescimento do consumo de açúcar para 15,4 milhões de toneladas em 2015/2016, diante dos 15,2 milhões consumidos em 2014/2015 (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO AÇÚCAR, 2017).

2.3 Logística do açúcar para exportação

O gasto com transportes representa uma importante parcela dos custos finais de um produto; portanto, uma logística eficiente significa ganhos em escala e redução de custos, tendo papel fundamental no aumento de competitividade, principalmente para as *commodities* agrícolas.

2.3.1. O setor de transporte brasileiro

A infraestrutura de um país a partir de uma matriz de transporte equilibrada afeta diretamente a sua competitividade em relação aos custos e à qualidade dos serviços assim como está vinculada ao crescimento econômico da nação.

Através dos diversos modais de transporte, ligados a outros fatores como armazenagem, qualidade, operações de movimentação etc., são realizadas as transferências entre os produtos do ponto de origem até o ponto de destino, tudo isso conhecido hoje como logística de transporte (KEEDI, 2011).

Existem cinco tipos de modais: o aeroviário, o rodoviário, o aquaviário, o ferroviário e dutoviário, sendo que cada um possui uma característica própria, um custo diferenciado de acordo com a capacidade, agilidade, abrangência, o que permite aos profissionais de logística a possibilidade de traçar suas estratégias para receber a mercadoria no momento certo a um custo adequado.

Conforme é possível observar na Figura 7, o modal rodoviário tem sido o predominante quando se considera o transporte de cargas no Brasil, seguido do modal ferroviário e do hidroviário.

O transporte rodoviário no Brasil, apesar de ser o mais utilizado, não é sinônimo de melhor qualidade. Segundo o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (BRASIL, 2014), este modal de transporte é utilizado para o transporte de mercadorias e pessoas por veículos automotores (ônibus, caminhões, veículos de passeio etc.), possuindo na maioria dos casos um preço de frete superior aos praticados pelos modais hidroviário e ferroviário. É supostamente mais adequado para mercadorias de alto valor agregado e/ou eventualmente perecíveis, produtos acabados e também semiacabados.

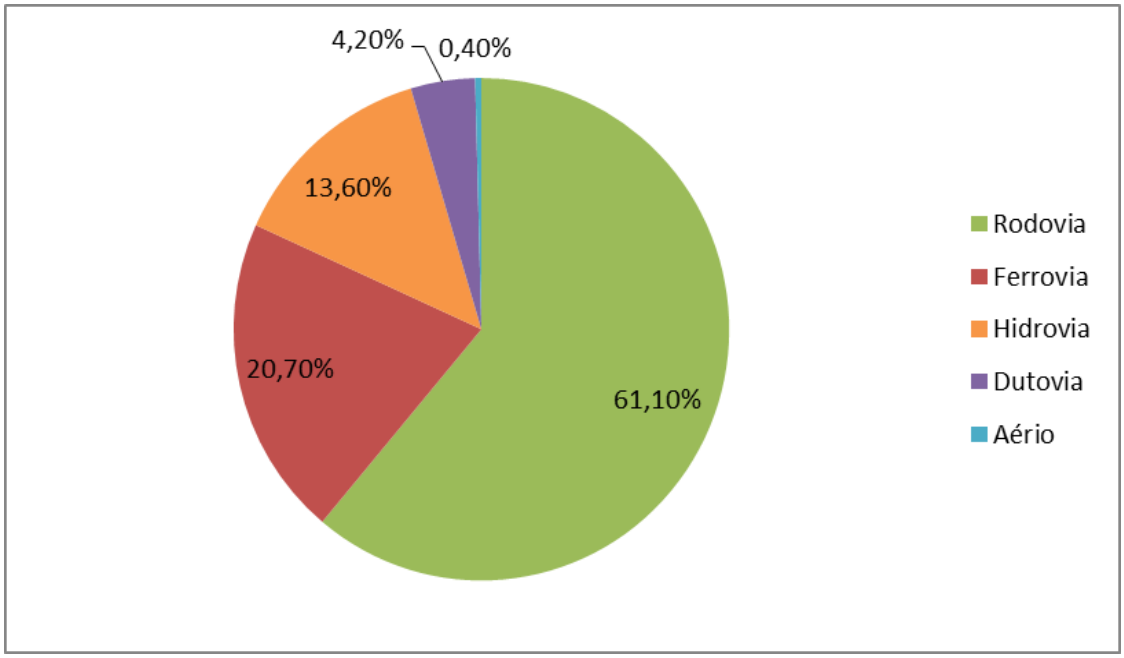

Figura 7 Participação dos modais de transporte no Brasil em 2014
Fonte: Confederação Nacional do Transporte – CNT (2015)

2.3.1.1 Transporte rodoviário

De acordo com Lima et al. (2014), uma logística eficiente é imprescindível para que os produtos agrícolas consigam manter seus preços no mercado em nível competitivo. Como os produtos agrícolas apresentam baixo valor agregado, o custo de transporte incide numa grande parte do seu preço total, diferentemente de produtos com valor agregado mais alto.

O setor sucroenergético brasileiro escoa a maior parte da sua produção de açúcar e de etanol através das rodovias. De acordo com Setten (2010), o modal rodoviário é bastante utilizado para o transporte de cargas devido a uma séria de motivos, incluindo a relação de preços entre o frete rodoviário e ferroviário. Normalmente, os preços do frete ferroviário praticados são determinados a partir do preço do frete rodoviário, o que inibe o uso da ferrovia. Além disso, geralmente os serviços rodoviários são contratados no mercado *spot* sob influência das condições de oferta e demanda do mercado; já no caso da ferrovia, são realizados contratos com vigência de um ano ou mais e para volumes pré-estabelecidos. Outros fatores citados pelo autor são: o elevado custo de investimento em vagões ferroviários e

terminais de transbordo ao longo de rodovias e ferrovias, a flexibilidade do modal rodoviário e a concorrência do transporte de açúcar com outras *commodities*.

Quando se trata de transporte de açúcar, é necessário entender como é realizado o transporte da carga, quais os tipos de embalagens utilizadas, o destino do produto e os agentes envolvidos na comercialização. Em relação ao tipo de embalagem utilizada, o Quadro 1 mostra os tipos de açúcar, padrões de embalagem e destino da carga.

Quadro 1 – Tipos de açúcar, padrões de embalagem e destino

Tipo de Açúcar	Embalagem	Destino
Demerara	A granel	Mercado externo
VHP	A granel	Mercado externo
Cristal	Saco de 50 Kg	Mercado externo e interno
Refinado Granulado	Saco de 50 Kg	Mercado externo e interno
Refinado Amorfo	Saco de 25 Kg e 30 Kg	Mercado interno
Refinado Light	Saco de 30 Kg	Mercado interno
Confeiteiro	Saco de 25 Kg	Mercado interno
Orgânico	Saco de 25 Kg e Big Bag	Mercado externo e interno

Fonte: Elaborado a partir de Raízen (2015)

Os equipamentos utilizados para o transporte rodoviário de açúcar para o mercado externo são principalmente os caminhões graneleiros e basculantes. De acordo com Costa (2014), estes veículos possuem as seguintes características:

- Graneleiros: são caminhões que não possuem caçamba móvel, sendo necessário o uso de tombadores para efetuar sua descarga nos pontos de destino. Possuem capacidade, em geral, de 28 toneladas. Porém, há atualmente graneleiros com capacidades de 40 e 60 toneladas, denominados bitrens e rodotrens, respectivamente. A Figura 8 ilustra um caminhão graneleiro com capacidade para 40 toneladas.
- Basculantes: são caminhões que possuem um sistema hidráulico, permitindo a movimentação da caçamba para descarga do produto nos portos de destino. Em relação às capacidades, há caminhões basculantes com capacidade de 36,5 e 48 toneladas. Na Figura 9 é possível observar

um caminhão bi-caçamba basculante com capacidade de 36,5 toneladas de carga.

Figura 8 – Caminhão Bitrem Graneleiro

Fonte: Guia do TRC (2017)

Figura 9 – Caminhão Bi-Caçamba basculante

Fonte: Guia do TRC (2017)

Segundo a classificação do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística e Agroindustrial – ESALQ-LOG (2013, apud Costa, 2014), os agentes responsáveis pela oferta de serviço de transporte rodoviário são:

- Autônomos: pessoas físicas donas do seu próprio caminhão que prestam serviço de transporte para as usinas e agentes de comercialização (mais recentemente tem sido, mais comum, a prestação desse serviço via empresas captadoras).
- Captadoras: são empresas que fazem a intermediação entre as usinas e agentes de comercialização, e que geralmente não possuem caminhões próprios, contratando autônomos para realização do serviço de transporte.
- Mistas: são empresas com frota própria, mas que na época de alta demanda, contratam autônomos via captadoras.
- Frotistas: são empresas grandes que possuem os equipamentos de transporte, representando a categoria mais utilizada no ramo de transporte de açúcar e que, operam geralmente com contratos de longo prazo.

De acordo com Costa (2014), os principais demandantes do serviço de transporte rodoviário são as usinas independentes ou os grupos de comercialização:

- Usinas independentes: são as responsáveis pela comercialização do seu produto.
- Agentes de comercialização: são caracterizados pelos grandes grupos, cooperativas e *tradings*, que têm como principal finalidade a facilitação da comercialização dos produtos, para gerar maior competitividade e maior poder de negociação.

A negociação entre os demandantes e os prestadores de serviço de transporte rodoviário se dá através de duas formas: contratos com valores fixos durante toda a safra e com volumes pré-determinados ou através de acordos realizados no momento da movimentação, com preços de frete praticados no mercado (esta modalidade é conhecida como *spot*).

As usinas geralmente são as responsáveis pelo envio do açúcar até o terminal portuário, o que caracteriza a necessidade de um relacionamento direto com o ofertante do serviço de transporte rodoviário. Quando a usina não é a responsável por levar o produto até o porto, essa tarefa é transferida pela *trading* que comprou o produto. Quanto maior for o volume de movimentação por parte do

demandante do serviço de transporte, maior é a facilidade de negociar melhores fretes se comparado àqueles que têm pequenos volumes (NUNES 2010).

2.3.1.2 Transporte ferroviário

O modal ferroviário é o segundo mais utilizado na matriz de transporte brasileira; porém, se comparado a outros países com grandes dimensões, o Brasil possui uma baixa densidade ferroviária. Uma forte característica do modal é sua capacidade de transportar grande quantidade de cargas e ter menor custo de transporte se comparado ao rodoviário (COSTA, 2014).

O tipo de açúcar normalmente transportado pela ferrovia é o VHP, a granel. Para o transporte do produto são utilizados, principalmente vagões do tipo *hopper*, porém ainda é possível verificar a utilização de vagões do tipo FHD (vagão fechado *hopper*). Esses tipos de vagões possuem as seguintes características:

- *Hopper*: são vagões fechados para granéis sólidos, com sistema de carregamento superior e descarga inferior através de tremonhas. A capacidade de carga deste tipo de equipamento varia entre 73 a 100 toneladas de carga, dependendo do tipo de vagão *hopper.*
- FHD: são vagões fechados para granéis sólidos, ensacados, caixarias, cargas unitizadas. Quando utilizados para o transporte de açúcar, o carregamento é superior e a descarga ocorre através de tremonhas e portas laterais. A capacidade média de carga deste tipo de vagão é de 65 toneladas.

As Figuras 10 e 11 ilustram um vagão do tipo hopper e do tipo FHD, respectivamente.

Figura 10 – Vagão hopper

Fonte: Rumo Logística (2017)

Figura 11 – Vagão FHD

Fonte: Rumo Logística (2017)

Segundo Nunes (2010), o fluxo de açúcar movimentado pelo modal ferroviário tem como destino a exportação através, principalmente, dos portos de Santos e de Paranaguá. Os demandantes desse serviço são usinas que possuem grandes capacidades de moagem. Já os ofertantes do serviço de transporte ferroviário são

as empresas que administram a linha ferroviária, observando-se neste caso uma grande concentração de mercado, uma vez que em alguns casos somente um agente ofertante do serviço atua em determinada rota.

Algumas usinas possuem terminal de transbordo dentro de suas próprias instalações; porém, na maioria dos casos, é utilizado o modal rodoviário para levar o produto até o ponto de transbordo que pode ser da empresa ferroviária ou mais comumente de um prestador de serviço.

2.3.1.3 Transporte hidroviário

No Brasil o modal hidroviário (no caso específico, fluvial) é pouco utilizado, com uma participação de apenas 13,6% de acordo com informações da Confederação Nacional de Transportes – CNT (2015). Segundo Nunes (2010), o baixo uso das hidrovias pode ser explicado pelo fato dos rios brasileiros serem navegáveis apenas em alguns trechos, necessitando de investimentos altos em infraestrutura e também porque os rios nacionais geralmente não desembocam no oceano. Isto significa que as cargas agrícolas de maiores volumes, destinadas à exportação, devem contar com o uso de outros modais complementares para movimentar o produto até o seu destino final, os portos.

A única hidrovia que atualmente realiza o transporte de produtos do setor sucroenergético é a hidrovia Tietê-Paraná. Segundo dados do Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2016), foram movimentados cerca de 1,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar pelo rio Tietê com destino à Usina Diamante em Jaú (SP) durante o ano de 2015. O transporte de cana-de-açúcar utiliza barcaças plataformas, que podem ser observadas na Figura 12.

Figura 12 – Barcaça plataforma para o transporte de cana-de-açúcar

Fonte: São Paulo (2016)

O transporte de açúcar através de hidrovias tem sido pouco expressivo. Além disso, apresentou uma grande queda entre os anos de 2010 e de 2011, com uma participação de 85,3 mil toneladas em 2010 e apenas 7,13 toneladas em 2011 de acordo com dados da ANTAQ (2012). Mais recentemente não se observou participação do transporte de açúcar pelo modal hidroviário.

Para o transporte de açúcar são utilizadas as barcaças graneleiras, com capacidade de 2.500 toneladas cada balsa, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13 – Barcaça graneleira para o transporte de açúcar a granel
Fonte: São Paulo (2016)

2.3.2 O armazenamento de produtos agrícolas

De acordo com Ballou (2005), a armazenagem consiste na ação de estocar e manusear os produtos, sendo a redução nos custos de transporte, a partir da devida coordenação entre oferta e demanda, uma etapa do processo de produção e assistência no processo de comercialização, justificando assim o uso de espaço de estocagem.

As funções da armazenagem, segundo Sasseroni (1995), são de conservação da produção, redução de perdas e estocagem dos excedentes agrícolas, além das funções relacionadas com o transporte e comercialização da produção. Para o autor o armazém pode racionalizar o transporte, pois sem a sua existência toda a safra teria que ser escoada no momento da produção, o que demandaria uma grande quantidade de veículos. A armazenagem pode também dar suporte à comercialização dos produtos através da formação de estoques reguladores e auxílio a políticas governamentais.

Para a agroindústria, a armazenagem é extremamente importante devido à incompatibilidade entre a oferta e a demanda em grande parte das situações: enquanto a demanda ocorre no ano todo, a produção é representada pela oferta ocorrendo apenas em alguns meses do ano. Esta característica leva à necessidade de formação de estoque para abastecer o mercado consumidor.

2.3.2.1 Características da armazenagem de açúcar

De acordo com Oliveira (2005) a armazenagem do açúcar é importante em termos de comercialização, devido à sazonalidade do produto e à sua condição de *commodity* agrícola. A infraestrutura de armazenagem também é de fundamental importância para o transporte da carga através do modal ferroviário, devido à necessidade de concentração da carga para viabilizar esse tipo de transporte.

Os armazéns utilizados para estocagem do açúcar granel e do ensacado (sacos de 50 quilos) são do tipo convencional com portas corrediças. Em relação aos tipos, podem ser divididos em: armazéns próprios, localizados na própria unidade produtora; armazéns alugados, terminais de transbordo e armazéns portuários. A Figura 14 ilustra um armazém convencional de uma unidade produtora com açúcar VHP armazenado.

Figura 14 – Armazém convencional com açúcar VHP estocado.

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

O armazenamento do açúcar ensacado nas unidades produtoras é feito através de esteiras transportadoras que transferem o produto da produção até o armazém, conforme ilustra a Figura 15. A montagem das pilhas se dá com o auxílio de esteiras transportadoras inclinadas, onde os sacos de açúcar são colocados e manualmente coletados pelos estoquistas que farão o empilhamento.

Figura 15 – Armazém convencional com açúcar ensacado estocado

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

O açúcar granel é carregado por caminhões basculantes que realizam a transferência do produto da produção ao armazém, onde é descarregado por gravidade. O empilhamento do produto é realizado por um trator com pá carregadeira. Neste caso, é bastante comum que o açúcar produzido no início da safra seja o último a sair, em virtude da própria estrutura de armazenagem utilizada. A maioria dos armazéns das usinas possui apenas uma porta para entrada e saída do produto. Porém, mesmo que o armazém tenha duas portas, para melhor aproveitamento do espaço de armazenagem, costuma-se estocar o produto bastante próximo da porta do fundo do armazém, não havendo espaço suficiente para manobras de equipamentos e veículos.

2.4 Considerações finais

Hoje o Brasil se configura como principal produtor e exportador de açúcar do mundo, com 68% do mercado mundial, sendo responsável pela exportação de 26 milhões de toneladas do produto no ano de 2016.

A logística tem importante papel na competitividade do setor sucroenergético. Na logística de exportação de açúcar há grande participação do modal rodoviário,

tanto na entrega direta do produto no porto, quanto na entrega do açúcar nos terminais multimodais.

O açúcar VHP é uma carga típica para o transporte ferroviário que tem aumentando sua participação nos últimos anos, devido a investimentos em terminais de transbordo, material rodante, manutenção e construção de estradas de ferro.

Já o transporte realizado via hidrovia, apesar de possuir menores custos de frete, não tem apresentado participação significativa no transporte de açúcar para exportação. Segundo Setten (2010), para que ocorra maior utilização deste modal seria necessário um maior número de prestadores desse serviço e mais conexões intermodais.

Além do transporte, a armazenagem tem papel fundamental para comercialização do açúcar, devido à incompatibilidade entre a oferta e a demanda. O açúcar é produzido durante um determinado período do ano, conhecido como safra, mas comercializado o ano todo, sendo necessária a utilização de espaço para armazenagem.

Para a armazenagem do açúcar a granel, na maioria das usinas brasileiras, o produto é levado até o armazém convencional através de caminhões basculantes e empilhado com auxílio de uma pá carregadeira. Esta forma de armazenagem impede que o açúcar estocado no início da safra seja o primeiro a ser retirado, dificultando a manutenção da qualidade do produto que deve seguir padrões internacionais que estão diretamente ligados ao resultado do produto final da indústria alimentícia no país de destino.

3 PROCESSO DE PRODUÇÃO E PARÂMETROS DE QUALIDADE DO AÇÚCAR

Este capítulo irá tratar brevemente do processo de fabricação do açúcar, dos tipos de açúcares cristais existentes e dos parâmetros de qualidade exigidos pelos principais agentes do setor.

3.1 Processo de fabricação do açúcar

O processo de fabricação do açúcar, segundo Machado (2012), é de forma simples um processo de concentração, uma vez que o açúcar é um produto produzido pela natureza e posteriormente é coletado pelas usinas e disponibilizado a partir várias modalidades, tais como mascavo, cristal, líquido, VHP ou VVHP – cada uma com suas características e finalidades. Nas usinas, uma porcentagem do processamento da matéria prima normalmente é destinada para a produção de açúcar e outra para produzir álcool (o que pode ser chamado de “mistura” – a mistura depende principalmente do mercado e das necessidades dos produtores).

As etapas do processo produtivo podem ser divididas em duas principais: a preparação do caldo e o cozimento/cristalização.

A cana, após passar por uma lavagem ou limpeza a seco, é conduzida por esteira até os picadores (processo chamado de preparo da cana); passa-se então à extração do caldo, feita através do esmagamento da cana por rolos das moendas, sendo o bagaço produzido levado para alimentar as caldeiras. O caldo resultante da extração, especialmente o chamado caldo rico (fruto da primeira prensagem e que é peneirado para remoção das impurezas grossas) passa por um tratamento químico com anidro sulfuroso (SO_2) ou ozônio (O_3) e depois passa a ser aquecido com vapor de água até temperaturas que atingem 105°C facilitando a decantação que tem como proposito remover o restante das impurezas que formam o lodo de sedimentação (MACHADO, 2012)

Após esse processo, o caldo é clarificado e enviado para o setor de evaporação, onde a proporção de água no caldo deve cair de 85% para 40%. Este processo também fornece a água condensada para alimentação das caldeiras, que logo passa para a cristalização, que funciona como uma segunda parte da evaporação, onde o xarope é concentrado sob vácuo até atingir certo grau de supersaturação. Na sequência, passa-se por repetidas centrifugações, com o

objetivo de separar a sacarose das impurezas nas soluções sacarinas ou não-açúcares. A última etapa é a secagem, onde o teor de água no composto deve ser diminuído tanto quanto possível, uma vez que esta pode aumentar as chances do produto se deteriorar; no entanto, a secagem deve ser feita com o auxílio de um aquecedor de ar que não deve passar dos 100°C. Caso contrário, pode acarretar no amarelecimento do produto e na necessidade de se utilizar um ventilador adicional para fazer a circulação do ar quente e garantir que a massa seque por igual. Terminada a secagem, normalmente o açúcar é colocado em sacas de 50 kg, em big bags de 1500 kg, ou armazenado a granel (MACHADO, 2012).

Ainda segundo a autora, a produção do álcool passa pelas mesmas primeiras etapas da produção do açúcar, se dividindo após a decantação e a filtragem, onde o caldo clarificado não passa pela evaporação e sim para a fermentação, onde microrganismos (mais comumente a levedura *saccharomyces cerevisia*) que quebram as moléculas de açúcar são acrescidos à mistura. Ao se realizar essa quebra, produzem o chamado vinho fermentado, composto de açúcar não fermentado, leveduras e etanol. O vinho é levado então à destilação, onde é feita a separação do etanol através da evaporação, gerando o etanol hidratado que - mais tarde - pode passar pelo processo de desidratação. Tal processo pode ser realizado através de diversos métodos, onde por fim a água é removida da mistura, surgindo o álcool anidro, mais comumente usado como combustível. Seu armazenamento é feito em tanques até que possam ser transportados por caminhões até seus destinos finais.

A Figura 16 ilustra o processo de produção de açúcar e etanol.

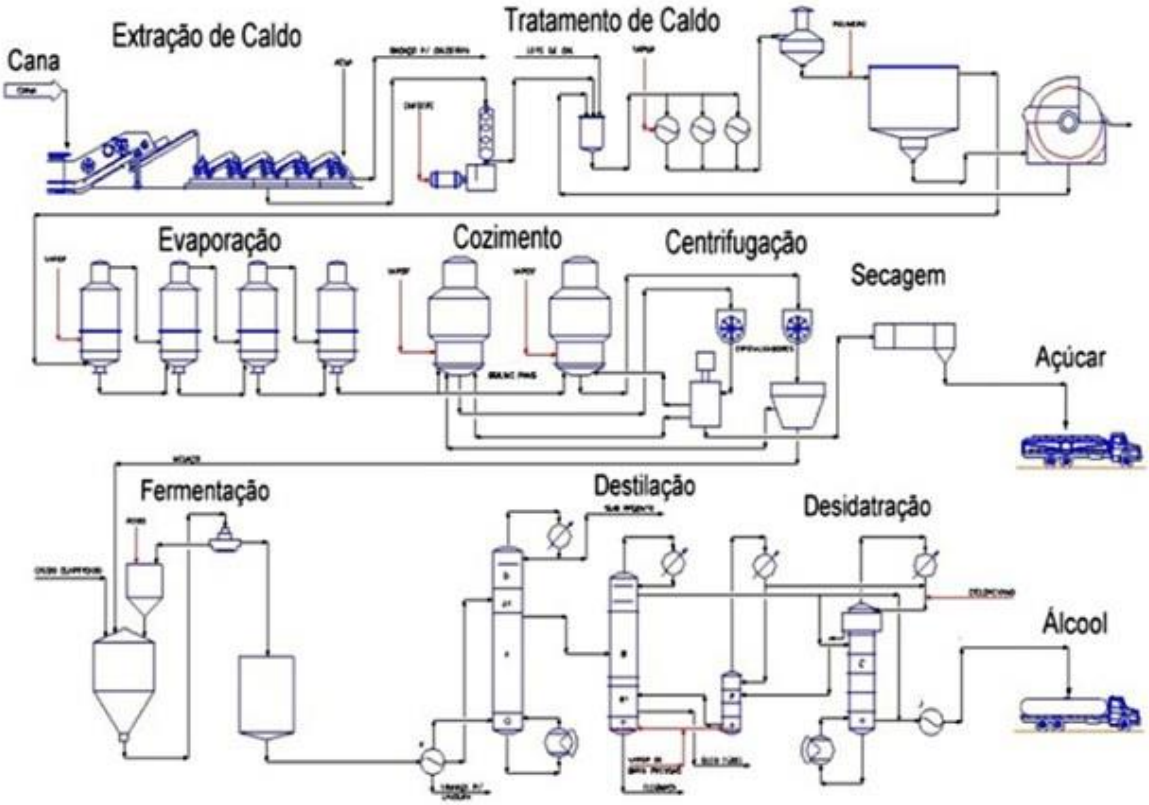

Figura 16 – Processo de fabricação de açúcar e álcool

Fonte: Embrapa (2007)

3.2 Propriedades do açúcar

O açúcar é um dos produtos do segmento sucroenergético da cana-de-açúcar, sendo considerado o mais antigo e ainda um dos mais importantes desta cadeia.

De acordo com Machado (2012), os tipos de açúcar cristal produzidos no Brasil são:

- Açúcar Demerara: possui cor escura, textura firme e não se dissolve com facilidade. Os cristais contêm melaço e mel residual da própria cana-de-açúcar.

- Açúcar VHP: o açúcar VHP é mais claro que o demerara, não sendo utilizado anidrido sulfuroso no seu processo de branqueamento.

- Açúcar Cristal: é o açúcar que não passa pela etapa de refino (final do processo termina com a cristalização). É muito utilizado na indústria alimentícia para produção de bebidas, biscoitos e confeitos, dentre outros.

- Açúcar Refinado Granulado: é de cor clara, obtido pelo refino do açúcar cristal, possui baixo teor de umidade, cristais bem definidos e granulometria homogênea. É mais usado na indústria farmacêutica, em confeitos, xaropes de alta transparência e em misturas secas.

- Açúcar Refinado Amorfo: possui cor mais clara que o refinado granulado, granulometria fina e dissolução rápida. É utilizado no consumo doméstico e também na confecção de bolos e confeitos, caldas transparentes e incolores e misturas sólidas de dissolução instantânea.

- Açúcar de Confeiteiro: cristalino, possui granulometria bem fina (mais que o refinado) e excelente brancura. É destinado à indústria alimentícia, sendo muito utilizado no preparo de bolos, glacês, coberturas, suspiros etc.

- Açúcar *Light*: é constituído pela mistura de açúcar refinado e edulcorantes (adoçantes). Tem menor conteúdo calórico que o açúcar refinado e maior poder adoçante.

- Açúcar Orgânico: produto que apresenta cristais regulares e coloração ligeiramente amarelada. Produzido sem nenhum aditivo químico, seguindo princípios da agricultura orgânica.

Na Figura 17 é possível observar amostras de diferentes tipos de açúcar.

Figura 17 – Amostras de tipos de açúcar

Fonte: Magalhães (2012)

Para estabelecer a qualidade dos diferentes tipos de açúcar são considerados os seguintes atributos de qualidade: polarização, cor, umidade, resíduos insolúveis, cinzas condutimétricas, granulometria, amido, dextrana, dióxido de enxofre, floco ácido e floco alcóolico e resíduos agrotóxicos.

3.2.1 Polarização ou pol (ºZ)

A polarização (pol) está relacionada à capacidade de adoçar, definindo a porcentagem de sacarose no açúcar. Açúcar com pol inferior a 99,5% é utilizado basicamente como matéria-prima para posterior refino; já os açúcares com porcentagem superior a 99,7% são destinados ao consumo direto (BARBOSA, 2016).

Segundo Payne (1989), as especificações de açúcar existentes estabelecem padrões para qualidade dos cristais e para o produto como um todo. Como os cristais individualmente são relativamente livres de impurezas e compreendem a maior parte do açúcar, a qualidade do açúcar como um todo é governada praticamente pela qualidade do mel existente. Quanto maior a polarização do açúcar, menor será a quantidade de mel presente e, assim, a análise do produto como um todo se aproxima mais à dos cristais.

Para o mesmo autor, a melhoria na qualidade do açúcar pode ser realizada de duas formas: a primeira através da diminuição da quantidade de impurezas dentro dos cristais e a segunda através da redução de mel na parte externa dos cristais.

De acordo com Oliveira, Esquiaveto e Silva Junior (2007), a polarização do açúcar é expressa em graus Zucker (ºZ) e define a porcentagem aparente de sacarose no açúcar. Segundo Jansen (2009), a pol baixa indica menor teor de sacarose, ou seja, presença de açúcares redutores (glicose e frutose), dextrana, amido e cinzas.

A polarização está relacionada à época de colheita da cana. De acordo com Araújo (2011), a cana madura possui altos teores de sacarose; caso a temperatura e tempo de cozimento durante a produção do açúcar fiquem acima dos patamares desejados, podem acelerar o processo de reversão da sacarose em glicose e frutose, reduzindo a pol.

3.2.2 Cor: Unidades ICUMSA (U.I.)

O item cor é um dos principais aspectos de caracterização de qualidade do açúcar. A denominação de cor mede a maior ou menor capacidade de passagem da luz através de uma solução de açúcar na concentração de 50%, em um comprimento de onda definido (420 nm). Quanto maior a cor, maior o amarelecimento do cristal. Apesar da presença de outros componentes no açúcar, a melhor qualidade do açúcar geralmente está associada a uma cor inferior (OLIVEIRA, 2014).

Barbosa (2016), discute em seu trabalho, uma das principais exigências para exportação do açúcar está relacionada à sua cor, que deve estar em conformidade com a Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar – ICUMSA (*International Commision for Uniform Methods of Sugar Analysis*).

Os açúcares utilizados pela indústria alimentícia são os classificados com cor (Unidades ICUMSA – U.I.) < 45 U.I., < 100 U.I., < 150 U.I., < 200 U.I. e menor que 400 U.I.. Os açúcares com cor acima de 400 U.I. são geralmente destinados para o mercado externo para posterior refino (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

Uma coloração mais escura, ou seja, que não está em conformidade com o padrão estabelecido pela ICUMSA, não representa riscos à saúde, mas influencia diretamente no processo de comercialização (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO, 2012).

Para Payne (1989), a qualidade da cana é importante para a determinação da cor, sendo que o mínimo de cor está presente quando a cana é limpa, madura e de boa qualidade. É intensificada quanto mais verde ou deteriorada e quanto maior a quantidade introduzida de ponteiros e folhas no processo de extração.

De acordo com Araújo (2011), a coloração do açúcar depende de fatores relacionados à variedade de cana-de-açúcar e de fatores tecnológicos que, por sua vez, dependem da eficácia dos processos de fabricação.

Segundo Oliveira (2014), o amarelecimento do açúcar pode ser devido a três causas:

- presença de pigmentos de clorofila, carotenos, melanoidinas, antocianinas, compostos fenólicos originários da cana e que fazem parte do grupo chamado de precursores de cor;

- degradação de açúcares, formação de caramelo, reações entre aminoácidos e açúcares redutores;

- temperatura, que é reconhecida como agente catalisador e acelerador das reações químicas citadas anteriormente, com impacto direto no aumento de cor na armazenagem.

Além destes itens, Oliveira, Esquiaveto e Silva Junior (2007) acreditam que o Ferro (Fe^{++}) tem uma participação em reações secundárias de amarelecimento do produto, uma vez que o Ferro é um agente ativo em reações químicas com compostos fenólicos presentes no açúcar, o que pode levar a um aumento na cor do produto acabado. Além do Ferro, outros metais como Cobre (Cu^{++}), Chumbo (Pb^{+++}) e Arsênio (As^{++}) causam preocupação com relação à sua toxidez.

3.2.3 Umidade

De acordo com Lopes e Borges (2011), o açúcar na forma cristalina possui uma película de mel que envolve os cristais e através dessa película o açúcar realiza a interação com o meio ambiente, recebendo ou emitindo água.

Existe água tanto na superfície dos cristais de açúcar quanto dentro dos cristais. A água na superfície está relacionada com a quantidade da camada de mel e à umidade relativa da atmosfera ao redor do açúcar. A água dentro dos cristais é governada pela extensão das inclusões do licor-mãe (PAYNE, 1989).

Para Lopes e Borges (2011), a exposição do açúcar a uma atmosfera com umidade relativa (U.R.) maior que a sua umidade relativa de equilíbrio (URE) pode causar empedramento do produto. Além disso, os autores destacam como causas de empedramento, a temperatura de secagem muito superior à do ambiente, a secagem muito rápida, a saída de um local de maior umidade para um de menor umidade e açúcar com cristais desuniformes.

Os açúcares são tanto mais higroscópicos quanto menor for o tamanho dos cristais devido à maior superfície de contato; por isso, o açúcar refinado é mais fácil de hidratar que o açúcar cristal.

De acordo com Oetterer (2002), a umidade permitida é de 0,15%; mas, como o açúcar é higroscópico, essa pode se alterar com o aumento da atividade de água. Na indústria, embalagens de papel foram substituídas pelas de polietileno para evitar a hidratação.

Como a umidade é importante na conservação da qualidade do açúcar, em relação ao crescimento de microrganismos, é a umidade superficial o fator mais importante. Esta pode ser controlada na operação das centrífugas, com a manutenção apropriada dos ciclos de lavagem e de secagem (PAYNE, 1989).

O alto teor de umidade pode levar ao empedramento, dissolução de cristais (açúcar melado), infecção por microrganismos e desdobramento da sacarose em glicose e frutose (diminuição na pol) o que implica redução na vida útil do produto (VERRUMA-BERNARDI et al., 2009).

De acordo com INMETRO (2012), o alto teor de umidade em açúcares com baixa polarização - como o demerara e o mascavo - aliado à alta concentração de nutrientes para microrganismos, tornam o produto susceptível ao emboloramento. Já os açúcares com alta pol, dada a baixíssima atividade de água, podem ser classificados como estáveis microbiologicamente.

3.2.4 Resíduo Insolúvel ($mg.kg^{-1}$)

De acordo com Oliveira, Esquiaveto e Silva Junior (2007), o resíduo insolúvel diz respeito às partículas insolúveis, tais como as partículas minúsculas de bagaço, sílica, sais minerais, gomas, partículas magnetizáveis, açúcar carbonizado, entre outras, que podem estar presentes no açúcar, retidas em uma membrana de 8 µ e com teor expresso em mg/kg.

A presença de resíduo insolúvel no açúcar pode prejudicar a qualidade do produto. Além disso, quando o açúcar é utilizado em reprocessamentos, onde é dissolvido e posteriormente filtrado, essas partículas podem contribuir para a redução do ciclo de operação dos filtros (LOPES; BORGES, 2011).

3.2.5 Dióxido de enxofre ($mg.kg^{-1}$)

Segundo Oliveira, Esquiaveto e Silva Junior (2007), o dióxido enxofre (SO_2) é utilizado na indústria para o branqueamento do açúcar. Trata-se de um agente de

baixo custo e por essa razão é bastante utilizado em vários países consumidores de açúcar branco direto, tais como Egito, Paquistão, Índia, países da América do Sul, entre outros.

O *Codex Alimentarius* (1999), da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, estabelece um limite de 15 $mg.kg^{-1}$ em açúcar branco para consumo direto; porém, internacionalmente, fala-se de redução deste limite para 10 $mg.kg^{-1}$ pois há uma preocupação sobre a presença do Enxofre estar associado a possíveis efeitos alergênicos sentidos por uma pequena porcentagem de pessoas. Existem alternativas para branqueamento do açúcar sem a utilização do SO_2, mas todas elas deverão elevar o custo do produto acabado (OLIVEIRA, ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

O alto teor de sulfito, segundo Jansen (2009), pode provocar alteração no aroma do açúcar assim como nos produtos derivados.

3.2.6 Cinzas condutimétricas

De acordo com o INMETRO (2012), as cinzas condutimétricas podem dizer respeito a impurezas como terra, areia etc., provenientes da colheita da cana-de-açúcar. Teores de cinzas acima dos limites permitidos podem causar alterações sensoriais do produto, além de uma coloração mais escura e aspecto arenoso. Para o açúcar VHP o limite permitido para cinzas condutimétricas é de 0,15%; já para o açúcar cristal, esse limite é de apenas 0,05%.

As cinzas são resíduos inorgânicos e, segundo Jansen (2009), tratam-se de substâncias salinas como sais de cálcio, magnésio, ferro e silício. Estes sais estão presentes no caldo da cana original e também podem ser incorporados a ele pelo processo industrial, principalmente no contato com as partes metálicas da usina e pela adição de leite e cal.

O alto teor de cinzas pode provocar alteração na cor de alimentos industrializados e encarecimento no processo de refino, além de problemas com polarização.

De acordo com Lopes e Borges (2011), o teor de cinzas é analisado de maneira indireta, medido através da condutividade elétrica de uma solução de açúcar, sendo esse valor convertido em cinzas. Os autores afirmam que para a

produção de um açúcar de qualidade, é importante que a variedade da cana utilizada forneça um caldo com baixo teor de cinzas. Um alto teor de cinzas, segundo Araújo (2011), confere sabor desagradável ao açúcar e dificulta a sua cristalização.

3.2.7 Amido (mg.kg^{-1})

O amido produzido pela cana está presente nas folhas, internódios e pontas da cana. No processo de fabricação de açúcar, este amido é somente parcialmente removido, sendo seu restante depositado no interior dos cristais de açúcar, processo que tem se agravado no caso da moagem da cana crua.

As variedades de cana plantadas no Brasil têm teor de amido variando entre 150 e 600 ppm, podendo aparecer no açúcar nos mais variados níveis, dependendo do processo de tratamento do caldo (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

Segundo Jansen (2009), o alto teor de amido aumenta a viscosidade das soluções açucaradas e diminui a taxa de filtração nas indústrias. Além disso, provoca turbidez em refrigerantes e dificuldades na produção de balas e geleias.

3.2.8 Dextrana (mg.kg^{-1})

Segundo Oliveira, Esquiaveto e Silva Junior (2007), a dextrana é um polissacarídeo, constituída de mais de 50% de moléculas de glicose ligadas linearmente na posição α – (1→ 6)[3] sendo formada pela ação de microorganismos que atuam sobre a cana, seja ainda no campo ou no processamento do caldo. Em outras palavras, é um produto de deterioração da sacarose pela ação do microorganismo *Leuconostoc mesenteroides.*

Para eliminar a dextrana são utilizadas - no processo de fabricação do açúcar - enzimas do tipo dextranase que atuam rompendo a cadeia carbônica em

[3] Ligação glicosídica na posição alfa 1,6

compostos de menor peso molecular; porém, as dextranases têm um preço elevado, impactando diretamente o preço do açúcar.

Jansen (2009) explica que o alto teor de dextrana pode alterar a pol do açúcar e provocar alongamento dos cristais; além disso, assim como o amido, aumenta a viscosidade de soluções açucaradas e diminui a taxa de filtração. O autor também comenta que o alto teor de dextrana pode afetar o empacotamento e a armazenagem do produto.

3.2.9 Granulometria

O tamanho médio do cristal de açúcar, conhecido como Abertura Média (AM), varia de 0,5 a 0,8 mm e a sua uniformidade, ou seja, o Coeficiente de Variação (CV) dos cristais, deve estar entre 24% e 35%. Pode-se observar que poucos tipos de açúcares são produzidos com granulometria controlada para atender a segmentos especiais de mercado (OLIVEIRA, 2014).

Cristais de açúcar uniformes, com arestas bem formadas e não arredondadas, refletem mais a luz e causam a sensação visual de um açúcar mais branco.

Problemas com granulometria podem estar relacionados à formação de pó de açúcar, que podem oferecer risco de explosão no carregamento e problemas ambientais (PAULINO, 2009).

3.2.10 Floco ácido e floco alcoólico

A presença de flocos não é aceita na indústria alimentícia. Estes componentes formam precipitados esponjosos (parecidos com fios de algodão), principalmente em refrigerantes transparentes (OLIVEIRA; ESQUIAVETO; SILVA JUNIOR, 2007).

Acredita-se que a presença destes componentes no açúcar está diretamente relacionada com a variedade de cana processada, período do ano, condições climáticas etc. Estes flocos ácidos, originados pela presença de polissacarídeos da cana, não afetam a qualidade do produto acabado. Os flocos se desintegram com

facilidade ao agitar o frasco com a solução onde se encontram, porém reaparecem após 24 horas de repouso.

Os flocos alcóolicos de soluções açucaradas são formados principalmente devido à presença de dextrana e amido que estão presentes quando há elevada quantidade de impurezas vegetais na cana (SÃO JOSÉ AGROINDUSTRIAL, 2016).

3.2.11 Resíduos de agrotóxicos (mg.kg^{-1})

Os resíduos de agrotóxicos têm se tornado uma preocupação nos dias atuais. A produção de cana-de-açúcar, em larga escala comercial, sem o uso de produtos químicos como pesticidas, herbicidas, maturadores etc. até seria possível, porém tornaria a comercialização do açúcar impraticável no mercado.

Cerca de quarenta princípios ativos dos agrotóxicos aplicados na lavoura de cana-de-açúcar são analisados no produto acabado e os resultados têm indicado valores abaixo do limite de detecção do método atualmente em uso, atendendo plenamente aos limites em mg/kg, estabelecidos pelo *Codex Alimentarius*, da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO (1999).

3.2.12 Características físico-químicas dos açúcares

As características e propriedades dos açúcares refinado amorfo, cristal dos tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP estão descritas nas Tabelas 2, 3 e 4. Vale ressaltar que, para o açúcar VHP, apenas os parâmetros químicos como polarização, teor de cinzas, cor e umidade são considerados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA em sua Resolução da Diretoria Colegiada – RDC 12 e RDC 14 (USINA ALTO ALEGRE, 2015).

Tabela 2 – Parâmetros químicos dos açúcares refinado amorfo, cristal tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP

PARÂMETROS	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO DO AÇÚCAR					
		Refinado Amorfo	Cristal Tipo 1	Cristal Tipo 2	Cristal Tipo 3	Cristal Tipo 4	VHP
Polarização	ºZ mín.	99,5	99,7	99,7	99,6	< 99,6	99
Cinzas	% máx.	0,2	0,05	0,07	0,15	> 0,15	0,15
Cor	UI máx.	75	100	150	200	> 200	1200
Sulfito	ppm máx.	20	10	10	20	> 20	-
Umidade	% máx.	0,3	0,05	0,05	0,07	> 0,07	0,15
Dextrana	ppm máx.	-	100	100	> 100	> 100	-
Açúcares Redutores	% max.	0,4	0,05	0,05	>0,05	>0,05	-
Antimônio	ppm máx.	2	2	2	2	2	-
Arsênio	ppm máx.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Cádmio	ppm máx.	1	1	1	1	1	-
Cobre	ppm máx.	30	30	30	30	30	-
Chumbo	ppm máx.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Cromo	ppm máx.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Estanho	ppm máx.	250	250	250	250	250	-
Mercúrio	ppm máx.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Níquel	ppm máx.	5	5	5	5	5	-
Selênio	ppm máx.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Zinco	ppm máx.	50	50	50	50	50	-

*Definições da UAA, RDC da ANVISA nº 12 de 02/11/2001 e RDC da ANVISA nº 14 de 28/03/2014.
Fonte: Elaborado a partir de Usina Alto Alegre (2015)

Tabela 3 – Parâmetros físicos dos açúcares refinado amorfo, cristal tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP.

PARÂMETROS	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO DO AÇÚCAR					
		Refinado Amorfo	Cristal Tipo 1	Cristal Tipo 2	Cristal Tipo 3	Cristal Tipo 4	VHP
Pontos Pretos	Nº máx.	20	10	15	20	> 20	-
Resíduos Insolúveis	1 - 10	5	5	6	8	> 09	-
Granulometria	% máx. retido	-	0-60	0-60	> 60	> 60	-
Granulometria	% mín. retido	-	40-100	40-100	< 40	< 40	-
Partículas Magnetizáveis	mg/kg máx.	-	5	5	5	> 5	-
Cinzas insolúveis em ácido	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	-
Objetos rígidos, com diâmetros ≥ 2 mm	Nº máx.	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	-
Objetos rígidos, pontiagudos e/ou cortantes ≥ 7 mm	Nº máx.	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	-

*Definições da UAA, RDC da ANVISA nº 12 de 02/11/2001 e RDC da ANVISA nº 14 de 28/03/2014.
Fonte: Elaborado a partir de Usina Alto Alegre (2015)

Tabela 4 – Parâmetros microbiológicos dos açúcares refinado amorfo, cristal tipos 1, 2, 3 e 4 e VHP.

PARÂMETROS	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO DO AÇÚCAR					
		Refinado Amorfo	Cristal Tipo 1	Cristal Tipo 2	Cristal Tipo 3	Cristal Tipo 4	VHP
Termófilas - não produtoras H2S	Nº (+)	4	3	3	3	4	-
Termófilas - produtoras H2S	Esp./10g	5	5	5	5	5	-
Termófilas - produtoras Flat-Sour	Esp./g	50	50	50	50	50	-
Mesófilas Aeróbias Totais	UFC/g	50	50	50	50	50	-
Leveduras e Bolores	UFC/g	50	50	50	50	50	-
Coliformes a 45oC	NMP	Ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	-
Salmonella spp	UFC/25g	Ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	-
Bacillus cereus	UFC/g	Ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	-
Staphylococcus aureus	UFC/g	103	103	103	103	103	-
Ácaros mortos	Nº máx.	5	5	5	5	5	-

*Definições da UAA, RDC da ANVISA nº 12 de 02/11/2001 e RDC da ANVISA nº 14 de 28/03/2014.
Fonte: Elaborado a partir de Usina Alto Alegre (2015)

Segundo Toledo (1997), o conceito de qualidade de um produto é aquele que atende às necessidades do consumidor. Para o autor, a qualidade de um produto pode ser avaliada por meio de um conjunto de características e parâmetros, específicos a cada caso, que são intrínsecos ou estão associados ao produto.

De acordo com Gontijo (2008), há algum tempo o açúcar era produzido sem grandes preocupações com a qualidade. Mais recentemente é possível observar que o açúcar é fabricado com especificações pré-estabelecidas, uma tendência mundial de exigência por qualidade. No Quadro 2 é possível verificar as especificações de qualidade para os tipos açúcar granel exportados pelo Brasil.

Quadro 2 - Especificações técnicas do açúcar bruto

Tipos de Açúcar Granel	**Especificação**
VHP - Very High Polarization	cor máxima de 1200 U.I. polarização entre 99,0ºZ e 99,49ºZ umidade máxima 0,15% teor de cinzas máximo de 0,15%
VHP Plus - Very High Polarization +	cor máxima de 750 U.I. polarização mínima 99,3 ºZ umidade máxima 0,15% teor de cinzas máximo de 0,15%
VVHP - Very Very High Polarization	cor máxima de 550 polarização mínima 99,45 ºZ umidade máxima 0,12% teor de cinzas máximo de 0,15% resíduos insolúveis máximo de 150 mg/kg

Fonte: Elaborado a partir de Oliveira (2014)

Para Jansen (2009), existem vários critérios que podem ser utilizados para definir qualidade do açúcar bruto, sendo que a maior parte deles constitui uma preocupação crítica para o refinador, uma vez que todos têm efeito sobre a eficiência da refinaria ou sobre a qualidade do açúcar refinado. Estes critérios-chave de qualidade, segundo o autor, são a pol, cor, teor de cinzas e sólidos insolúveis.

O atendimento a essas exigências demanda de alterações estruturais ligadas ao processo de fabricação, como a troca de equipamentos industriais, controles automáticos da cadeia desde a matéria-prima até a estocagem do produto e controles rigorosos das etapas de secagem e armazenagem do açúcar.

A operação de secagem tem o objetivo de reduzir a umidade do açúcar a níveis que permitam sua armazenagem por períodos mais ou menos longos, com condições de preservação da qualidade. Para Gontijo (2008), se o secador for subdimensionado ou mal operado, o produto pode ter sua qualidade piorada e consequente degradação no período de armazenagem, tendo como principais implicações o empedramento e o aumento da intensidade da cor do açúcar.

Durante o período de armazenagem, o açúcar pode sofrer transformações físicas e químicas. Além do empedramento e aumento de cor (amarelecimento), o açúcar pode sofrer uma diminuição na sua polarização e também incorporar material estranho.

Após ser produzido, o açúcar pode sofrer grandes transformações durante o período de estocagem ou de manipulação, trazendo perda à sua qualidade. Os principais problemas de natureza física que o açúcar pode apresentar durante a armazenagem estão relacionados à higroscopicidade - que pode resultar em empedramento do produto em virtude da perda e ganho de umidade - e aos aspectos térmicos, pois caso o açúcar seja armazenado em temperatura maior que o ambiente tenderá a sofrer uma perda de calor que resultará em gradiente térmico e consequente movimentação de água em seu interior ou da superfície para o meio exterior (GONTIJO, 2008).

Além dos problemas de natureza física, o produto também pode sofrer transformações químicas, pois apesar de ser constituído principalmente de sacarose, o açúcar possui outros elementos como açúcares redutores, outros componentes orgânicos, componentes minerais e água, podendo reagir entre si e gerar, sobretudo, escurecimento do produto.

3.3 Considerações finais

Nas usinas, uma parte da matéria-prima é destinada à produção de açúcar e outra à produção de álcool, sendo esse *“mix”* de produção determinado pelas condições de mercado e características das unidades produtoras.

O processo de fabricação de açúcar pode ser dividido, principalmente, nas etapas de preparação do caldo e de cozimento/cristalização. Os tipos de açúcares cristais produzidos pelas usinas brasileiras são principalmente o demerara, o VHP, o cristal e os tipos refinados.

Os açúcares devem seguir parâmetros de qualidade como a polarização, a umidade, o teor de cinzas, os resíduos insolúveis e a cor – aspectos considerados importantes pelo mercado internacional do açúcar VHP – e que se não atendidos podem resultar na recusa do produto pelo cliente.

Além da recusa pelo não atendimento em relação à qualidade exigida pelo importador, alguns itens de especificação como umidade e granulometria impactam diretamente a logística nos terminais de transbordo e terminais portuários.

A recusa por excesso de umidade, por exemplo, é notada no momento da descarga do veículo no terminal em virtude do empedramento. Quando o açúcar está empedrado há dificuldade da passagem do produto nos equipamentos (moegas) e, consequentemente aumento no tempo de descarga para a realização da quebra dos “torrões” de açúcar manualmente.

Em relação à granulometria, o excesso de pó formado no momento da descarga de um caminhão pode ocasionar danos ao meio ambiente, além de aumentar o risco de explosão/incêndio no terminal.

Os demais aspectos considerados como cor, resíduos insolúveis e cinzas condutimétricas não causam problemas diretamente no momento da descarga do veículo, porém se o açúcar estiver com esses itens fora de especificação essa carga é recusada e tem que retornar a usina de origem, implicando em gastos adicionais à unidade produtora.

4 MATERIAL E MÉTODO

O presente capítulo aborda o método econométrico utilizado para investigar os fatores que influenciam na perda de qualidade do açúcar a granel e consequentemente na recusa de caminhões nos terminais de transbordo e terminais portuários. Além disso, será feita uma descrição da base de dados e das variáveis utilizadas neste trabalho.

Será realizada uma análise descritiva dos principais motivos ligados à perda de qualidade do produto e das recusas dos veículos durante os anos de 2014 e de 2015 e no início de 2016. Na regressão *logit* a ser estimada, a variável dependente assume o valor um quando o caminhão é recusado e zero quando é aceito. Entre as variáveis explicativas estão aquelas recomendadas pela literatura especializada, tais como tempo de armazenagem, temperatura e umidade relativa do ar, além do tipo de centrífuga utilizada no processo de secagem do produto, as macrorregiões produtoras, o terminal de destino, os meses de carregamento e o ano safra.

4.1 Modelo Econométrico proposto

O objetivo da utilização de uma técnica econométrica neste estudo está relacionado à identificação de fatores estatisticamente significativos que explicam quais são os determinantes da perda de qualidade do açúcar a granel. Deseja-se assim estimar-se a probabilidade da recusa do produto e, associado a isso, seus prejuízos para a cadeia logística.

Neste caso, o uso de modelos com variáveis binárias como o modelo *probit* e o modelo *logit* são os mais adequados. Os modelos *probit* e *logit* são modelos de probabilidade não lineares capazes de estimar parâmetros das variáveis que explicam uma determinada probabilidade (ALVES, 2005).

Segundo Gujarati (2006), a principal diferença entre os modelos *probit* e *logit*, diz respeito à função de distribuição de probabilidades. Não há razões fortes que justifiquem a opção por um modelo ou outro, uma vez que o método de estimação é o mesmo - o método da máxima verossimilhança - diferindo-se apenas a função de distribuição acumulada.

Dentre os modelos de probabilidade, optou-se pela utilização do modelo *logit*. Este modelo se caracteriza por ter uma variável dependente binária y_i, *sendo* a probabilidade de se observar o sucesso (Y_i = 1) dada em função de um conjunto de variáveis explicativa. Segundo Wooldridge (2010), os modelos *logit* procedem de uma classe de modelos de resposta binária que podem ser escritos da seguinte forma:

$$Prob(Y_i = 1|X_i) = \frac{e^{Y_i}}{1+eY_i} = \frac{1}{1+\exp(-y_i)} \qquad (4.1.1)$$

com $Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots + \beta_k X_{ki}$

ou alternativamente:

$$Y_i = ln\frac{P(Y_i = 1)}{P(Y_i = 0)} \; \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots + \beta_k X_{ki} \qquad (4.1.2)$$

De acordo com Wooldridge (2010), tanto nos modelos *probit quanto logit,* por se tratarem de modelos probabilísticos, seus parâmetros estimados não são interpretados diretamente. Para saber o impacto que cada variável explicativa tem na variável dependente, é necessário o cálculo dos efeitos marginais.

4.1.1 Especificação matemática do modelo

A equação geral do modelo em função das variáveis explicativas adotadas, tempo de armazenamento, temperatura media e umidade relativa do ar, tipo de centrífuga, mês de carregamento do produto, terminal de destino, macrorregião produtora e ano safra é representado por:

$$Y_i = ln\frac{P\ (Y_i = 1)}{P\ (Y_i = 0)}\ \alpha + \beta_1 TA + \beta_2 TMD_i + \beta_3 URA_i + \beta_4 CENT + \beta_k \sum_{k=5}^{16} MES_i +$$

$$+ \beta_{17} DEST + \sum_{k=18}^{22} MREG_i + \beta_{23} SAF$$

(4.1.1.1)

onde:

Y_i = carga no veículo, assumindo valor 1 se for recusado e zero se for aceito;

TA = tempo de armazenamento;

TMD_i = temperatura média diária, em graus Celsius;

URA_i = umidade relativa do ar, em percentual;

$CENT$ = tipo de centrífuga;

MES_i = mês de carregamento do produto;

$DEST$ = terminal de destino;

$MREG_i$ = macrorregião produtora;

SAF = safra

4.2 Base de dados

Foram utilizados para o desenvolvimento desse trabalho dados da quantidade de açúcar rejeitado por problemas de qualidade provenientes de 22 usinas situadas no estado de São Paulo. A quantidade de açúcar recusado foi informada por uma transportadora representativa do setor, através de entrevista semiestruturada e envio de informações através de e-mail. Porém, por questão de sigilo, o nome da transportada e das unidades produtoras não pode ser revelado neste trabalho.

A recusa do açúcar em um terminal de transbordo ou portuário se dá no momento da recepção do veículo a partir de amostras coletadas do produto, que são encaminhadas para laboratório principalmente nos casos mais evidentes de amarelecimento, empedramento ou formação de pó de açúcar. Portanto, caso o produto não atenda às especificações de cor, polarização, umidade, teor de cinzas, granulometria e resíduos insolúveis, conforme apresentado anteriormente no Quadro 2, o caminhão tem a sua carga recusada e deve retornar à usina de origem.

4.2.1 Fontes dos dados

As informações utilizadas nesta pesquisa se referem aos dados individuais de veículos que tiveram sua carga de açúcar a granel recusado em virtude de problemas de qualidade durante as safras 2014/2015 e 2015/2016, com suas respectivas datas de descarga. Estas informações foram levantadas com uma empresa de transportes que atua principalmente no setor sucroenergético. Os dados fornecidos pela empresa dizem respeito a 22 usinas situadas no estado de São Paulo, que representam aproximadamente 13% do total produzido de açúcar no estado. Além disso, foram fornecidos pela empresa os dados das quantidades de açúcar, sem problemas de qualidade, transportados durante o mesmo período. Os caminhões recusados e não recusados foram identificados no modelo por meio de uma variável *dummy*.

As variáveis selecionadas para identificar quais fatores podem ser determinantes na perda de qualidade do açúcar são os seguintes:

- Temperatura Média Diária, que foi obtida junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e no Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo. Desses registros foram retiradas informações, em graus Celsius, da temperatura média diária, de abril de 2014 a fevereiro de 2016, dos municípios onde estão localizadas cada uma das usinas.

- Umidade Relativa do Ar, também obtida junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e no Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo, onde há informações do percentual médio diário da Umidade Relativa do Ar, durante o mesmo período nas cidades onde estão localizadas as unidades produtoras. Neste caso, os dados foram defasados em um mês, sendo considerada no modelo a umidade relativa do ar média nos 30 dias anteriores.

- Tempo de armazenamento, obtido através de informações de agente representativo do setor e inserido no modelo. A semana 1 diz respeito à primeira semana do mês de abril (início da safra) e a última semana, a de número 55, corresponde à última semana do mês de março (final de safra). Neste caso, o açúcar carregado nas usinas é proveniente dos estoques e com grande probabilidade de ter sido armazenado no início da safra; portanto, estocado por um longo período de tempo.

- Tipo de Centrífuga, considerada como uma variável binária, assumindo valor 1 para centrífuga contínua e 0 para centrífuga intermitente. De acordo com agente representativo do setor que forneceu as informações a respeito do tipo de equipamento existente em cada unidade, as centrífugas contínuas são menos eficientes na retirada das cinzas.

- Onze binárias para distinguir 12 meses do ano e correspondem as informações recebidas da data do carregamento dos veículos. O mês de fevereiro foi adotado como base.

- Ano safra, sendo considerado também como variável binária (1 para safra 2014/2015 e 0 para 2015/2016).

- Terminal de Destino: a partir de informações fornecidas por agente representativo do setor, foram considerados 8 terminais de destino, entre eles 1 terminal portuário e 7 terminais multimodais de carga. Para o modelo *logit*, os terminais multimodais foram agrupados, sendo considerados como um destino (terminal de transbordo). O terminal de destino também foi considerado no modelo como uma variável binária, sendo 1 para destino da carga ao terminal portuário e 0 quando o veículo segue para um terminal de transbordo multimodal.

- Unidades produtoras do açúcar: a partir das informações fornecidas, para melhor análise dos resultados, as 22 usinas foram alocadas em 6 macrorregiões através de uma análise de agrupamentos (*cluster*).

De acordo com Bussab, Miazaki e Andrade (1990), a análise de agrupamentos ou análise de *cluster* é uma técnica multivariada que tem como objetivo agrupar dados de acordo com a similaridade ou dissimilaridade (parecença) entre eles. Formam-se grupos obtendo-se homogeneidade dentro deles e heterogeneidade entre eles. A maioria dos métodos de análise de *cluster* requer uma medida de similaridade entre os elementos a serem agrupados, medida esta chamada de coeficiente de parecença.

Dentre as medidas de similaridade ou dissimilaridade as mais utilizadas são: a distância euclidiana, distância euclidiana média, a distância de Mahalanobis e a medida da distância de Minkowski, segundo Corrar, Paulo e Dias-Filho (2007).

Para o agrupamento das unidades produtoras em macrorregiões foi utilizada a distância euclidiana para determinação da matriz de dissimilaridade, a partir das informações de latitude e longitude de cada uma das usinas.

A distância euclidiana é a medida mais conhecida para indicar a proximidade entre dois pontos, segundo Bussab, Miazaki e Andrade (1990), podendo ser escrita da seguinte forma:

$$d_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^{p} \left(X_{ik} - X_{jk} \right)^2 \right\}^{1/2} \qquad (4.2.1.1)$$

onde:

X_{ik} é o valor da variável X_k para o objeto *i*

X_{jk} é o valor da variável X_k para o objeto *j*

p variáveis X_1, X_2,...,X_p

Após a obtenção da matriz de parecença pelo método da distância euclidiana, é necessária a escolha de um algoritmo para análise de agrupamento (BUSSAB, MIAZAKI E ANDRADE, 1990).

Para o agrupamento foi utilizado uma técnica hierárquica[4] de agrupamento conhecida como média das distâncias ou a*verage linkage*, que apresenta bons resultados tanto para distâncias euclidianas quanto para as demais distâncias. Este é um processo hierárquico em que cada passo diminui uma dimensão da matriz de parecença pela reunião de pares semelhantes até reunir todos os pontos em um único grupo, formando assim grupos com número de elementos similares.

Através deste método as unidades produtoras foram agrupadas em 6 grupos (macrorregiões) que para preservação do sigilo das informações serão chamadas de A, B, C, D, E e F.

No Quadro 3 é possível observar um resumo das considerações que envolvem o motivo de escolha de cada uma das variáveis explicativas utilizadas no modelo econométrico.

[4] Dentre os métodos hierárquicas de agrupamentos podem ser considerados: Método do Centróide, Método das Médias das Distâncias, Método do Vizinho mais Próximo e Método do Vizinho mais Longe.

Variáveis Explicativas	Motivos
Temperatura Média Diária	Responsável por acelerar as reações químicas. O aumento da temperatura contribui para o processo de inversão de sacarose em glicose e frutose
Umidade Relativa do Ar	Torna o açúcar susceptível a empedrar e também serve de meio para que ocorram reações de escurecimento do produto
Tempo de Armazenamento	Durante a etapa de armazenamento o açúcar sofre aumento de sua cor, além de ganho de umidade e consequente empedramento
Tipo de Centrífuga	Tipo de centrífuga está relacionada à eficiência na retirada das cinzas condutimétricas
Meses de Carregamento do Produto	Estão relacionados às condições climáticas do período de produção e de carregamento do produto
Terminal de Destino	Pautado ao número de ocorrências de recusa de veículos no terminais
Macrorregião Produtora	Relacionada às condições edafoclimáticas e à variedade de cana-de-açúcar utilizada, que por sua vez, impacta na qualidade do açúcar produzido
Ano Safra	Relacionado ao número de ocorrências de recusa de veículos

Quadro 3 – Resumo dos motivos considerados na escolha das variáveis explicativas do modelo econométrico
Fonte: Dados da pesquisa (2017)

4.3 Considerações Finais

O modelo econométrico *logit* utilizado neste trabalho está relacionado à identificação dos determinantes da perda de qualidade do açúcar a granel. A escolha desse modelo se dá pela capacidade de se estimar parâmetros que explicam uma determinada probabilidade.

As variáveis explicativas estão relacionadas ao tempo de armazenamento, à umidade relativa do ar, à temperatura média diária, ao tipo de centrífuga da usina produtora, ao mês de carregamento do produto, ao terminal de destino, à macrorregião produtora e ao ano safra analisado.

Essas variáveis explicativas foram obtidas através das informações fornecidas pelos agentes do setor e também indicadas pela literatura especializada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentada uma análise descritiva dos dados utilizados neste estudo. Além disso, serão apresentados os resultados do modelo econométrico *logit*.

5.1 Análise descritiva dos dados

Os dados utilizados no trabalho são oriundos de uma empresa de transporte multimodal que atua no setor sucroenergético. Foram fornecidas informações dos veículos carregados durante as safras 2014/2015 e 2015/2016 (ou seja, dos anos de 2014 e 2015 e do início do ano de 2016) que tiveram problemas de qualidade no açúcar transportado e consequentemente foram recusados nos terminais transbordo ou terminais portuários. Foram também fornecidos dados sobre a quantidade de carga aceita nestes terminais.

No período analisado foram recusadas 15.551,75 toneladas de açúcar a granel. Os problemas de qualidade no açúcar se referiram principalmente à cor do produto, ao alto teor de cinzas, ao excesso de umidade, à granulometria, ao teor de resíduos insolúveis e à polarização.

Durante a safra 2014/2015 foram recusadas 4.758,08 toneladas de carga, o que representou 0,17% do total de carga transportada. Do total recusado, 29% foram devido a problemas com granulometria, em segundo lugar, com 26%, aparecem as recusas devidas à cor fora de especificação, seguidas de umidade, com 20%, cinzas com 15%, sólidos insolúveis com 10% e polarização (pol) com 1% de participação.

Os dados da safra 2015/2016 refletem mudanças significativas entre as características levadas em consideração para rejeição do açúcar a granel nos terminais de transbordo e terminais portuários. No período foram recusadas 10.793,67 toneladas de carga, o que representou 0,41% do total de carga transportada, ou seja, um aumento de 127% nas recusas em relação à safra anterior. A participação dos problemas relacionados à cor fora de especificação equivalem a 41% do total de carga recusada, seguidos do alto teor de cinzas, com 33% de participação. Já os problemas relacionados à umidade sofreram uma queda, se comparados aos da safra 2014/2015, participando com 15% na safra 2015/2016.

Mais significativa foi a redução nas cargas recusadas devido a problemas com granulometria, sendo esta participação de apenas 8%. Esta redução pode ser explicada devido às ações paliativas tomadas nas usinas que passaram a utilizar *spray* de água durante o carregamento nos caminhões para evitar a formação de poeira de açúcar. O teor de sólidos insolúveis também sofreu redução, participando com apenas 1% das cargas recusadas. Já a polarização permaneceu com uma participação de 1% em relação ao total transportado.

É possível observar na Figura 19 que, durante a safra 2014/2015, as recusas de carga ocorreram principalmente nos meses de julho, outubro, janeiro e fevereiro, com maior predominância no mês de janeiro de 2015 quando foram recusados 51 veículos, sendo 78% dessas recusas por problemas de granulometria no açúcar.

A safra 2015/2016 apresentou um aumento de mais de 120% nas recusas de veículos, conforme comentado anteriormente, sendo os meses de junho, julho, setembro e janeiro os meses com maior incidência de problemas no açúcar a granel recebido nos terminais. O destaque, de acordo com a Figura 18, foi o mês de junho de 2015 com 83 veículos recusados, 95% destes por teor de cinzas fora de especificação.

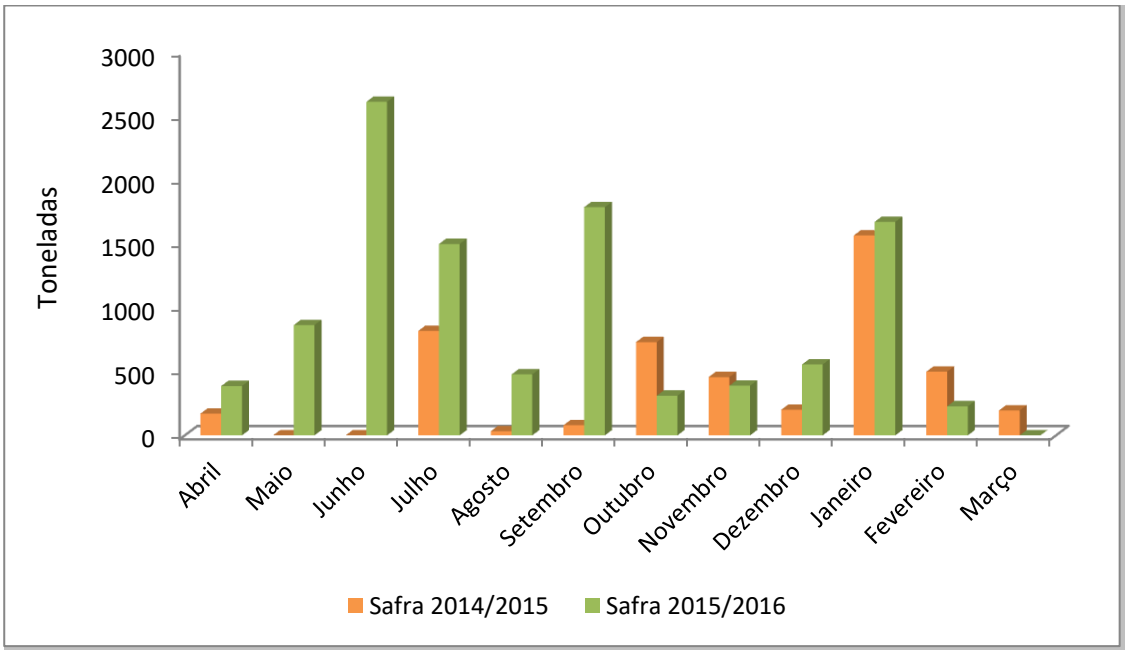

Figura 18 – Açúcar a granel recusado, por mês, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

A Figura 19 faz um comparativo da quantidade de açúcar a granel recusado, analisando por item de especificação a safra 2014/2015 em relação à safra 2015/2016. É importante destacar que os problemas por cor tiveram um aumento de 263% em relação à safra anterior, as recusas por alto teor de cinzas, um aumento de 398%, umidade um acréscimo de 77% e polarização com 81% de elevação.

De acordo com informações de agentes do setor, as empresas prestadoras de serviço de transporte, armazenagem e movimentação portuária têm ficado cada vez mais exigentes em relação à qualidade dos produtos, recusando as cargas que ultrapassaram minimamente os parâmetros de qualidade.

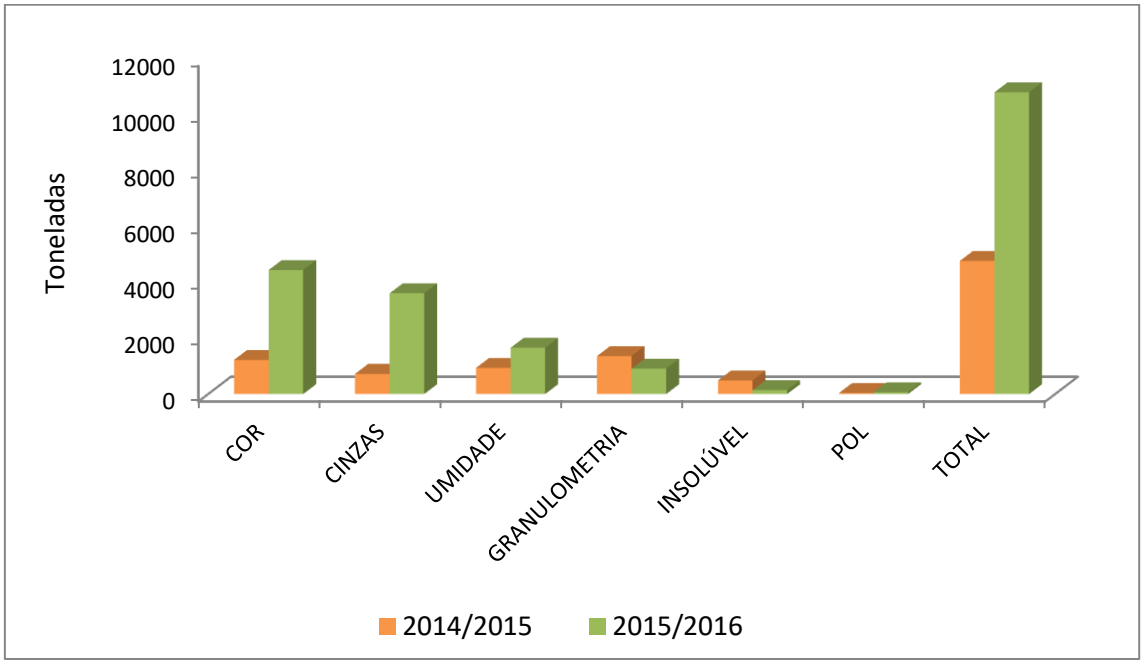

Figura 19 – Açúcar a granel recusado, por item de especificação, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas).

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

Realizando uma análise por motivo de recusa de carga nos terminais, é possível verificar, na Figura 20, que problemas relacionados à cor fora de especificação ocorreram com mais intensidade nos meses de julho, outubro e janeiro durante a safra 2014/2015 e nos meses de setembro, outubro, dezembro e janeiro na safra 2015/2016.

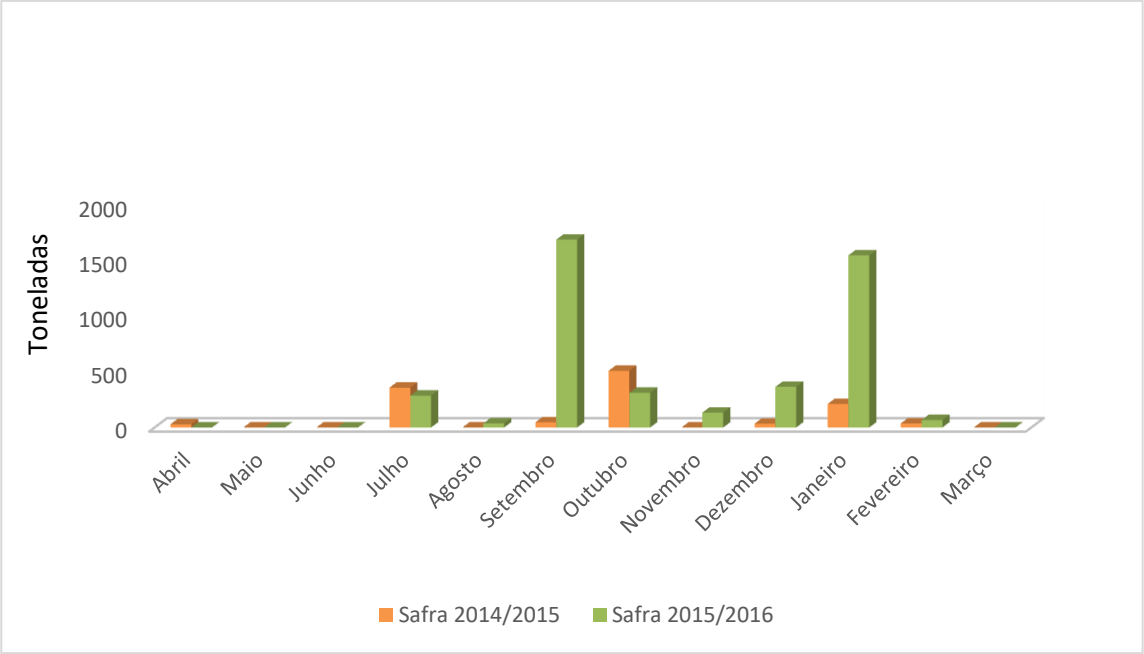

Figura 20 – Açúcar a granel recusado, por cor, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

De acordo com Kochergin e Saska (2010), o aumento de cor no açúcar VHP está relacionado principalmente ao tempo de armazenamento e temperatura. No mês de outubro de 2014 foi possível observar temperaturas médias acima de 25ºC nas unidades que tiveram carga recusada por este motivo. Durante o ano de 2015, os meses de setembro e outubro registraram temperaturas médias em torno de 23ºC na macrorregião B e médias de 28ºC nas usinas pertencentes à macrorregião A. Para os meses de dezembro e janeiro, além das altas temperaturas, o açúcar escoado pelas unidades produtoras é proveniente dos armazéns, o que contribui para o amarelecimento do produto.

Segundo Jansen (2009), a cor é um dos parâmetros de qualidade mais importantes do açúcar bruto. A remoção da cor é a função-chave de uma refinaria. Por se tratar de um procedimento de alto custo, um açúcar com cor mais elevada reduz a capacidade de refino e aumenta os custos.

De acordo com Paton (1992), cerca de 30% dos compostos responsáveis pela cor do açúcar bruto são pigmentos da própria cana-de-açúcar, como os flavonoides, clorofilas e compostos fenólicos. Os demais 70% são categorizados

pelas melanoidinas, produtos de degradação alcalina e caramelos, sendo estes mais difíceis de serem removidos.

Para Jansen (2009), um outro motivo de preocupação é a mudança nas iniciativas de cogeração de energia nas usinas, pois este processo leva o caldo de cana-de-açúcar a ficar exposto a temperaturas mais elevadas através da estação do evaporador, aumentando a propensão da formação de cor, em particular de caramelos.

A Figura 21 mostra as recusas relacionadas à granulometria, que ocasiona excesso de formação de pó no momento da descarga dos veículos, sendo que estas recusas foram bastante intensas no mês de janeiro de 2015 (açúcar produzido na safra 2014/2015) e no início da safra 2015/2016.

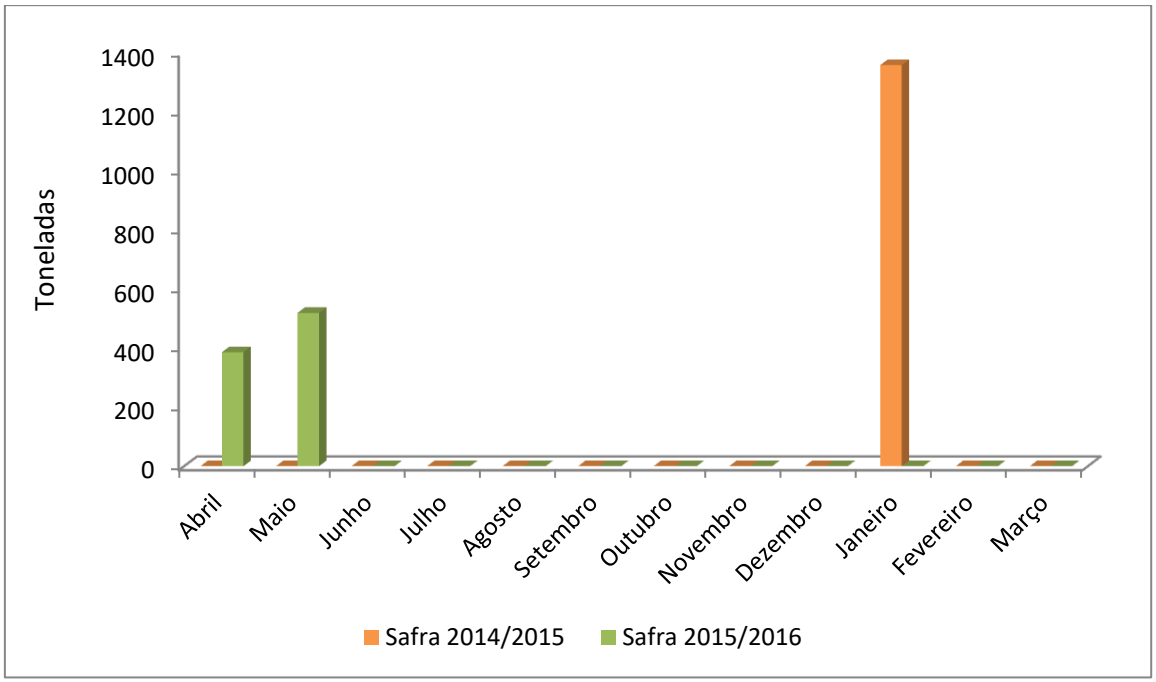

Figura 21 – Açúcar a granel recusado, por granulometria, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

De acordo com informações de agentes do setor, as causas do excesso de pó por problemas na granulometria podem estar relacionados com a mecanização da colheita, sendo que mais recentemente as usinas estão com quase 100% de colheita mecanizada; porém, ainda são necessários maiores estudos para explicar os motivos desse excesso de pó gerado. Os problemas com recusas de veículo por

granulometria tiveram baixa participação nos demais meses em virtude da instalação de um equipamento com *spray* de água durante o carregamento dos veículos nas usinas para tentar evitar a formação do pó durante a descarga.

Para Jansen (2009), uma granulometria muito fina pode causar problemas durante o manuseio do açúcar a granel, formando muito pó. Além disso, as refinarias preferem açúcar bruto com tamanho de grão uniforme, pois grandes cristais uniformes resultam em boa drenagem durante a fase de afinação[5]; por outro lado, açúcar com granulometria muito pequena requer mais lavagem para atingir o mesmo nível de cor e de redução de impurezas.

A Figura 22 trata da carga recusada por alto teor de cinzas, sendo os meses de julho de 2014 e fevereiro, junho e julho de 2015 os maiores destaques durante o período analisado.

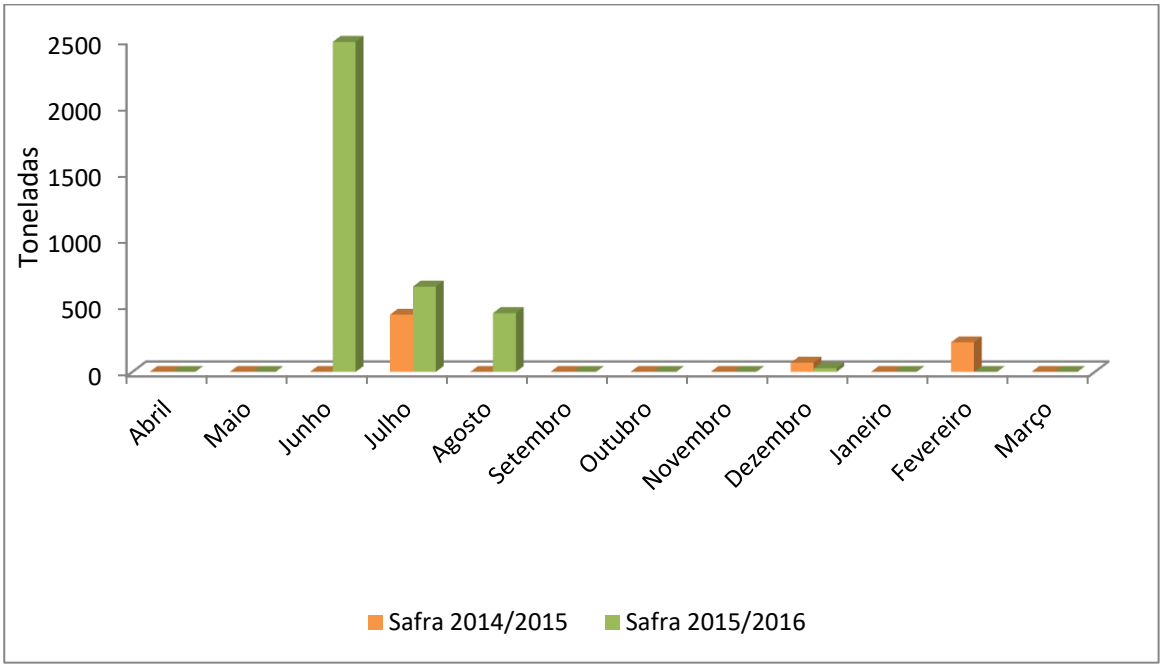

Figura 22 – Açúcar a granel recusado, por alto teor de cinzas, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

[5] Na afinação o açúcar bruto é misturado com xarope de afinação (inicialmente com água) a 76° C, produzindo-se o magma de afinação com 92 a 95° Brix. Este magma é então centrifugado, sendo que nesta etapa o açúcar é separado nas redes e lavado com água quente. O açúcar obtido na centrifugação - o açúcar refinado - é dissolvido com água quente ou águas doces obtendo-se o licor de afinação, com uma concentração entre 65 e 68° Brix. O xarope separado nas centrífugas - o xarope de afinação - é usado para formação do magma de afinação e o excesso de xarope de afinação é enviado para seção de recuperação (CHEN; CHOU, 1993).

De acordo com Zacura-Filho e Piccirilli (2012), o alto teor de cinzas pode estar relacionado à presença de chuva próxima da colheita da cana-de-açúcar. Foi possível observar através dos dados meteorológicos que houve chuva nos dias que antecederam as recusas de carga no mês de julho de 2014 e também nos meses de junho e julho de 2015 em cada uma das unidades produtoras.

O teor de cinzas, ou cinzas condutimétricas, indica a maior presença de sais orgânicos e inorgânicos no açúcar. Estes causam problemas de precipitação e aparecimento de turbidez em líquidos transparentes; além disso, geram uma sobrecarga nos equipamentos das refinarias (OLIVEIRA, 2014).

O alto teor de cinzas afeta os processos de refino de várias maneiras. Segundo Donavan (1993), componentes das cinzas como potássio e sódio, aumentam a solubilidade da sacarose, levando ao aumento da perda de açúcar no melaço. Além disso, o acúmulo de altos níveis de cloretos em xaropes de baixa qualidade pode levar à corrosão das cestas das centrífugas. Por último, o autor destaca que níveis elevados de sulfato podem levar à redução do desempenho da descoloração.

As cargas de açúcar VHP recusadas por excesso de umidade ocorreram principalmente nos meses de outubro e novembro e dezembro de 2014 e fevereiro e março de 2015 na safra 2014/2015, conforme Figura 23.

Durante este período, a média de umidade relativa do ar foi de 71%, chegando a picos de 82% no mês de fevereiro de 2015. Para safra 2015/2016, as recusas por excesso de umidade se deram com mais intensidade nos meses de maio, julho, novembro e dezembro de 2015 e fevereiro de 2016. Nesses meses também foi possível observar uma umidade relativa do ar alta, com média de 72%, chegando, entretanto, a 83% em maio e a 77% em julho de 2015.

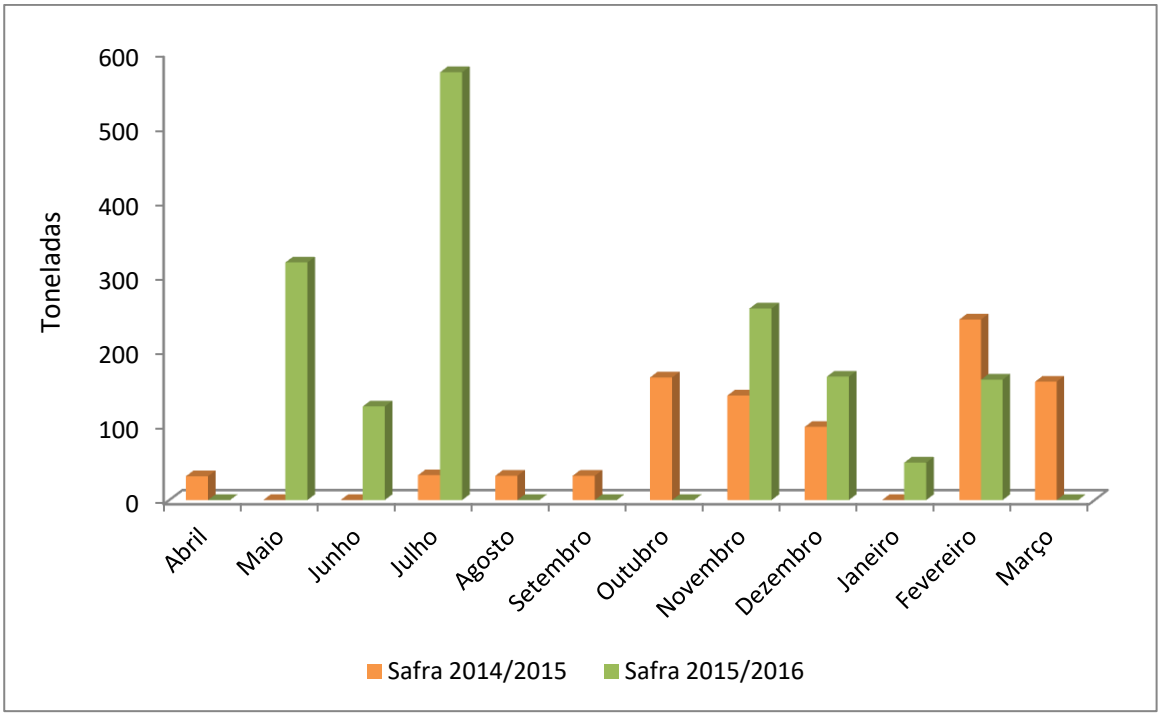

Figura 23 – Açúcar a granel recusado, por excesso de umidade, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

Outro fator que tem se tornado bastante recorrente nos casos de recusa de carga é o teor insolúveis no produto. O resíduo insolúvel é composto por bagacilho, terra, sílica, sais minerais etc. De acordo com Oliveira, Esquiaveto e Silva Junior (2007), esses itens causam má aparência em bebidas e alimentos, dificultando a sua comercialização e também provocando problemas de filtração nos processos industriais. A Figura 24 mostra o açúcar granel recusado por alto teor de insolúveis durante as safras analisadas.

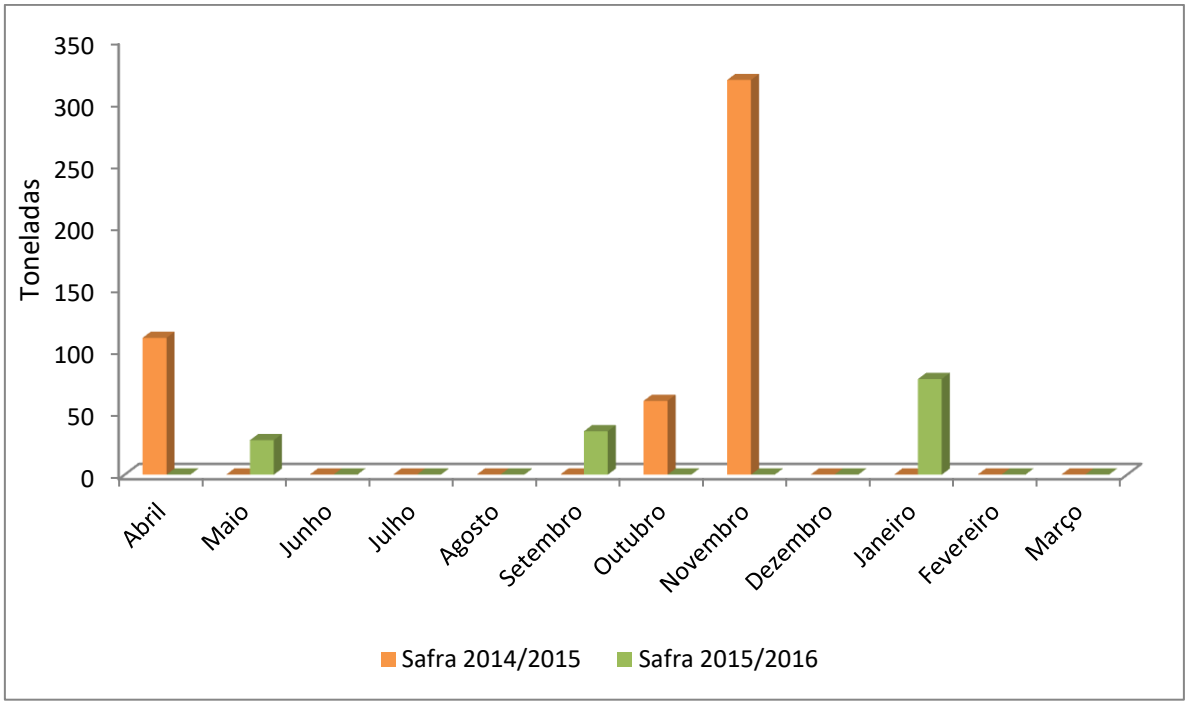

Figura 24 – Açúcar a granel recusado, por alto teor de insolúveis, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)
Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

Para Jansen (2009), um alto teor de insolúveis reduz a capacidade de filtração quando o açúcar bruto é processado através do estágio de clarificação[6] em refinarias que utilizam o processo de carbonatação[7] para a purificação do caldo. A baixa filtrabilidade pode resultar de uma combinação das seguintes impurezas: lama, bagacilho, fósforo, sílica e outras impurezas inorgânicas.

Observa-se que o teor de resíduos insolúveis tem aumentado com a mudança no tipo de colheita (de manual para mecânica) e também com as atividades de cogeração de energia nas usinas que utilizam principalmente o bagaço da cana-de-açúcar para esta atividade.

Na Figura 25 é possível visualizar uma amostra de açúcar recusado no terminal de destino por quantidade excessiva de resíduos insolúveis.

[6] A clarificação do caldo da cana-de-açúcar visa eliminar a quantidade máxima de impurezas presentes no caldo, visando a obtenção de um caldo claro, límpido e brilhante (SOUZA, 1988 apud LIMA, 2012).
[7] A carbonatação consiste em adicionar leite de cal e gás carbônico ao caldo de cana, formando um precipitado cristalino, o carbonato de cálcio. Este adsorve e incorpora grande parte da matéria coloidal e insolúvel, os não açúcares inorgânicos e as substâncias que conferem cor ao caldo (CHEN; CHOU, 1993).

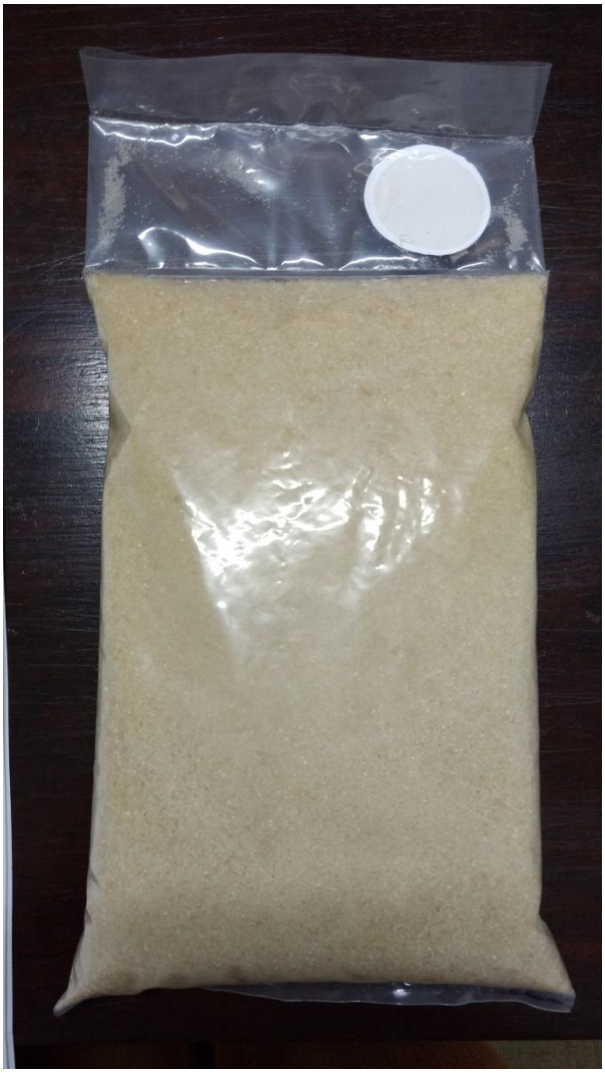

Figura 25 – Amostra de açúcar com resíduos insolúveis acima da especificação

Fonte: Laboratório Hugot de Tecnologia em Sucroderivados (2017)

Em relação à polarização ou pol do açúcar, esta também pode levar à recusa da carga nos terminais e, além disso, a descontos no valor pago pelo produto (a pol está relacionada ao percentual de sacarose no cristal de açúcar), conforme observa-se na Figura 26.

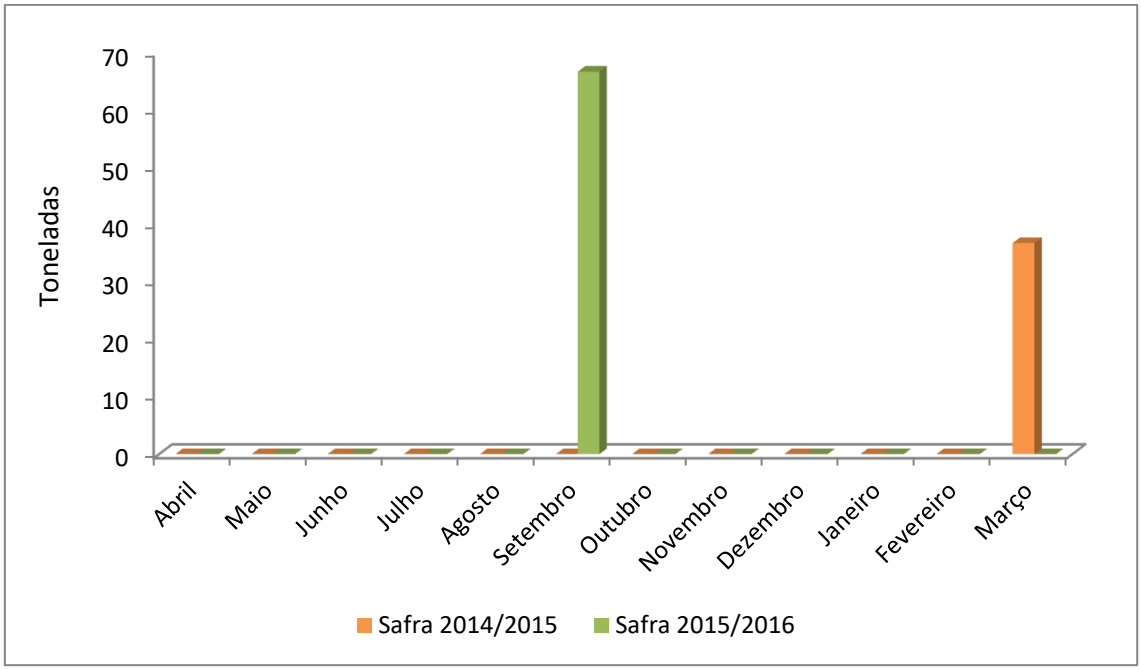

Figura 26 – Açúcar a granel recusado, por polarização (POL) fora de especificação, nas safras 2014/2015 e 2015/2016 (em toneladas)
Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

Segundo Jansen (2009), este tem sido o principal parâmetro no estabelecimento da qualidade do açúcar bruto e seu valor para o refinador. Esta é a principal medida comercial do teor de açúcar. Quanto maior for a pol de um açúcar bruto, menor será a carga de impurezas na refinaria e maior será o rendimento de açúcar refinado por tonelada de açúcar bruto. O autor explica que uma pequena redução em pol de 99,2°Z para 98,9°Z aumentará a carga de impurezas na estação de recuperação da refinaria em 30%.

De acordo com Saska e Kochergin (2010), a perda de sacarose durante a etapa de armazenamento está relacionada com a umidade e ao pH do açúcar.

Com relação à distribuição espacial, as Figuras 27 e 28 mostram as recusas de veículo, por item de especificação em cada macrorregião produtora, nas safras 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente.

É possível perceber nas Figuras 27 e 28 que durante as duas safras a região A foi a responsável pelo maior número de recusas de carga. De acordo com informações de agentes do setor, isso se deve ao fato das condições edafoclimáticas da região exigirem variedades de cana-de-açúcar mais rústicas, que apresentam boa produção em condições desfavoráveis; porém, como consequência,

se os insumos industriais não forem devidamente utilizados, há mais chances de produção de açúcar de menor qualidade.

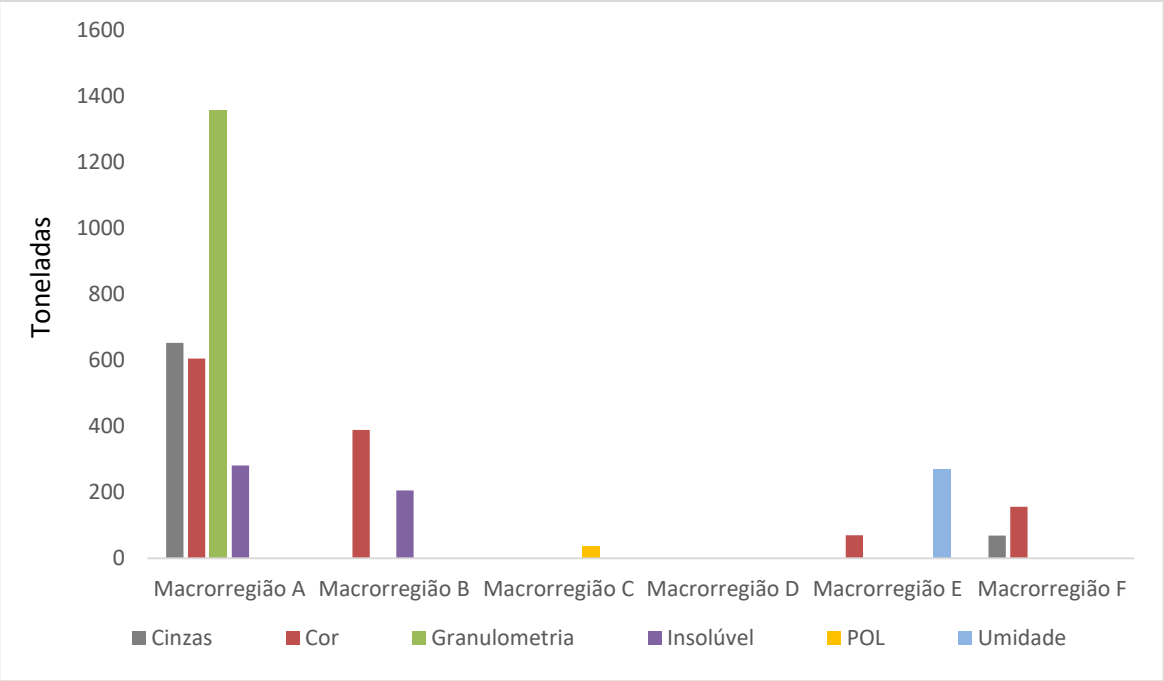

Figura 27 – Açúcar a granel recusado por item de especificação em cada macrorregião produtora, durante a safra 2014/2015 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

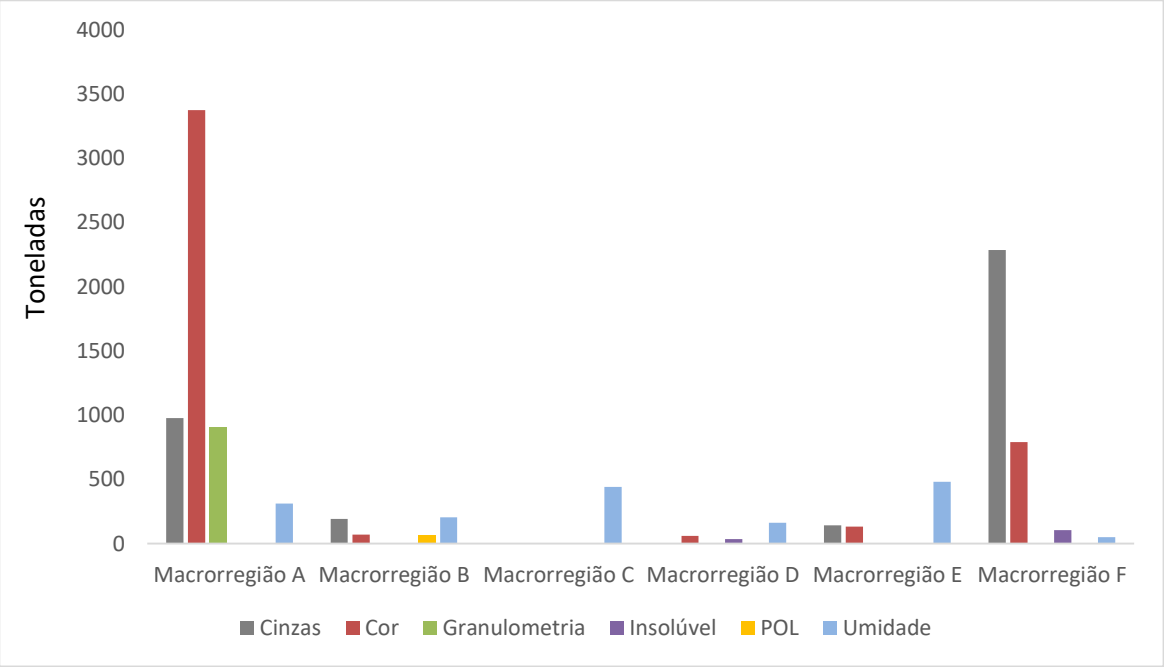

Figura 28 - Açúcar a granel recusado por item de especificação em cada macrorregião produtora, durante a safra 2015/2016 (em toneladas)

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

5.2 Resultados do modelo *logit*

Foi realizada uma regressão *logit*, utilizando o *software* Stata 12.0. A variável dependente é binária, estando relacionada à recusa de um veículo no terminal de transbordo ou terminal portuário por problemas de qualidade no açúcar a granel. Tal variável assume valor 1 se o caminhão for recusado e 0 se for aceito. Os dados utilizados no modelo são dos veículos carregados com ao produto durante as safras 2014/2015 e 2015/2016, provenientes de 22 usinas do estado de São Paulo.

Para encontrar o impacto das variáveis explicativas na variável dependente foi realizado o teste de Efeito Marginal na Média a fim de se verificar quanto a mudança em uma unidade nas variáveis explicativas aumentam a probabilidade da carga ser recusada.

Nos resultados da Tabela 5 observa-se que o modelo, de forma geral, é significativo (Prob > x^2 = 0,0000). Os coeficientes relacionados à temperatura média diária e ao tempo de armazenamento foram estatisticamente significativos e com sinal positivo, o que indica que essas variáveis aumentam a probabilidade do veículo ser recusado por problemas de qualidade no açúcar a granel. Dentre essas variáveis, a que apresenta coeficiente com maior magnitude é o tempo de armazenamento, sendo que para cada 1 semana a mais que o açúcar ficar estocado, isso implica um aumento de 0,09% na probabilidade da recusa, o que sugere que o açúcar produzido no início da safra e escoado somente em março (final da safra) tem cerca de 4,5% de chance a mais de ser recusado no destino.

Tabela 5 – Coeficientes da regressão *logit* para os veículos carregados com açúcar a granel durante as safras 2014/2015 e 2015/2016[8]

Variáveis	Coeficiente	Teste Z	P>|z|	Efeito Marginal
Condições Climáticas				
Temperatura Média Diária	0,06614	3,22	*	0,000614
Umidade Relativa do Ar	-0,00556	-0,77	0,444	-0,000052
Condições Usina				
Tempo Armazenamento	0,09639	3,09	*	0,000895
Tipo de Centrífuga	0,36812	1,31	0,190	0,003795
Mês Carregamento				
(base fevereiro)				
Janeiro	1,10385	2,88	*	0,016447
Março	-1,42039	-5,28	*	-0,007481
Abril	4,95983	1,64	***	0,549410
Maio	3,95958	1,24	0,217	0,293194
Junho	3,72851	1,34	0,182	0,199109
Julho	2,78710	1,33	0,183	0,076975
Agosto	1,96354	1,15	0,249	0,049007
Setembro	2,33988	1,49	0,136	0,065309
Outubro	0,80184	1,06	0,290	0,009847
Novembro	0,69451	1,12	0,264	0,008749
Dezembro	1,18276	1,87	***	0,019777
Macrorregião Produtora				
(base macrorregião A)				
B	-0,47531	-2,04	**	-0,003765
C	-1,44786	-6,71	*	-0,008548
D	-2,17116	-10,03	*	-0,010367
E	-1,52683	-6,69	*	-0,010330
F	0,13701	0,56	0,576	0,001309
Ano /safra				
(base ano/safra 2014/2015)				
Safra 2015/2016	0,58465	3,27	*	0,005314
Terminal de Destino				
(base terminal transbordo)				
Santos	-0,16218	-0,67	0,501	-0,001421
X^2razão de verossimilhança	502,48			
Número de observações	27978			

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)
* estatisticamente significativo a 1%
** estatisticamente significativo a 5%
*** estatisticamente significativo a 10%

[8] Para mês de carregamento, foi considerado como variável base (omitida) o mês de fevereiro. Em relação à macrorregião produtora, a variável omitida refere-se às usinas pertencentes à macrorregião A. Para a variável base correspondente ao ano safra, foi omitido o ano safra 2014/2015; por fim, para o destino do açúcar a granel, o terminal de transbordo foi utilizado como base.

Mesmo com açúcar produzido dentro das especificações de qualidade, durante a etapa de armazenamento ele sofrerá um aumento de sua cor. De acordo com Saska e Kochergin (2010), estudos demonstraram que a cor do açúcar bruto aumenta de quatro a cinco vezes após seis a sete meses de armazenamento.

Para Zacura Filho e Piccirilli (2012), durante a armazenagem e movimentação do açúcar há grandes possibilidades de ele sofrer transformações em suas características físicas e químicas. O produto pode amarelecer, incorporar material estranho e empedrar. Porém, de acordo com o autor, a principal perda de qualidade se refere à cor. Todo o açúcar, mesmo produzido com a melhor qualidade, sofre acréscimo de cor ao longo do período estocado.

A cor fora de especificação é uma das principais ocorrências para recusa de carga. Os cristais de sacarose são incolores; sendo assim, qualquer cor que apresentem é consequência de impurezas orgânicas ou inorgânicas originárias principalmente da cana-de-açúcar e também da terra que é agregada durante a colheita, dos insumos industriais e dos processos corrosivos que ocorrem nos componentes metálicos das usinas.

Os fatores responsáveis pela cor do açúcar e também pelo seu escurecimento durante a armazenagem são, em sua maioria, originários da própria cana, sendo os principais os polifenóis e os aminoácidos. Esses precursores podem apresentar maior incidência em algumas variedades de cana-de-açúcar e estão presentes no açúcar porque a sua eliminação no tratamento do caldo é apenas parcial (ZACURA-FILHO; PICCIRILLI, 2012). É possível notar na Figura 29 um açúcar a granel armazenado apresentando camadas mais amarelecidas.

Figura 29 – Açúcar a granel com camadas amarelecidas

Fonte: Oliveira (2014)

Segundo Gontijo (2008), o escurecimento do açúcar durante a armazenagem significa que os compostos precursores da cor que fazem parte da sua composição reagiram quimicamente, se transformando em compostos mais escuros. Para que o escurecimento ocorra, é necessário que além da presença desses reagentes haja a participação de um solvente, como a água e também a temperatura.

Os resultados do modelo para temperatura média diária foram significativos, com seu efeito marginal indicando que para cada aumento de 0,01 graus Celsius na temperatura, há um aumento da probabilidade do veículo não ser recebido em 0,061%.

A temperatura é o principal fator da velocidade das reações químicas, sendo que um aumento de 10°C pode dobrar essa velocidade; por isso, recomenda-se que o açúcar não seja armazenado com temperatura acima de 40°C, pois açúcar estocado quente tem grande probabilidade de ganho de cor.

De acordo com estudos de Aguiar et al. (2015), há um aumento progressivo nos níveis de açúcares redutores com o aumento na temperatura. Este aumento contribui no processo de inversão de sacarose em glicose e frutose. Além da temperatura, os autores citam a umidade e o tempo de armazenamento como fatores importantes na manutenção da qualidade do produto.

Além de tornar o produto susceptível a se empedrar, a umidade também serve de meio para que ocorram reações de escurecimento do produto. Está relacionada com a denominada Atividade de Água – AA, que é a relação entre a pressão de vapor da água no produto e a pressão que teria a água pura na mesma temperatura. A atividade da água de um produto pode ser expressa na forma de Umidade Relativa de Equilíbrio – URE, medida em porcentagem. Açúcares que possibilitem um AA maior que 0,60 (URE 60%) são muito susceptíveis a escurecerem e a empedrarem. Caso a umidade relativa da atmosfera seja superior à URE do açúcar, ele absorve umidade; caso contrário, ele perde umidade para atmosfera (GONTIJO, 2008).

A qualidade do açúcar bruto durante o período de armazenagem é determinada em grande parte pelo seu teor de umidade. Existe um intervalo ótimo para o teor de umidade do açúcar que pode ser estocado de forma aceitável. Se o nível de umidade for demasiadamente baixo, podem ocorrer problemas de formação de poeira nos pontos de transferência e o risco de explosões aumenta. Já quando a umidade é muito alta, os microrganismos presentes na película de melaço que cercam o cristal causam a deterioração do açúcar, reduzindo a pol e aumentando a quantidade de impurezas, podendo causar problemas de empedramento (JANSEN, 2009).

Na Figura 30 é possível observar o açúcar VHP recusado no terminal portuário devido a problemas de empedramento, consequência do excesso de umidade.

Figura 30 – Açúcar VHP com problemas de empedramento
Fonte: Agentes do setor (2017)

Em relação aos meses do ano, os resultados do modelo indicam que um veículo carregado no mês de janeiro tem 1,64% de probabilidade a mais de ser recusado se comparado com uma carga transportada no mês de fevereiro, mês que foi utilizado como base para o modelo estatístico. O mês de março apresentou uma redução de 0,75% de chances de o açúcar ser recusado se comparado ao mês de fevereiro.

Uma carga de açúcar transportada no mês de abril possui 54,4% de probabilidade de ser recusada. Isso se deve ao fato do mês de abril ser o primeiro mês de produção das usinas, período de ajustes na indústria.

Para as cargas carregadas durante o mês de dezembro o aumento da probabilidade de recusa é de 1,98% se comparado a fevereiro. Os demais meses do ano não apresentaram resultado significativo.

Para análise das unidades produtoras, as 22 usinas foram alocadas em 6 macrorregiões através de uma técnica de agrupamentos (cluster) para melhor avaliação dos resultados, conforme comentado anteriormente no trabalho.

Para o agrupamento das unidades produtoras foi utilizado o método da distância euclidiana para determinação da matriz de dissimilaridade e para o agrupamento foi utilizado uma técnica hierárquica da média das distâncias.

O coeficiente de correlação cofenética foi de 0,9967, este coeficiente mede o grau de ajuste da matriz de similaridade, sendo os coeficientes maiores que 0,8 considerados adequados, de acordo com Bussab, Miazaki e Andrade (1990). Para Corrar, Paulo e Dias-Filho (2007), coeficientes de correlação cofenética acima de 0,7 são avaliados como bem ajustados. Portanto, é possível concluir que o método de agrupamento utilizado para as usinas pode ser considerado bem ajustado.

A Figura 31 representa o dendrograma (gráfico em forma de árvore) obtido através da técnica de agrupamentos utilizando o método das médias das distâncias.

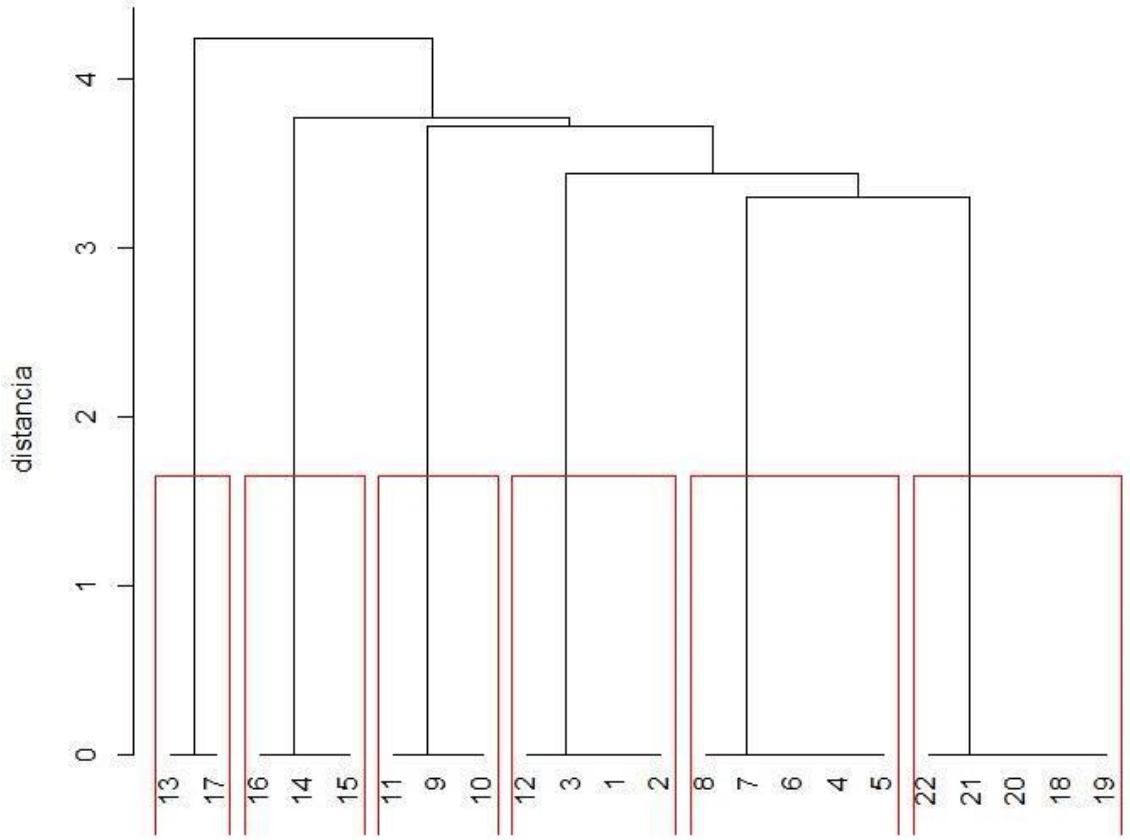

Figura 31 – Dendrograma do grupamento das unidades produtoras

Fonte: Elaborado a partir de dados de transportadora representativa (2016)

A partir do resultado do agrupamento, 5 binárias foram utilizadas para distinguir 6 macrorregiões sendo a macrorregião A adotada como base no modelo econométrico.

A partir dos resultados do modelo econométrico observa-se que as cargas carregadas nas macrorregiões B, C, D e E foram significativas e o sinal do coeficiente indica diminuição da probabilidade do caminhão não ser aceito se comparado com um veículo proveniente da macrorregião de A. Para as macrorregiões, a menor chance de recusa ocorre para D com -1,04%, seguido de E com -1,03%, C com -0,85% e B com -0,38%. Já a variável macrorregião F não apresentou resultado significativo.

Em relação ao tipo de Centrífuga, Umidade Relativa do Ar e Terminal de Destino, estas variáveis não apresentaram resultado significativo.

O coeficiente relacionado à safra, apresentou maior probabilidade de recusa de veículos da safra 2015/2016 se comparada à safra 2014/2015, sendo 0,53% maior na segunda safra, conforme dados da Tabela 5.

5.3 Custos logísticos decorrentes da perda de qualidade do açúcar bruto

Quando o veículo de uma usina é recusado em um terminal de transbordo ou terminal portuário por não estar dentro das especificações de qualidade de açúcar VHP, ele deve retornar à sua unidade de origem para que seja feita a chamada “blendagem” ou “mix” do produto.

A “blendagem” ou “mix” consiste na mistura do produto fora de especificação com açúcar de boa qualidade; desta forma, é possível recuperar o açúcar fora de especificação e reenviá-lo para o terminal. Porém, atrelado à recusa da carga, existem custos adicionais com o frete da unidade produtora até o terminal e os custos de hora/máquina para realizar o trabalho de mistura do açúcar nos armazéns.

De acordo com as informações fornecidas pela transportadora representativa, durante a safra 2014/2015 foram recusadas 4.758,08 toneladas de açúcar a granel, o que gerou uma despesa adicional de pouco mais de R$ 300.000,00 com frete e aproximadamente R$ 14.000,00 com o “mix” do produto nos armazéns.

Na Tabela 6 é possível visualizar os gastos adicionais com frete e “mix” do açúcar, por macrorregião produtora.

Tabela 6 – Custos adicionais com açúcar recusado por falta de qualidade nas macrorregiões produtoras, durante a safra 2014/2015.

Macrorregião	Número caminhões recusados	Quantidade açúcar (t)	Gasto adicional com frete (R$)	Gasto com mistura do açúcar (R$)	Total (R$)
Macrorregião A	87	2.896,58	174.717,98	9.154,14	183.872,12
Macrorregião B	36	1.257,78	94.451,90	3.787,92	98.239,82
Macrorregião C	1	36,80	6.379,28	105,22	6.484,50
Macrorregião D	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Macrorregião E	10	341,50	18.074,10	1.052,20	19.126,30
Macrorregião F	7	225,42	19.262,26	736,54	19.998,80
Total	141	4.758,08	312.885,52	14.836,02	327.721,54

Fonte: Elaborado a partir de dados do SIFRECA (2017) e de agentes do setor (2017)

De acordo com informações do Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA (2017), foram calculados os valores gastos com frete referente a cada um dos caminhões recusados durante a safra 2014/2015. Os custos com a mistura do açúcar recusado nas respectivas unidades produtoras foram fornecidos por um agente do setor.

Os custos adicionais com frete foram de R$ 312.885,52, que equivalem ao valor pago pelo frete do terminal à usina de origem, devido à recusa da carga, mais o frete pago do açúcar com qualidade recuperada da usina de origem ao terminal novamente. O valor gasto com a mistura do açúcar recusado com açúcar de boa qualidade foi de R$ 14.836,02; portanto, durante a safra 2014/2015 foram gastos R$ 327.721,54 devido a problemas de qualidade no açúcar a granel, como é possível observar na Tabela 6.

Durante a safra 2015/2016 o número de veículos recusados foi bastante superior, passando de 141 na safra anterior para 334 caminhões. Neste caso, os custos adicionais com frete (do terminal à usina de origem e da usina de origem ao terminal) foram de R$ 702.939,02 e os custos com a mistura do açúcar foram de R$ 37.217,62, totalizando R$ 740.156,81, conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Custos adicionais com açúcar recusado por falta de qualidade nas macrorregiões produtoras, durante a safra 2015/2016

Macrorregião	Número caminhões recusados	Quantidade açúcar (t)	Gasto adicional com frete (R$)	Gasto com mistura do açúcar (R$)	Total (R$)
Macrorregião A	169	5.572,42	497.301,35	18.831,67	516.133,02
Macrorregião B	16	534,40	30.651,20	1.782,88	32.434,08
Macrorregião C	16	440,60	7.765,02	1.782,88	9.547,90
Macrorregião D	8	259,72	40.425,27	891,44	41.316,71
Macrorregião E	22	755,21	43.867,55	2.451,46	46.319,01
Macrorregião F	103	3.231,32	82.928,80	11.477,29	94.406,09
Total	334	10.793,67	702.939,19	37.217,62	740.156,81

Fonte: Elaborado a partir de dados do SIFRECA (2017) e de agentes do setor (2017)

Durante as duas safras foram gastos pelas unidades produtoras R$ 1.067.878,35, sendo o equivalente a R$ 1.015.824,71 com fretes e R$ 52.053,64 com o “mix” de açúcar nos armazéns das unidades produtoras.

É possível observar nas Tabelas 6 e 7 que a região A é responsável pela maior parcela desses custos, participando com 56% na safra 2014/2015 e 69,7% na safra 2015/2016. Todas as demais macrorregiões tiveram aumento na recusa e, portanto, aumento nos gastos adicionais na segunda safra analisada, com exceção da regional B.

De acordo com os resultados do modelo, a variável que apresentou coeficiente com maior magnitude foi o tempo de armazenamento. Desta forma, é possível estimar que os veículos carregados com açúcar durante a entressafra têm maior probabilidade de serem recusados pelos terminais de transbordo ou pelo terminal portuário.

A Tabela 8 traz uma estimativa da quantidade de veículos recusados e os custos adicionais atrelados à recusa da carga a partir dos resultados do modelo econométrico *logit*.

Para realizar a estimativa dos custos logísticos adicionais devido à recusa da carga, foi utilizada uma média simples do volume de carga transportado por semana e por mês durante as safras 2014/2015 e 2015/2016.

A partir dos dados fornecidos pelo SIFRECA foi calculado o momento médio do frete e multiplicado pela distância média das unidades produtoras até o terminal de transbordo ou terminal portuário durante o ano de 2016. Para os custos de hora/máquina foram utilizados os dados fornecidos por agente representativo do setor.

Tabela 8 - Custos adicionais estimados com açúcar recusado por falta de qualidade, por semana de armazenamento.

Tempo de armazenamento	Probabilidade de recusa	Número caminhões recusados	Quantidade açúcar (t)	Gasto médio com frete (R$)	Gasto com mistura do açúcar (R$)	Total (R$)
1 semana	0,09%	0,4	13,03	1.864,26	45,87	1.910,13
10 semanas	0,90%	14	441,92	63.221,43	1.555,43	64.776,86
20 semanas	1,80%	43	1.374,64	196.656,61	4.838,32	201.494,92
30 semanas	2,70%	69	2.210,16	316.184,90	7.779,06	323.963,96
40 semanas	3,60%	74	2.378,72	340.300,38	8.372,37	348.672,75
50 semanas	4,50%	97	3.090,20	442.083,99	10.876,54	452.960,52

Fonte: Elaborado a partir de dados do SIFRECA (2017) e de agentes do setor (2017).

É possível observar na Tabela 8 que a probabilidade de recusa de carga depois que o açúcar a granel passa 50 semanas armazenado, ou seja, quando é armazenado no início da safra e escoado apenas no final da safra, é de 4,5% a mais. Isto significa que cerca de 3 mil toneladas de açúcar podem recusadas no terminal de destino. Os custos adicionais relacionados são de R$ 452.960,52, sendo R$ 442.083,99 gastos com frete e R$ 10.876,54 com horas/máquina para a mistura do açúcar.

Para evitar as recusas de veículos por falta qualidade no açúcar granel seriam necessários investimentos nas unidades produtoras.

Para evitar este prejuízo, partindo-se da probabilidade de recusa de carga pelo tempo de armazenamento, uma sugestão é que as unidades produtoras escoassem primeiramente o açúcar que foi armazenado no início, ou seja, adotassem o sistema *First in First out* – FIFO (o primeiro que entra no armazém é o primeiro que sai); porém, para adotar o sistema FIFO seriam necessários investimentos em armazéns graneleiros com fundo em semi V ou V, conforme ilustra a Figura 32.

Figura 32 – Armazém graneleiro com fundo V
Fonte: Zen (2014)

Neste tipo de armazém graneleiro com fundo V, o açúcar é retirado por gravidade, permitindo o FIFO; porém, a construção desses armazéns graneleiros requer escavações que podem atingir até 15 metros de profundidade, além de um sistema de esteiras transportadoras e elevadores de caneca.

De acordo com Lima-Filho (2015), para a construção de um armazém graneleiro do tipo V com capacidade para 30 mil toneladas, é necessário um investimento de cerca de R$ 6 milhões.

Segundo informações de agentes do setor, um investimento deste valor atualmente é inviável para uma *commodity* como o açúcar VHP, sendo preferível, para evitar as recusas de veículos nos terminais, realizar as análises da carga no armazém antes do carregamento dos caminhões e, se necessário, providenciar a mistura do açúcar para evitar a devolução da carga.

Vale porém ressaltar que, ainda de acordo com informações de agentes do setor sucroenergético, as recusas de carga têm sido cada vez mais numerosas em virtude do aumento das restrições por parte dos terminais multimodais e dos terminais portuários.

6 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi identificar os principais problemas de qualidade do açúcar a granel e desenvolver um modelo econométrico do tipo *logit* para mensurar a probabilidade da recusa do produto, estimar os custos logísticos envolvidos na perda de qualidade, assim como os possíveis investimentos que poderiam contribuir para redução nos custos.

O Brasil possui uma longa tradição no cultivo da cana-de-açúcar, sendo parte importante da sua história. Os intensos avanços tecnológicos, aliados à expansão da fronteira agrícola e à profissionalização do setor, foram responsáveis pelo grande crescimento do complexo sucroenergético.

A área plantada de cana-de-açúcar praticamente dobrou na última década, passando de 5,8 milhões de hectares para 10,9 milhões de hectares em 2016, configurando uma produção de 666 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 33 milhões de toneladas de açúcar e 30 milhões de metros cúbicos de etanol.

Em relação à produção de açúcar, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial, com 68% do mercado, tendo enviado para o exterior cerca de 26 milhões de toneladas do produto em 2016, principalmente para China, Índia, países do sudoeste asiático e norte do continente africano, utilizando principalmente os portos de Santos e Paranaguá para escoamento do produto ao mercado externo.

A relevância da produção e exportação do açúcar para economia brasileira faz com que a logística ocupe um papel importante para a competitividade do setor, uma vez que os custos de transporte são altos no Brasil. Neste contexto, uma cadeia logística bem estruturada é fundamental para redução nos custos de exportação. Porém, além das questões relacionadas à infraestrutura no país, problemas pertinentes à qualidade do açúcar também podem encarecer as operações logísticas.

O açúcar VHP é o tipo mais produzido e exportado pelo país, com uma participação de aproximadamente 70% das exportações do complexo sucroenergético. Como especificações técnicas internacionais deste tipo de açúcar, tem-se a cor, umidade, polarização, teor de cinzas e resíduos insolúveis como parâmetros a serem seguidos pela indústria.

A polarização é medida em graus Zucker (°Z) e define a porcentagem de sacarose no açúcar, ou seja, ela está ligada à capacidade de adoçar do açúcar. A

especificação de pol para o VHP, segundo a ANVISA é de no mínimo 99,0 ºZ , sendo que quanto maior for a pol de um açúcar bruto, menor será a sua carga de impurezas; portanto, maior é o rendimento na produção do açúcar refinado.

Para a especificação de cor, o limite para o VHP é de 1.200 unidades ICUMSA, sendo este um dos parâmetros de qualidade de maior importância, pois a remoção da cor nas refinarias tem um custo elevado, uma vez que se observa uma redução da capacidade de refino quando o produto estiver com cor acima da especificação.

A umidade também é um fator importante para manutenção da qualidade do produto. Açúcar VHP com umidade acima de 0,15% torna o produto passível de empedramento, o que acarreta problemas na descarga dos veículos. Além disso, a umidade aliada à temperatura serve de meio para que ocorram reações de amarelecimento do produto e desenvolvimento de microrganismos que deterioram o açúcar, reduzindo a sua pol.

Em relação às cinzas condutimétricas, o seu alto teor pode afetar o processo de refino, levando à maior perda de açúcar, danos nos equipamentos industriais e também a dificuldades na redução da cor. As cinzas são resíduos inorgânicos presentes no caldo da cana e seu limite para o VHP é de 0,15%.

Os resíduos insolúveis são partículas minúsculas como bagaço, sílica e sais minerais, que prejudicam a qualidade do açúcar reprocessado e contribuem para redução na operação dos filtros, provocando má aparência em bebidas e alimentos. A tolerância de resíduos insolúveis no açúcar VVHP é de 150 mg/kg.

Além desses itens, um parâmetro que passou a ser considerado é a granulometria do açúcar, chamado de abertura média do cristal, que pode variar de 0,5 a 0,8 milímetros. Os problemas com granulometria estão associados à formação de pó de açúcar, que pode causar impactos ambientais e oferecer risco de explosão. Esse item ganhou importância a partir de acidentes ocorridos nos anos de 2014 e 2015 em terminais de portuários e terminais de transbordo no Brasil.

Foi possível observar durante a pesquisa que as recusas de carga foram mais numerosas na safra 2015/2016, passando de 141 para 334 caminhões recusados, o que significa um total de 10.753 toneladas de açúcar, um aumento de 127% em relação à safra anterior. Dentre os itens especificados, a rejeição da carga ocorreu principalmente devido à cor fora de especificação, com 1.220 toneladas no primeiro período analisado e 4.393 toneladas na safra seguinte.

Durante a safra 2014/2015, os problemas com granulometria foram superiores ao de cor fora de especificação, participando com 29% das cargas impugnadas; já na safra seguinte, essa participação foi de apenas 8% devido à utilização de *spray* de água durante o carregamento dos caminhões para evitar a formação de pó no momento da descarga. Segundo agentes do setor, esta medida paliativa ainda vem sendo utilizada para evitar a formação de pó e consequente recusa dos caminhões.

As recusas por umidade acima da especificação foram de 934 toneladas e 1.652 toneladas nas safras 14/15 e 15/16, respectivamente. Apesar do aumento na segunda safra estudada, a participação na recusa por umidade foi 5% menor se comparado ao primeiro período.

O alto teor de cinzas teve uma participação de 20% na primeira safra analisada e 33% na segunda safra. Já os resíduos insolúveis tiveram uma participação de 15% na safra 2014/2015 e apenas 1% na safra 2015/2016. Por último as recusas de veículos por problemas na polarização tiveram uma participação de 1% durante as duas safras.

Os custos logísticos adicionais com a rejeição da carga por falta de qualidade, durante as duas safras analisadas, chegaram a R$ 1,067 milhões, sendo gastos com frete R$ 1,015 milhões e R$ 52 mil gastos com a mistura do açúcar nos armazéns das usinas para reenvio do produto aos terminais.

A partir de informações da literatura correlata e de agentes do setor, foi estimada uma regressão *logit*, em que a variável dependente assume o valor um quando o caminhão é recusado e zero quando é aceito. Entre as variáveis explicativas estão o tempo de armazenagem, temperatura e umidade relativa do ar, tipo de centrífuga utilizada no processo de secagem do produto, as macrorregiões produtoras, o terminal de destino, os meses de carregamento e o ano safra.

O modelo econométrico - de forma geral - foi significativo. O coeficiente relacionado ao tempo de armazenamento indicou um aumento de probabilidade de 0,09% a cada semana que o açúcar fica armazenado, podendo chegar a 4,5% a probabilidade adicional de um caminhão ser rejeitado quando o produto for escoado no final da safra, ou seja, passando aproximadamente 50 semanas estocado. De acordo com Saska e Kochergin (2010), Zacura Filho e Piccirilli (2012) e Aguiar (2015), durante a armazenagem, o açúcar sofre aumentos de cor; além disso, podem ocorrer transformações físicas e químicas, incorporar material estranho e empedrar. Para Gontijo (2008), o escurecimento ao longo do período contido no

armazém ocorre em virtude dos compostos precursores de cor que reagem na presença de umidade e temperatura ambiente.

O coeficiente relacionado à temperatura foi significativo, com probabilidade de recusa de 0,061% a cada aumento de 0,01 graus Celsius; já o coeficiente relacionado à umidade não foi significativo.

Para os meses do ano, o mês de abril pode ser considerado um período crítico, devido às altas chances da carga ser recusada. No modelo econométrico, o coeficiente relacionado aos meses do ano apontou 54% de probabilidade adicional do caminhão retornar no mês de abril, se comparado com um açúcar escoado durante o mês fevereiro, mesmo sendo este mês mais no final de safra. De acordo com agentes do setor, no início da safra os equipamentos da indústria ainda passam por ajustes, sendo comum a produção de açúcar fora de especificação.

A macrorregião produtora apresentou resultados significativos (com exceção da região de F), sendo que a macrorregião D foi a que ofereceu menor probabilidade de recusa de carga em relação à região A, seguida de E, C e B. A macrorregião A, segundo dados de agente do setor, foi a que apresentou maior número de problemas de qualidade do açúcar VHP, principalmente devido à cor do produto. Segundo Zacura Filho e Piccirilli (2012), algumas variedades de cana-de-açúcar podem conter maiores quantidades de polifenóis e aminoácidos, responsáveis pelo amarelecimento do produto.

Além disso, de acordo com informações do agente do setor, as variedades de cana-de-açúcar plantadas nessa região estão mais voltadas para condições edafoclimáticas ruins, devido a características de solo e clima da região, podendo implicar a produção de açúcar de pior qualidade.

Ao projetar um cenário tomando como base apenas os resultados da variável contínua que apresentou coeficiente com maior magnitude - o tempo de armazenamento - os gastos adicionais com frete e hora/máquina quando o açúcar escoado passou 50 semanas armazenado, ou seja, quando aquele produto foi estocado no início da safra e retirado apenas no final, por falta de infraestrutura nas usinas para trabalhar um sistema de armazenamento FIFO, foi de R$ 452,9 mil.

De acordo com informações de agentes do setor, para evitar essas despesas adicionais, as unidades produtoras teriam que realizar investimentos na construção de armazéns graneleiros do tipo V ou semi-V, onde o produto é retirado por gravidade permitindo que o açúcar armazenado nas primeiras semanas da safra

seja o primeiro a ser carregado. Porém, para a construção de um armazém com capacidade para 30 mil toneladas do tipo V são necessários investimentos da ordem de R$ 6 milhões, valor considerado inviável para diversos agentes do setor. Entretanto, observa-se que o número de veículos recusados vem aumentando a cada safra, desta forma, o investimento na construção de armazéns que possibilitem o FIFO podem trazer o retorno desse valor em poucos anos.

Para evitar esses prejuízos com rejeição da carga nos terminais de destino, sugere-se um melhor acompanhamento do açúcar que será carregado a partir dos armazéns, aumentando-se o número de análises no produto estocado antes do início do carregamento dos veículos. Além disso, para o VHP próximo do limite dos parâmetros de qualidade é necessária a realização de mistura com produto de melhor qualidade para impedir a recusa da carga.

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se a utilização de um modelo *logit* multinomial, um modelo de escolha discreta, em que a variável dependente tem mais de dois resultados possíveis, sendo considerada uma variável *dummy* para cada motivo de recusa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Anuário Estatístico do Transporte Aquaviário de 2012.** Disponível em:< http://web.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2012/index.htm> Acesso em: 21 de março de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Estatísticas da Navegação Marítima e de Apoio.** Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Estatisticas_NavMaritima.asp#> Acesso em: 6 de junho de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Estatísticas da Navegação Interior.** Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Estat%C3%ADsticas-da-Navega%C3%A7%C3%A3o-Interior-%E2%80%93-2011.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2017.

AGUIAR, C.L.; ROCHA, A.L.B.; JAMBASSI, J.R.; BAPTISTA, A.S.; LIMA, R.B. **Factors Affecting Color Formation During Storage of White Crystal Sugar.** Focusing on Modern Food Industry. Volume 4, 2015.

AGUIAR, M.R. **Perspectivas de melhoria na infraestrutura viária nacional.** In. SEMINÁRIO INTERNACIONAL EM LOGÍSTICA AGROINDUSTRIAL, 7, 2010, Piracicaba. Disponível em: http://log.esalq.usp.br> Acesso em: 06 de junho de 2015.

ALVES, B.B. **A importância da variabilidade do tempo de viagem no acesso terrestre a aeroportos: estudo de caso do aeroporto internacional André Franco Montoro.** 2005. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARAUJO, E.R. **Avaliação de impactos ambientais da agroindustrialização canavieira na Cooperativa de Produção Agropecuária Vitória (COPAVI): um estudo de caso da produção de açúcar.** 2011. Dissertação (Mestre em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2011.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 616 p.

BARBOSA J.H.P.; SOUZA, I.T.; SANTANA, A.E.G., GOULART, M.O.F. **A determinação dos produtos avançados de glicação (AGES) e de lipoxidação (ALES) em alimentos e em sistemas biológicos: avanços, desafios e perspectivas**. Química Nova, v. 39, n. 5, p. 608-620, 2016

BUSSAB, W.O.; MIAZAKI, E.S.; ANDRADE, D.F. Introdução à Análise de Agrupamentos. 9º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística – Associação Brasileira de Estatística. São Paulo Julho de 1990, 93 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Balança Comercial.** Disponível em:< http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial > Acesso em: 13 de maio de 2015.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Transporte Rodoviário.** Disponível em:< http://www.transportes.gov.br/transporte-rodoviario.html> Acesso em 15 de abril de 2017.

BURNQUIST, H.L.; BACCHI, M.R.P. Análise das barreiras protecionistas no mercado de açúcar. In: MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. (Org). **Agroindústria Canavieira no Brasil**: Evolução, desenvolvimento e desafios. São Paulo: Atlas, 2002.Cap.6. p.139-156.

CAIXETA-FILHO, J.V.; SILVA, N.D.V.; GAMEIRO, A.H. Competitividade no *agribusiness*: a questão do transporte em um contexto logístico. In: FARINA, E.M.M.Q.; ZYLBERSTAJN, D. (Coord.). **Competitividade do Agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENSA; FIA; USP; FEA, 1998.1 CD-ROM, v.6, pt.C.

CARVALHO, L.B. **Transporte rodoviário do açúcar para exportação no estado de São Paulo.** 2005. 84 p. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CENTRO DE ESTUDOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA ESALQ/USP. **PIB do Agronegócio – Dados de 1994 a 2013.** Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pib/> Acesso em: 3 de maio de 2015.

CHEN, J.C.P.; CHOU, C. **Cane sugar handbook.** A manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1993. 1120 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Levantamento de safra 2014/2015.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_14.pdf > Acesso em: 23 de marco de 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Plano CNT de logística e transporte 2014** Disponível em:< http://www.cnt.org.br/Paginas/plano-cnt-transporte-logistica> Acesso em: 30 de março de 2017

CORRAR, L.J.; PAULO, E.; DIAS-FILHO, J.M. **Análise Multivariada para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia.** 1 ed. São Paulo: Atlas, 2007. 568 p.

COSTA JUNIOR, G. **O trabalho de crianças e adolescentes com ênfase nas piores formas: uma análise dos censos demográficos do Brasil de 2000 e 2010.** 2013. 89 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

COSTA, G.F. **Modelo de previsão aplicado ao mercado de transporte rodoviário do açúcar no Estado de São Paulo.** 2014. 194 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

DONAVAN, M. Raw sugar quality: the effect on the refiner. Proceedings of the Sugar Industry Technologists 52, 117–134. 1993.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de pesquisa e Agropecuária. **Arvore do conhecimento Cana de açúcar.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html> . Acesso em: 20 de abril. de 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Fluxograma produção de açúcar e álcool, 2007.** Disponível em:>http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html> Acesso em: 25 de abril de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO. **FAOSTAT Crops**. Disponível em: < http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em 25 abril de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS – FAO. **Standard for sugars codex stan 212-1999.** Disponível em:>http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252F workspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2BSTAN%2B212-1999%252FCXS_212e.pdf> Acesso em: 10 de maio de 2017.

GONTIJO, V.P. **Clarificação do caldo de cana para fabricação de açúcar cristal e a manutenção da qualidade do açúcar durante a armazenagem final**. 2008. 73 p. Monografia (Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

GUIA TRC**. Vantagens das CVC's x Carretas Tradicionais.** Disponível em:< http://www.guiadotrc.com.br/lei/bitrem.asp> Acesso em: 6 de maio de 2017.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 920 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO **Informação ao Consumidor: açúcar, 2012.** Disponível em:< http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/acucar.asp> Acesso em: 18 de abril de 2017.

JANSEN, T.M. **Raw sugar quality from a refiner's perspective**. Proc Aust Sugar Cane Technol. v. 31, 2009.

KEEDI, S. **Transportes, Unitização e Seguros Internacionais de Carga**. 5 ed. São Paulo: Aduaneiras, 2011. 306 p.

LABORATÓRIO HUGOT DE TECNOLOGIA EM SUCRODERIVADOS. **Amostra de açúcar com resíduos insolúveis acima da especificação.** Disponível em: <http:// http://www.lan.esalq.usp.br/lab/hugot-de-tecnologia-sucroenerg%C3%A9tica-e-derivados> Acesso em: 1 março de 2017.

LIMA, L.M.; ELINAS, L.P.; COLETI, J.C.; BIGARAN, J.T. Avaliação do impacto regional no valor do frete de fertilizantes. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 52. **Anais...**, 2014, Goiânia. Disponível em: http://icongresso.itarget.com.br/useradm/anais/?clt=ser.4. Acesso em: 13 de maio de 2015.

LIMA, R.B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados.** 2012. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Institutos de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LIMA FILHO, R.R. Programa para construção e ampliação de armazéns. **Revista Agroanalysis,** 28-29, ago. 2015.

LOPES, C.H.; BORGES, M.T.M.R. **Interpretação de análises químicas**. In: Qualidade do Açúcar. 1. ed. UFSCar/Araras. 2011.

MACHADO, S.S. **Tecnologia da fabricação do açúcar.** Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Inhumas, 2012.

MAGALHÃES, A.C.M. **Aula:** Álcool e Açúcar – Unidade II – Fabricação do Açúcar. Universidade Federal de Uberlândia. Departamento de Engenharia Química, Uberlândia, 2012. 87 p.

MARJOTTA-MAISTRO, M.C. **Análise do consumo industrial de açúcar no Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1998. 100p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

NUNES, P.B. **Caracterização logística do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil**. 2010. 252 p. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OETTERER, M. **Aula:** Mono e Dissacarídeos – Propriedades dos Açúcares. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Piracicaba, 2002. 26 p.

OLIVEIRA, A.M.K. **Potencial da logística ferroviária para a movimentação de açúcar para exportação no estado de São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais concentradores de carga.** 2005. 166p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, D.T Parâmetros de Qualidade do Açúcar e Amarelecimento no Armazenamento. Simpósio Ceagesp, Ago. 2014. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/comunicacao/arquivo/imagens2014/palestra.danilo.testes.pdf> Acesso em: 1 junho de 2015.

OLIVEIRA, D.T; ESQUIAVETO, M.M.M; e SILVA JUNIOR, J.F. **Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 27 suppl1 Campinas, Ago. 2007.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO AÇÚCAR. **Sugar Yearbook 2016**. Disponível em:> http://www.isosugar.org/publication/23/sugar-yearbook-2016> Acesso em: 28 de abril de 2017.

PATON, N.H. **The origin of colour in raw sugar.** Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists 1992. V.14, p. 8-11.

PAULINO, O.F.T. **Produção de açúcar**. Curso de Pós Graduação em Gestão do Setor Sucroalcooleiro. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2009.

PAYNE, J.H**. Operações unitárias na produção de açúcar de cana**; Tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel: STAB, 1989. 245 p.

RAÍZEN. Nossos Negócios: açúcar. Disponível em:< http://www.raizen.com.br/sobre-raizen-nossos-negocios/acucar> Acesso em: 20 de agosto de2015

RUMO LOGÍSTICA. **Transporte Ferroviário.** Disponível em: <http://pt.rumolog.com/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=27027> Acesso em 08 de maio de 2017

SÃO JOSÉ AGROINDUSTRIAL. **Flocos Alcóolicos – eliminação no processo industrial.** Disponível em: <http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/04/Maria_Selma_USINA-S%C3%83O-JOSE-IGARASSU-PE.pdf> Acesso em: 10 de maio de 2017.

SÃO PAULO. Departamento Hidroviário. **Carga transportada 2016.** Disponível em:<http://www.dh.sp.gov.br/carga-transportada/> Acesso em: 15 de abril de 2017.

SASKA, M.; KOCHERGIN, V. Quality changes during storage of raw and VLC sugar: Effects of pH and moisture. **International Sugar Journal**, v. 111, n. 1324, p. 234-238, 2010.

SASSERONI, J.L. Armazenamento de grãos. In: GOMES, R.A.R.; CASTRO, M.F.P.M.; VALENTIN, S.RT.; BOLONHEZI S. (Coord.) **Atualização em tecnologia pós colheita de grãos.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 1995. p. 50-87.

SETTEN, A.M**. Infraestrutura logística de exportação de açúcar e etanol no Centro-Sul do Brasil.** 2010. 123 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

SILVA, M.V.S. **Competitividade internacional do açúcar brasileiro: uma análise de *market share* constante**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL.43., Ribeirão Preto, 2005. **Anais**. Brasília: SOBER, 2005.

SOUZA, J. **Estudo da eficiência de alguns polielitrólitos utilizados na clarificação do caldo de cana.** 1988. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

STALDER, S.H.G.M. **Análise da participação do Brasil no mercado internacional de açúcar.** Piracicaba, 1997. 121 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SUCROSE. **How sugar is made.** Disponível em: <http://www.sucrose.com/learn.html> Acesso em: 14 de marco de 2017.

TOLEDO, J.C. Gestão da qualidade na agroindústria, In: BATALHA, M.O. (org), **Gestão Agroindustrial**, São Carlos: Ed. Atlas, 1997. V. 1, p. 437-487.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Dados Estatísticos.** Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/index.php?idioma=1> Acesso em: 06 de junho de 2015.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Histórico de produção e moagem.** Disponível em: < http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2 > Acesso em: 21 de abril de 2017.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Histórico de produção e moagem açúcar e etanol.** Disponível em: < http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2 > Acesso em: 15 de Dez de 2016

UNITED NATIONS COMMODITY TRADE STATISTICS DATABASE - UN COMTRADE. **Base de dados do comercio internacional.** Disponível em: <http:// comtrade.un.org> Acesso em: 23 de marco de 2017.

UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE – USDA. **World Centrifugal Sugar: Imports and Exports.** Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=World+Centrifugal+Sugar%3a+Imports+and+Exports&hidReportRetrievalID=2421&hidReportRetrievalTemplateID=8 > Acesso em: 6 de junho de 2015.

UNITED STATES DEPARTAMENTO OF AGRICULTURE. **World Centrifugal Sugar.** Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=World+Centrifugal+Sugar&hidReportRetrievalID=2422&hidReportRetrievalTemplateID=8>. Acesso em: 6 de junho 2015.

USINA ALTO ALEGRE Açúcar Cristal Branco e VHP 2015. Disponível em:< http://www.altoalegre.com.br/produtos/acucar_cristal.aspx > Acesso em 22 de abril de 2017

VERRUMA-BERNARDI, M.R.; GENEROSO, W.C.; BORGES, M.T.M.R.; CECCATO-ANTONINI, S.R.; MARINO, A.F.; SILVA, M.V.M.; NASSU, R.T. Avaliação microbiológica e físico-química de açúcares mascavo comerciais. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 68, n. 2, p. 269, 2009.

WANKE, P.; ANDRIES, M. **Combinação e competição de previsões:** um estudo de caso nos fretes do agronegócio – parte 1. 2010. Disponível em:< http://www.ilos.com.br/web/?p=473> Acesso em: 1 de junho de 2015.

WOOLDRIDGE, J.M. **Introdução à Econometria:** uma abordagem moderna. 4.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 701 p.

ZACURA FILHO, G.; PICCIRILLI, J.P. **O processo de fabricação do açúcar e do álcool – desde a lavoura da cana até o produto acabado.** Ed. Viena, 2012. v. 1, 110 p.

ZEN, F.B. **Armazém graneleiro**: projeto com placas pré-fabricadas de concreto. 2014. 109 p. Monografia (Engenheiro Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.