

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ALOCAÇÃO DE
VARIEDADES, ÉPOCAS DE PLANTIO E COLHEITA DE CANA-
DE-AÇÚCAR**

GERSON SCHAFFER

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016**

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ALOCAÇÃO DE
VARIEDADES, ÉPOCAS DE PLANTIO E COLHEITA DE CANA-
DE-AÇÚCAR**

GERSON SCHAFFER
Engenheiro de Produção

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S296m Schaffer, Gerson.
Modelagem matemática para alocação de variedades,
épocas de plantio e colheita de cana-de-açúcar. / Gerson
Schaffer. – Dourados, MS : UFGD, 2016.
72f.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Sistemas Agroindustriais. 2. Programação linear. 3.
Otimização. I. Título.

CDD – 633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitida a publicação parcial desde que citada a fonte.

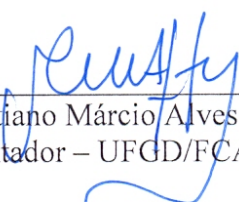
MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ALOCAÇÃO DE VARIEDADES,
ÉPOCAS DE PLANTIO E COLHEITA DE CANA-DE AÇÚCAR

por

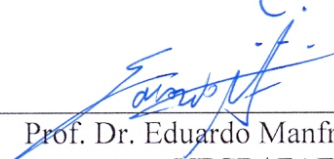
GERSON SCHAFFER

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

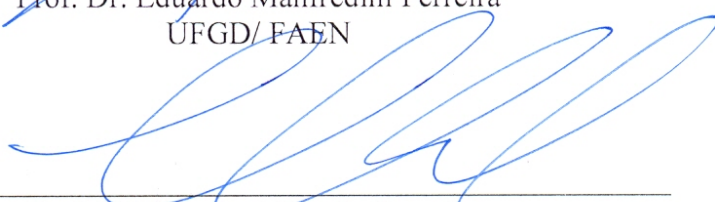
Aprovada em: 01/04/2016



Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Eduardo Manfredini Ferreira
UFGD/ FAEN



Prof. Dr. Laercio Alves de Carvalho
UEMS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

a Deus,

à minha esposa e sempre companheira, Eliene,

à nova fonte de vida e entusiasmo em minha vida, meu filho Matheus,

a meus pais, Oterno e Lúcia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a oportunidade de ser aceito no Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Grande Dourados, embora possua como formação acadêmica em Engenharia de Produção.

Agradeço ao orientador Professor Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza, pelas trocas de informações e valiosos ensinamentos, principalmente sobre Sistemas de Engenharia Agrícola e Otimização.

Aos Professores do Programa de Mestrado pelos conhecimentos adquiridos, Roberto Carlos Orlando, Manoel Carlos Gonçalves, André Luis Duarte Goneli, Jorge Wilson Cortez.

Agradecimento aos Professores Roberto Carlos Orlando e Leidy Zulys Leyva Rafull, pelas orientações e sugestões para a defesa desta dissertação.

A Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, principalmente aos Professores Margareth Batistote, Laércio Alves de Carvalho e Rogério Ferreira da Silva, pelas valiosas orientações sobre como preparar e conduzir uma disciplina durante o semestre letivo como docente, no caso como Professor Substituto no curso Tecnologia de Produção Industrial Sucroalcooleira, sendo esta a fonte propulsora para eu buscar qualificação através do Mestrado.

À CAPES, pelo auxílio financeiro.

Aos funcionários da Secretária da Pós-Graduação da FCA.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cana-de-açúcar	3
2.2. Variedades de Cana-de-açúcar	4
2.3. Atributos das Variedades em Cana-de-açúcar.....	7
2.4. Ambiente de Produção.....	9
2.4.1. Textura e Água	9
2.4.2. Fertilidade.....	10
2.4.3. Profundidade.....	10
2.5. Ambientes de Produção de Cana-de-açúcar	11
2.6. Épocas de Plantio de Cana-de-açúcar.....	13
2.6.1. Cana Planta de Ano e Meio	15
2.6.2. Cana Planta de Ano	16
2.6.3. Cana Planta de Inverno.....	16
2.7. Processo Agrícola da Cana-de-açúcar	16
2.8. Qualidade da Matéria-prima da Cana-de-açúcar	19
2.9. Índice de Maturação e Período Útil de Industrialização.....	20
2.10. Pesquisa Operacional	21
2.10.1. Pós-Otimização e Análise de Sensibilidade.....	23
2.10.2. Custo Reduzido (Reduced Cost).....	24
2.10.3. Preço Sombra	24
2.11. Otimização em Sistemas de Plantio, Colheita e Transporte de Cana.....	24
2.12. Logística CTT – Corte, Transbordo e Transporte	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1. Estudo de Caso	29

3.1.1. Caracterização da Empresa.....	29
3.1.2. Dados de Gerenciamento Agrícola.....	29
3.1.3. Análise de Transporte.....	30
3.1.4. Dados de Variedades de Cana-de-açúcar	31
3.1.5. Épocas de Plantio e Colheita	34
3.2. Modelagem Matemática	36
3.2.1. Função Objetivo	37
3.2.2. Parâmetros	38
3.2.3. Conjuntos.....	39
3.2.4. Variáveis de Decisão	39
3.2.5. Restrições Tecnológicas	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1. Otimização.....	44
4.2. Resultados de Plantio.....	44
4.3. Resultados de Colheita	47
4.4. Planejamento Tático do Plantio e Colheita.....	48
4.5. Análise de Sensibilidade Aplicada à Colheita	49
5. CONCLUSÃO.....	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
7. APÊNDICE.....	58
7.1. Apêndice A	59
7.2. Apêndice B	65
7.3. Apêndice C	70

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Espécies de cana-de-açúcar	3
QUADRO 2. Programas de melhoramento genético da cana	4
QUADRO 3. Variedades plantadas no MS, ano de 2015.....	6
QUADRO 4. Variedades cultivadas no MS, no ano de 2015.....	7
QUADRO 5. Características desejáveis em variedades de cana-de-açúcar ..	8
QUADRO 6. Limites do teor de argila na escala textural	9
QUADRO 7. Critérios de classificação dos ambientes de produção agrícolas	12
QUADRO 8. Época de plantio x tempo de maturação.....	14
QUADRO 9. Épocas de plantio e terminologia adotada	14
QUADRO 10. Épocas de colheita x épocas de plantio x maturação.....	15
QUADRO 11. Índice de maturação da cana-de-açúcar.....	20
QUADRO 12. Áreas agrícolas, distâncias ao centro industrial e ambientes de produção	30
QUADRO 13. Variedades de cana-de-açúcar e recomendação de ambientes de produção.....	32
QUADRO 14. Variedade de cana-de-açúcar, tipo de maturação e Pol da cana (%)	33
QUADRO 15. Épocas de plantio e de colheita - estudo de caso.....	34
QUADRO 16. Capacidade de plantio.....	35
QUADRO 17. Área mínima e máxima de colheita após plantio.....	36
QUADRO 18. Definição dos Parâmetros.....	38
QUADRO 19. Itens dos conjuntos do modelo	39
QUADRO 20. Variáveis de decisão	39
QUADRO 21. Margem de contribuição por hectare (R\$ ha ⁻¹).....	45
QUADRO 22. Área de plantio de cana por ano safra.....	45
QUADRO 23. Quantia de plantio por áreas e ano.....	45
QUADRO 24. Distribuição (%) de variedades do sistema de produção otimizado visando o plantio por ano.....	47
QUADRO 25. Estabilização da área de colheita (ha) ao longo do tempo...	48
QUADRO 26. Composição (%) de custo reduzido de atividades de colheita relacionadas com variedades de cana no sistema otimizado	49

QUADRO 27. Distribuição (%) mensal do custo reduzido de atividades de colheita relacionadas com variedades de cana no sistema otimizado.....	49
QUADRO 28. Quantia de plantio por área e mês, no ano 1.....	59
QUADRO 29. Quantia de plantio por área e mês, no ano 2.....	60
QUADRO 30. Quantia de plantio por área e mês, no ano 3.....	61
QUADRO 31. Quantia de plantio por área e mês, no ano 4.....	62
QUADRO 32. Quantia de plantio por área e mês, no ano 5.....	63
QUADRO 33. Quantia de plantio por área e mês, no ano 6.....	64
QUADRO 34. Planejamento Tático de Plantio e Colheita.....	65
QUADRO 35. Custo reduzido da colheita	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Variedades plantadas no MS, ano de 2015.....	5
FIGURA 2. Variedades cultivadas no MS, no ano de 2015.....	6
FIGURA 3. Trinômio da produção vegetal.....	8
FIGURA 4. Componentes do ambiente de produção.....	9
FIGURA 5. Análise de nova variedade.....	11
FIGURA 6. Curvas de maturação de cana-de-açúcar.....	21

RESUMO

SCHAFFER, Gerson, Me., Universidade Federal da Grande Dourados, abril de 2016. **Modelagem matemática para alocação de variedades, épocas de plantio e colheita de cana-de-açúcar.** Orientador: Cristiano Marcio Alves de Souza. Coorientador: Jorge Wilson Cortez.

O planejamento de colheita na cultura da cana-de-açúcar busca otimizar o retorno econômico com base no conceito de que nessa cultura, em determinada época do ano, ocorre a máxima concentração de sacarose nos colmos, sendo considerado este momento o ideal para a realização do processo de colheita, ao menor custo possível. O trabalho teve como objetivo implementar um modelo matemático teórico-empírico, cuja representação pudesse auxiliar os tomadores de decisão em questões relativas ao planejamento de plantio nas áreas agrícolas, bem como indicar quais variedades deveriam ser selecionadas a fim de se maximizar, no ponto de colheita, o potencial produtivo de açúcar da cana. A modelagem matemática é a “arte” de representar um processo e/ou sistema, seja este agrícola, manufatureiro, logístico, financeiro ou de serviços na forma mais fidedigna com a realidade. O modelo matemático foi implementado por meio da utilização de programação linear multicritério, cuja representação matemática obteve-se através de 1.134.090 variáveis e 497.291 restrições, utilizando-se o programa GUSEK. A aplicação do modelo ocorreu em uma usina sucroenergética com 22.081,61 ha de área, divididos em 40 áreas agrícolas. Os resultados pós-otimização demonstram o desmembramento das 40 áreas agrícolas em 179 talhões, e a estabilização de colheita a partir do sexto ano, em 18.399,0 hectares. Das 26 variedades de cana-de-açúcar disponíveis para plantio, o modelo selecionou 9 variedades para a alocação nos diferentes talhões. A análise dos resultados demonstra a complexidade do gerenciamento agrícola, uma vez que este é responsável pelo fornecimento de matéria-prima para a unidade agroindustrial, para que não ocorram rupturas no processamento industrial. O modelo atende os objetivos propostos a serem utilizados no momento de implementação de uma usina sucroenergética, por meio da otimização de toneladas de açúcares por hectare (TAH).

Palavras-Chave: Sistemas agroindustriais. Programação linear. Otimização.

ABSTRACT

SCHAFFER, Gerson, M.S., **Mathematical modeling for selection of varieties and allocation of area for planting and harvesting of sugarcane.** Federal University of Grande Dourados, abril de 2016. Adviser: Cristiano Marcio Alves de Souza. Committee Members: Jorge Wilson Cortez.

Harvest planning in the culture of sugarcane seeks to optimize the economic return based on the concept that in this culture, at a certain time of year, is the maximum concentration of sucrose in the stalks, being considered this time the ideal for the harvesting process at the lowest possible cost. The study aimed to implement a theoretical and empirical mathematical model, whose representation could help decision makers in matters related to plant planning in agricultural areas as well as indicate which varieties should be selected in order to maximize, at the point of harvest the productive potential of sugar cane. Mathematical modeling is the "art" to represent a process and/or system, whether agricultural, manufacturing, logistics, financial or services in the most reliable way to reality. The mathematical model is implemented through the use of multiple criteria linear programming, whose mathematical representation is obtained through restrictions 497,291 and 1,134,090 variables, using the GUSEK program. The application of the model occurred in a sugarcane plant with 22,081.61 ha area, divided into 40 agricultural areas. Post-optimization results show the breakdown of 40 agricultural areas in 179 plots, and the stabilization of harvest from the sixth year, 18,399.0 hectares. Of the 26 varieties of sugarcane available for planting, the model selected 9 varieties for the allocation of the various plots. The analysis shows the complexity of farm management, since it is responsible for providing raw materials for agro-industrial unit, to prevent any disruptions in industrial processing. The model meets the objectives proposed to be used at the time of implementation one sugarcane plant by optimizing tons of sugar per hectare (TAH).

Keywords: Agribusiness systems. Linear programming. Optimization.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se na produção de cana-de-açúcar e de acordo com dados da Conab (2015), há previsão de aumento de 3,8% na safra 2015/16 em relação à safra 2014/15. A produção de cana-de-açúcar na safra 2014/15 foi de 634.767 mil toneladas, com uma produtividade de 70.495 Mg ha⁻¹; a previsão para a safra 2015/16 é a de uma produção de 658.701,8 mil toneladas com uma produtividade de 73.225 Mg ha⁻¹.

Além disso, o setor sucroenergético tem uma importância no contexto da matriz energética, considerando a contextualização mundial, quando os principais países discutem meios e alternativas para a redução de emissão dos gases de efeito estufa. Isto se deve ao fato de que através do etanol e da cogeração para produção de energia, estes combustíveis são obtidos de fontes renováveis, diferentemente dos combustíveis provenientes do petróleo e derivados, os quais vêm fontes não-renováveis.

De acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional, a composição das fontes renováveis na matriz energética nacional, no ano de 2014, foi de 39,4%, sendo que a maior composição deste percentual foi obtida por meio do uso da biomassa de cana-de-açúcar, seguida da energia proveniente de meio hidráulico, com os percentuais de 15,7 e 11,5%, respectivamente. Os demais países do mundo e o grupo de países pertencentes a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), utilizam fontes renováveis na sua matriz energética, na proporção de 13,2 e 8,6% (BRASIL, 2015).

O planejamento de colheita na cultura da cana-de-açúcar busca otimizar o retorno econômico da cultura, baseado no conceito de que nessa cultura, em determinada época do ano, ocorre a máxima concentração de sacarose nos colmos, sendo considerado este momento o ideal para a realização do processo de colheita. A finalidade primordial da agroindústria sucroenergética é a recuperação da sacarose da cana-de-açúcar a um menor custo possível. Para se atingir este objetivo, depende-se diretamente da produtividade, da qualidade tecnológica da matéria-prima a ser processada, assim como das características e da eficiência da unidade industrial.

A unidade agroindustrial necessita de uma “cana fresca”, ou seja, logo após a colheita da cana-de-açúcar esta deve ser transportada e moída, a fim de que não ocorram perdas de açúcares devido à inversão de sacarose. Entretanto, há que se avaliar os custos envolvidos neste tipo de operação de transporte, bem como avaliar as rotas percorridas das diferentes frentes de corte até a usina (MILAN et al., 2006).

Com a determinação e a análise dos custos de produção agroindustrial de cana-de-açúcar, tanto no processo agrícola quanto no processo industrial, pode-se estabelecer, de forma percentual, a participação de cada um dos segmentos na composição dos custos de produção. De acordo com o relatório de custos agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008 (MARQUES, 2009), o custo agrícola é responsável por praticamente 60% do custo total de uma agroindústria de cana-de-açúcar. Em vista de a maior representatividade dos custos de produção estar envolvida com a área agrícola, a análise dessa etapa do processo de produção foi a temática da proposta deste trabalho.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo o de desenvolver um modelo matemático teórico-empírico, cuja representação pudesse auxiliar os tomadores de decisão em questões relativas ao planejamento de plantio nas áreas agrícolas, bem como indicar quais variedades deveriam ser selecionadas, a fim de se maximizar, no ponto de colheita, o potencial produtivo de açúcar da cana. A implementação do modelo envolve questões referentes ao transporte de cana-de-açúcar, considerando-se os diferentes pontos de suprimento de matéria-prima até a unidade agroindustrial, e à capacidade de plantio e colheita de cana-de-açúcar. As decisões geradas são para o momento inicial de implementação de uma usina sucroenergética e terão reflexo sobre todo o ciclo produtivo da cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, que abrange várias espécies, porém as variedades cultivadas atualmente são, na sua maioria, do tipo híbridas. É uma planta perene e própria para climas tropicais e subtropicais, indicada para latitudes entre 35°N e 30°S, e altitudes até 1.000 m (DINARDO-MIRANDA et al., 2010).

A origem mais provável da planta de cana-de-açúcar é atribuída às ilhas do Arquipélago da Polinésia, a Nova Guiné e a Índia, sendo que há seis espécies do gênero *Saccharum*, como listadas no Quadro 1.

QUADRO 1. Espécies de cana-de-açúcar

	<i>Saccharum officinarum</i>
	<i>Saccharum barberi</i>
	<i>Saccharum robustum</i>
Espécies	<i>Saccharum spontaneum</i>
	<i>Saccharum sinensis</i>
	<i>Saccharum edule</i>

Fonte: Adaptado de DINARDO-MIRANDA et al. (2010).

A planta cana-de-açúcar pode ser dividida em duas partes: uma parte aérea, composta pelos colmos, folhas e inflorescência; uma parte subterrânea, composta pelas raízes (DINARDO-MIRANDA et al., 2010; ORPLANA, 2014).

O colmo – constituinte mais importante do ponto de vista agroindustrial – tem a forma cilíndrica e é composto por nós e entrenós que podem ser definidos como a porção acima do solo que sustenta as folhas e a inflorescência. Vários fatores afetam o crescimento dos colmos, por exemplo, a água, a nutrição, a temperatura, a luz e área foliar.

As folhas são responsáveis pela interação da planta com a atmosfera, trocando gases e vapor d'água. É através das folhas que ocorre o processo de fotossíntese, no qual o carbono atmosférico é capturado e através da radiação solar é transformado em energia química.

O florescimento da cana-de-açúcar é indesejável para o manejo, devido ao consumo de energia com perdas no teor de sacarose e às alterações na qualidade da matéria-prima industrial, mas é importante para os programas de melhoramento. A

inflorescência pode ser induzida ou inibida por meio da variação das épocas de plantio e corte, da localização das áreas de cultivo, do uso de maturadores ou de inibidores de florescimento, etc.

A parte subterrânea é composta pelo sistema radicular da planta que tem função de sustentação, de absorção de água e nutrientes, de manutenção de reservas e defesa. A eficiência dessas funções depende de diversos mecanismos fisiológicos e tem influência direta sobre alguns atributos vegetais, como tolerância à seca, capacidade de brotação e perfilhamento, porte da planta, tolerância ao tráfego de máquinas, eficiência na absorção de água e nutrientes, tolerância ao ataque de pragas e de pragas de solo.

2.2. Variedades de Cana-de-açúcar

No Brasil, especificamente no que se refere à cultura da cana-de-açúcar, há instituições especializadas na pesquisa e no desenvolvimento de novas variedades de cana, a fim de auxiliar as empresas agroindustriais sucroenergéticas a aumentar o respectivo desempenho de produtividade da cana-de-açúcar. Os principais centros de pesquisa para o melhoramento de cana-de-açúcar são listados no Quadro 2.

QUADRO 2. Programas de melhoramento genético da cana

Programa de Melhoramento	Sigla
Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro	RB
Instituto Agrônomo de Campinas	IAC
Centro de Tecnologia Canavieiro	CTC
São Paulo (Copersucar)	SP
CanaVialis (Monsanto)	CV

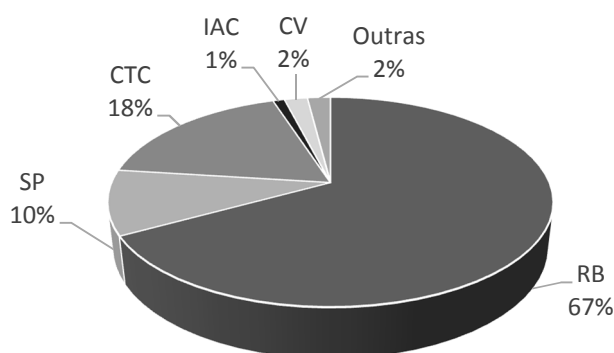
Os programas de melhoramento genético em cana-de-açúcar desempenham um papel fundamental no desenvolvimento do setor sucroalcooleiro brasileiro; contudo, têm enfrentado muitos desafios para desenvolver variedades que se adequem às necessidades geradas pelas condições expostas anteriormente. Uma variedade colocada no mercado hoje deve ser mais produtiva, mais resistente à seca, deve responder com produção apropriada em solos menos férteis, adaptar-se ao plantio e a colheita mecanizados, que possuam alto grau de perfilhamento, entre outros aspectos. Na busca por responder a tais exigências, os programas de melhoramento

têm intensificado seus esforços tecnológicos no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar.

O aumento da produtividade, no setor sucroenergético é obtido com a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar e com manejo correto da cultura, buscando a época de colheita em que a produtividade agroindustrial se encontra maximizada (RESENDE, 2000). A pesquisa varietal tem contribuído para ganhos de produtividade ao longo do ciclo produtivo da cana, como também para ampliar o ciclo, que no passado recente, era composto por uma média de três cortes e, agora, saltou para cinco cortes (BORBA e BAZZO, 2009).

A escolha por determinada variedade de cana-de-açúcar é um fator que pode incrementar a produção agroindustrial sem que ocorram aumentos significativos nos custos de produção, visto que o objetivo é que essa variedade proporcione o máximo retorno em açúcares. A unidade de medida utilizada na agroindústria sucroenergética é a dos açúcares totais recuperáveis (ATR). De acordo com Fernandes (2003) e Scarpari et al. (2007), o ATR constitui um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana-de-açúcar pelo teor de sacarose (PCTS), sendo considerado um percentual permissível atribuído às perdas industriais.

Na Figura 1 segue a distribuição percentual das variedades plantadas no estado do MS, totalizando em 100% da área disponível para plantio, o que perfaz 69.246 ha, no ano de 2015. De acordo com o censo varietal divulgado pela Ridesa (2015), seguem nos Quadros 3 e 4 as variedades mais plantadas e cultivadas no estado do Mato Grosso do Sul, no ano de 2015.



Fonte: Ridesa (2015).

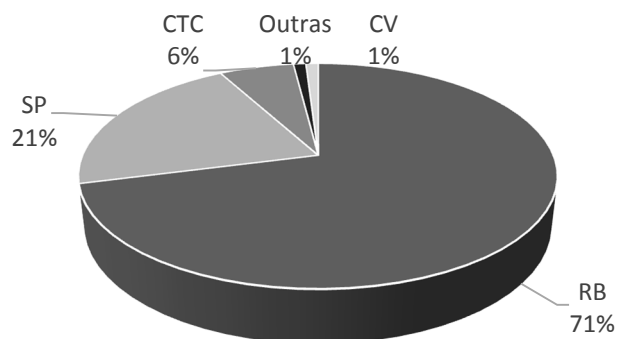
FIGURA 1. Variedades plantadas no MS, ano de 2015.

QUADRO 3. Variedades plantadas no MS, ano de 2015

Posição	Variedade	Área (ha)	%
1	RB867515	13.012,0	18,8
2	RB855156	8.621,5	12,5
3	RB966928	8.326,9	12,0
4	CTC4	5.197,4	7,5
5	RB855453	4.009,3	5,8
6	RB835054	3.361,5	4,9
7	SP801842	3.359,3	4,9
8	RB855536	2.983,6	4,3
9	RB92579	1.829,2	2,6
10	RB965902	1.805,2	2,6
11	SP832847	1.753,5	2,5
12	SP835073	1.534,1	2,2
13	CTC6	1.211,2	1,7
14	CTC15	1.018,9	1,5
15	RB975201	875,7	1,3
16	CTC11	818,8	1,2
17	CTC2	757,2	1,1
18	CTC17	645,6	0,9
19	CTC9	600,0	0,9
20	CV6654	581,8	0,8
	Outras	6.943,7	10,0
	Total	69.246	100

Fonte: Ridesa (2015).

Na Figura 2 segue a distribuição percentual das variedades cultivadas no estado do MS, totalizando em 100% da área disponível para plantio, o que perfaz 701.201 ha, no ano de 2015.



Fonte: Ridesa (2015).

FIGURA 2. Variedades cultivadas no MS, no ano de 2015.

QUADRO 4. Variedades cultivadas no MS, no ano de 2015

Posição	Variedade	Área (ha)	%
1	RB867515	210.717,5	30,1
2	SP813250	69.908,6	10,0
3	RB855156	51.149,1	7,3
4	RB855536	48.575,3	6,9
5	RB835054	47.731,9	6,8
6	RB835453	44.091,7	6,3
7	RB966928	39.008,8	5,6
8	SP832847	28.995,7	4,1
9	SP801842	22.783,5	3,2
10	CTC4	13.272,1	1,9
11	RB855113	9.869,9	1,4
12	CTC6	9.787,7	1,4
13	SP803280	9.265,3	1,3
14	SP835073	8.350,9	1,2
15	RB92579	8.195,2	1,2
16	RB965902	7.422,5	1,1
17	CTC9	7.130,7	1,0
18	RB835486	5.601,9	0,8
19	RB72454	4.679,3	0,7
20	RB935744	4.006,4	0,6
	Outras	50.657,0	7,2
	Total	701.201	100%

Fonte: Ridesa (2015).

2.3. Atributos das Variedades em Cana-de-açúcar

Para permitir um manejo varietal direcionado é de importância vital possuir adequado conhecimento acerca do comportamento agrícola e tecnológico das variedades comerciais exploradas. O uso de banco de dados possibilita o armazenamento estável de vários indicadores que permitem conhecer com precisão e agilidade as complexas interações entre os diversos fatores responsáveis pela maturação da cana-de-açúcar: variedade, solo, clima, nível de adubação, época de corte, manejo, estado de sanidade da cultura, etc. (SILVA e BERGAMASCO, 2001).

As variedades de cana-de-açúcar possuem características próprias e algumas são únicas. Para a produção em lavouras comerciais, necessita-se da análise dos ambientes de produção disponíveis para o cultivo. Um dos principais objetivos na análise e, conseqüentemente, na escolha de uma determinada variedade para a inserção no plantio é o de que essa traga o melhor retorno, tanto no aspecto financeiro quanto no aspecto das características agrícolas para a sua industrialização. De acordo com

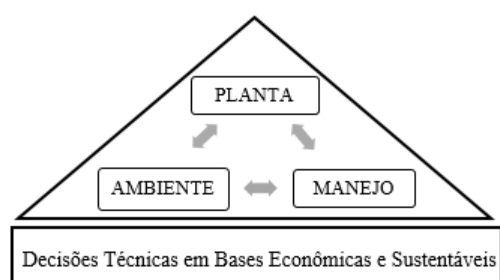
Calvacante e Prado (2010), os componentes dos ambientes de produção são representados pela profundidade (que tem relação direta com a disponibilidade de água e com o volume de solo explorado pelas raízes), pela fertilidade (como fonte de nutrientes para as plantas), pela textura (que está relacionada com os níveis de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e com a disponibilidade hídrica), e pela água como parte da solução do solo, vital para a sobrevivência das plantas.

Para a efetiva produção vegetal de cana-de-açúcar, são listadas no Quadro 5, as características desejáveis, faz-se necessário analisar o trinômio da produção agrícola e vegetal relacionado à cana-de-açúcar, o qual está representado na Figura 3 (CÂMARA, 2014).

QUADRO 5. Características desejáveis em variedades de cana-de-açúcar

Alto TCH	Alto TPH
Resistência à Doenças	Porte Ereta
Boa Brotação Soqueira-Palha	Maturação Precoce/Média
Resistência à Pragas	Não florescer
Não Isoporizar	Tolerâncias a Herbicidas

Para se atingir as características desejáveis em uma determinada variedade de cana-de-açúcar, devem-se considerar o ambiente de produção no qual há disponibilidade para a realização do plantio, os manejos que se fazem necessários para a variedade, bem como a disponibilidade de recursos (equipamentos, mão-de-obra, etc.) para a correta realização do manejo agrícola. O terceiro fator a ser considerado é o relativo à escolha da variedade mais próxima, conforme os fatores anteriormente apresentados, a fim de que se possa atingir o máximo potencial da variedade.



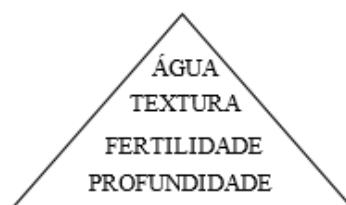
Fonte: (CÂMARA, 2014; BOLONHEZI, 2013).

FIGURA 3. Trinômio da produção vegetal.

2.4. Ambiente de Produção

A classificação dos ambientes de produção permite conhecer as produtividades potenciais, e os incrementos obtidos pelo correto manejo de solos e varietal, explorando-se o melhor potencial genético da planta e sua correta alocação. Conseqüentemente, os custos operacionais são reduzidos, e a longevidade do canavial aumentada, a partir da seleção dos solos mais favoráveis (PRADO, 2008 apud CAVALCANTE e PRADO, 2010).

Os componentes do ambiente de produção (Figura 5) são representados pela profundidade, a qual tem direta relação com a disponibilidade de água e com o volume de solo explorado pelas raízes; pela fertilidade, como fonte de nutrientes para as plantas; pela textura, relacionada com níveis de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e com a disponibilidade hídrica; e pela água, como parte da solução do solo, que é vital para a sobrevivência das plantas (PRADO, 2005).



Fonte: (PRADO, 2005).

FIGURA 4. Componentes do ambiente de produção.

2.4.1. Textura e Água

A textura do solo se refere à porcentual de argila, silte, areia fina e areia grossa na terra fina seca ao ar. Dependendo do teor de argila, a textura pode ser arenosa, média, argilosa ou muito argilosa (Quadro 6). No teste de campo avaliam-se a argila no solo molhado pela sua pegajosidade, o silte pela sua sedosidade, e a areia pela sua aspereza (PRADO, 2005; DINARDO-MIRANDA et al., 2010). Solos com teores muito altos de silte dificultam a infiltração de água em profundidade; e, como consequência da reduzida infiltração de água, ocorre erosão no sulco.

QUADRO 6. Limites do teor de argila na escala textural

Textura	% de Argila
Arenosa	De 0 a 15 % de argila
Média	Entre 15 a 35% de argila (média de 25%)
Argilosa	Entre 35 a 60% de argila
Muito Argilosa	Entre 60 a 100% de argila

Fonte: Adaptado (PRADO, 2005).

2.4.2. Fertilidade

Segundo Landell et al. (2003) apud Prado (2005) e Dinardo-Miranda et al. (2010), a condição química do horizonte subsuperficial é determinante da produtividade da cana-de-açúcar, ampliando-se essa correlação com a produtividade (TCH) com o avançar dos cortes. Estes autores verificam, que a produtividade nas soqueiras decresceu significativamente na seguinte ordem: eutrófico > mesotrófico > distrófico > ácrico.

2.4.3. Profundidade

A profundidade abaixo da camada arável é muito variável, pois os solos podem ser profundos, pouco profundos, moderadamente profundos, rasos ou até muito rasos.

Os solos da região Centro-Sul do Brasil, em sua grande maioria, são representados pelos Latossolos e Argissolos, seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos, Nitossolos e Cambissolos.

As profundidades ideais para o desenvolvimento radicular são encontradas nos solos muito profundos (Latossolos e Neossolos Quartzarênicos), profundos (a maioria dos Nitossolos) e moderadamente profundos (a maioria dos Cambissolos) (PRADO, 2005).

Nesse sentido, uma variedade de cana-de-açúcar é caracterizada em relação ao ambiente produtivo no qual está inserida. Em vista disso, os centros de pesquisa em melhoramento genético em cana-de-açúcar, realizam a observação quanto ao comportamento dos genótipos diante das variações ambientais, as quais podem ser quantificadas através da interação genótipo *versus* ambiente produtivo.

De acordo com Câmara (2014) e Bolonhezi (2013), as características desejáveis que uma determinada variedade deve possuir, são elevados níveis de produtividade agrícola, como toneladas de cana por hectare (TCH) e açúcares totais recuperáveis (ATR), e, conseqüentemente, através da multiplicação destes dois índices (TCH x ATR), obtém-se toneladas de açúcares por hectare (TAH). Portanto, a produtividade agrícola depende da variabilidade da variedade de cana somada à variabilidade do ambiente de produção no qual a cana está inserida, somada à variabilidade da interação da respectiva variedade com os ambientes de produção, conforme representado na Figura 5.

No Quadro 7 seguem os critérios dos ambientes de produção de cana, incluindo os aspectos físico-hídricos, químicos e morfológicos dos solos. Os dados de produtividade foram obtidos de observações pedológicas feitas pelo Instituto Agrônomo de Campinas. As produtividades apresentadas referem-se a 5 cortes (TCH₅), sem influência da aplicação de vinhaça (PRADO, 2005).

QUADRO 7. Critérios de classificação dos ambientes de produção agrícolas

Amb.	TCH ₅ (Mg ha ⁻¹)	Solos
A1	> 100	ADA; e, ef, m, mf; CTC média/alta: Argilossolos, Latossolos, Nitossolos, Chernossolos, Cambissolos, Gleissolos
A2	96-100	ADM; e, ef; CTC média/alta: Argilossolos, Latossolos, Nitossolos, Cambissolos, Gleissolos
B1	92-96	ADA; mf, m; CTC média/alta: Argilossolos, Latossolos, Cambissolos. ADM; ma*; CTC média/alta: Argilossolos. ADM; e; m; CTC baixa: Argilossolos. ADB; ef; e; CTC média/alta: Argilossolos, Latossolos, Cambissolos
B2	88-92	ADM; m; mf; d; CTC média/baixa: Argilossolos, Latossolos, Cambissolos. ADB; e; m; CTC baixo: Argilossolos. ADA; a; CTC alta: Gleissolos
C1	84-88	ADM; d; CTC média/baixa: Argilossolos. ADM; ma*; CTC média/alta: Latossolos. ADM; e; CTC média/alta: Cambissolos, ADB; ef; CTC alta: Nitossolos. ADB; e, m; CTC média/baixa: Argilossolos. ADB; df, d; CTC média/alta: Latossolos
C2	80-84	ADM; a*, d; CTC média/alta: Argilossolos. ADM; d, a; CTC média/alta: Cambissolos. ADB; d; CTC baixa: Latossolos. ADB; d; CTC média/baixa: Argilossolos. ADM; ef; e; mf; m; CTC média/alta: Latossolos
D1	76-80	ADM; a, ma; CTC média/baixa: Argilossolos. ADM; d, a; CTC média/alta: Cambissolos. ADB; wf; w; CTC média/alta: Latossolos. ADB; d; CTC média/baixa: Argilossolos. ADM; e; m; CTC média: Latossolos
D2	72-76	ADM; a, ma; CTC média/baixa: Argilossolos. ADB; ma; CTC baixa: Latossolos. ADM; e; m; CTC baixa; A chermozênico: Neossolos Litólico. ADB; d; CTC baixa: Argilossolos. ADM; e; m; CTC baixa: Latossolos. ADM; d; CTC média: Cambissolos
E1	68-72	ADB; a, ma; CTC média/baixa: Argilossolos. ADB; e; m; CTC baixa: Argilossolos. ADB; e; m; CTC média/alta: Plintossolos Háplico. ADM; d; ma; wf; w; CTC média/alta: Latossolos. ADM; ma; CTC média/alta: Argilossolos
E2	<68	ADEB; e; m; d; ma; a; aa; CTC baixa/média/alta: Argilossolos, Latossolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólico A moderado, Plintossolos Petrico

Fonte: Prado (2005). 1. Água Disponível: ADA: água disponível alta, ADM: água disponível média, ADB: água disponível baixa, ADMB: água disponível muito baixa, ADEB: água disponível muito baixa; *, a cor com mosqueamento aumenta a disponibilidade hídrica. 2. Química Abaixo da camada arável: ef: eutroférico; e: eutrófico, mf: mesotroférico, m: mesotrófico, df: distroférico, d: distrófico, wf: acriférico, w: ácrico; ma: mesoálico, a: álico, aa: alimínico. 3. CTC do solo na camada arável: alta, maior que 8 cmolc.kg⁻¹; média, 4 a 8 cmolc.kg⁻¹; baixa, menor que 4 cmolc.kg⁻¹.

2.6. Épocas de Plantio de Cana-de-açúcar

De acordo com McDonald e Lisson (2001), a produtividade anual da cana-de-açúcar e a produtividade do ciclo de colheita da cana-de-açúcar são afetadas pela época do plantio e pela época da colheita para rebrota da cana-soca. Segundo os autores, um meio de aumentar a competitividade da indústria açucareira é através da duração da safra, da otimização do início e do fim de safra, a fim de que se possa extrair o máximo potencial de sacarose contido na cana-de-açúcar, nos períodos de maior concentração de Pol da cana. Entretanto, para que isso ocorra, é necessário que a indústria possua capacidade de moagem para estes períodos de elevação da colheita da cana-de-açúcar.

O melhoramento genético dos cultivares, a eficiência no uso de fertilizantes, a irrigação e a otimização da relação entre o plantio e a colheita, são possibilidades reais de aumentar a produtividade da cultura (ISLER et al., 2014).

Para atender às demandas e obter altas produtividades, é necessário um planejamento adequado do ciclo da cultura. Esse ciclo vai do preparo do solo até a entrega da cana na usina. As duas etapas de maior importância desse ciclo são o plantio e a colheita.

De acordo com Florentino et al. (2013), um plantio de boa qualidade tem influência direta não somente nos fatores que determinarão se a cultura terá uma boa produtividade após a colheita, mas também na redução dos custos de produção da cultura. A importância das operações iniciais exige bom planejamento e muito conhecimento técnico. Desse modo há que se notar que as tomadas de decisões nessa fase vão influenciar todo o ciclo da cultura e que o processo de plantio destaca-se pelos elevados custos envolvidos.

A cana-de-açúcar, na região Centro-Sul do Brasil, pode ser plantada durante todo o ano, porém há algumas restrições que se referem à disponibilidade hídrica e às características da variedade quanto à maturação e ao ciclo fenológico (SANTOS e BORÉM, 2016).

O planejamento das atividades envolvidas com a cultura da cana-de-açúcar, deste o plantio até a sua colheita, é uma etapa extremamente importante na sua exploração econômica. Deve-se objetivar a análise dos componentes de produção e dos envolvidos com os custos de implantação. Esta análise deverá nortear a eleição de uma série de técnicas a serem adotadas, tais como: insumos, máquinas e implementos, serviços, variedades a serem escolhidas, distribuição destas nos tipos de solos a serem

explorados, épocas de plantio, finalizando-se com a elaboração do próprio cronograma físico-financeiro (VITTI e MAZZA, 2002).

Como consequência para a realização de uma distribuição ótima de variedades entre as áreas agrícolas, deve-se observar as recomendações agronômicas estabelecidas para as diferentes variedades, segundo os programas de melhoramento, respeitando-se as condições dos ambientes disponíveis para o plantio, o cultivo e a colheita.

As épocas de plantio de cana-de-açúcar podem ser separadas em três categorias de sistema de plantio – cana planta de ano e meio, cana planta de ano e cana planta de inverno (VITTI e MAZZA, 2002; CÂMARA, 2014). No Quadro 8 apresentam-se os tempos necessários para cada tipo de plantio até o período de crescimento da cana planta.

QUADRO 8. Época de plantio x tempo de maturação

Época de plantio	Meses para crescimento
Cana de Ano e Meio	13 a 20 meses
Cano de Ano	9 a 14 meses
Cana de Inverno	12 a 14 meses
Cana Soca	12 meses

Fonte: Câmara (2014).

Cada uma destas três categorias podem ser vinculadas ao calendário de ano oficial. No Quadro 9 verifica-se, através do calendário de ano oficial, a correspondente categoria de plantio em função da respectiva época de plantio.

QUADRO 9. Épocas de plantio e terminologia adotada

Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Tipo	Cana de Ano e Meio				Cana de Inverno			Cano de Ano				

Fonte: Vizzi e Mazza (2002).

De acordo com Gheller (2005), o maior objetivo, quando se trata a respeito de plantio e de renovação de áreas agrícolas, é saber qual a variedade ou quais as variedades que podem ser plantadas, tendo-se em vista menor risco, maior rendimento agrícola e maior teor de sacarose, lembrando que o fornecedor ou a empresa tem que produzir quantidade de ATR por hectare, e não apenas toneladas de cana ou ATR por tonelada de cana.

A colheita na área de plantio selecionada pela variedade plantada, uma vez que cada tipo de varietal possui características agronômicas próprias, uma delas refere-se ao processo de maturação da planta. A cana-de-açúcar pode ser classificada quanto ao período de maturação da cana: precoce, média e tardia. No Quadro 10 pode ser observado um cronograma de colheita em função das épocas de plantio atribuídas às respectivas maturações.

Diversos fatores podem interferir na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, o que, no final, representa a integração das diferentes condições a que a cultura ficou sujeita. A cada ciclo de desenvolvimento, a cultura é submetida a diferentes condições ambientais e a manejos empregados. Isso está relacionado à época de plantio, à variedade, à época e tipo de colheita e ao estágio de desenvolvimento da cultura. Em consequência destas e de outras causas de variação ao longo do ciclo, surge a necessidade de previsão das respostas da cultura a diferentes estímulos (MARCHIORI, 2004 apud SILVA et al., 2008).

QUADRO 10. Épocas de plantio x épocas de colheita x maturação

I. Cana de Ano e Meio												
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Colheita				Precoce			Média			Tardia		

II. Cana de Inverno													
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Colheita					Precoce			Média			Tardia		

III. Cana de Ano												
Meses	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Colheita										Tardia		

Fonte: Vizzi e Mazza (2002).

2.6.1. Cana Planta de Ano e Meio

O plantio ocorre predominantemente entre os meses de janeiro e meio do mês de maio, e a respectiva colheita é realizada entre 13 a 20 meses após o plantio, onde há um período maior de estado de vegetação. Devido ao longo período de vegetação, não se tem produção durante uma safra.

Para o plantio da cana de ano e meio, o calor e o final das épocas de chuvas garantem bom desenvolvimento inicial; e em seguida, a cana passa por estado de vegetação (ISLER, 2014; VIZZI e MAZZA, 2002; SANTOS e BORÉM, 2016).

2.6.2. Cana Planta de Ano

Com o plantio ocorrendo entre os meses de setembro a novembro, a colheita pode ser realizada entre 9 a 14 meses após o plantio. Nesta época de plantio, tem-se uma faixa de temperatura alta e uma precipitação de forma regular, condições favoráveis para o estado vegetativo, o qual persiste durante mais ou menos sete meses. Com a redução da temperatura e da precipitação, a cana, no estágio seguinte, entra em fase de maturação podendo ser colhida (ISLER, 2014; VIZZI e MAZZA, 2002; SANTOS e BORÉM, 2016).

2.6.3. Cana Planta de Inverno

Na cana planta de inverno, o plantio ocorre entre os meses de maio a agosto, período em que as temperaturas são menores e em que há menor precipitação. Por esta última característica, o fator limitante para que se obtenha êxito no plantio de cana planta de inverno é a disponibilidade de irrigação com água ou resíduos.

Uma vantagem deste tipo de plantio é que o período de maturação ocorre entre 12 a 14 meses, podendo a área ser colhida já na safra seguinte, diferentemente do que ocorre com a cana de ano e meio (ISLER, 2014; VIZZI e MAZZA, 2002; SANTOS e BORÉM, 2016).

2.7. Processo Agrícola da Cana-de-açúcar

O processo agrícola envolve, efetivamente, três processos: (i) formação do canavial; (ii) tratos culturais; (iii) colheita.

No primeiro, o da formação do canavial (i), destacam-se o preparo do solo (i.1) e a sulcação, a adubação e o plantio (i.2). O preparo do solo (i.1) é a atividade precedente ao plantio, visando minimizar ou atenuar possíveis fatores químicos, biológicos e físicos, os quais possam de alguma maneira prejudicar o desenvolvimento do canavial. Nesse momento são realizadas operações de descompactação e padronização do solo (gradagem, homogeneização, terraplanagem, terraceamento, delimitação dos talhões), correção das características químicas do solo (calagem e

gessagem) e aplicação de herbicidas e fungicidas. Essas operações têm, como objetivo facilitar o crescimento radicular da cana-de-açúcar, obter condições ideais para o processo de colheita mecanizada, garantindo desempenho satisfatório durante 5 safras, em média, até que haja a renovação do canavial. Após o preparo do solo (i.1) são executadas as operações de sulcação, adubação e plantio (i.2), as quais são caracterizadas pela abertura de sulcos no solo, inserção de adubos para potencializar o crescimento radicular das gemas dos colmos de cana-de-açúcar e, por fim, a inserção dos colmos de cana-de-açúcar nos sulcos abertos. No plantio mecanizado, estima-se que o ideal seja o plantio de 12 a 16 gemas por metro linear, a fim de garantir a produtividade satisfatória da respectiva área.

No que se refere ao segundo processo, tratos culturais (ii), ele pode ser subdivididos em dois: tratos culturais da cana planta (ii.1) e tratos culturais da cana soca (ii.2).

Os tratos culturais na cana planta (ii.1) têm como objetivo a facilitação da colheita mecanizada por meio da preparação da superfície do terreno com o uso da escarificação para rebaixar a parte elevada das entrelinhas. Essa operação é realizada entre 45 a 60 dias após o plantio da cana planta, com o propósito de nivelar a superfície do terreno. Além disso, o equipamento utilizado possui a capacidade de, simultaneamente, estar realizando aplicações de inseticidas e de adubos, para o favorecimento do crescimento da cana planta.

Os tratos culturais da cana soca (ii.2) visam ao desenvolvimento dos canaviais, depois da colheita, para que possam ser preparados para mais uma estação de crescimento e produção da cana-de-açúcar. Essa preparação inclui um eventual ajuntamento da palha e movimentação ou não do solo nas entrelinhas da cana. Havendo ou não operação de movimentação do solo, é fundamental o fornecimento de fontes de nitrogênio e potássio na forma de NPK, ainda que os nutrientes com maiores respostas para as soqueiras sejam nitrogênio e potássio. Além da adubação, são necessários cuidados com a limpeza dos canaviais, que pode ser realizada por meio da aplicação de herbicidas e inseticidas para controle de pragas. A vinhaça, resíduo industrial do processo de destilação do etanol, é utilizada como fonte de nutrientes para a adubação das soqueiras.

Na colheita de cana-de-açúcar (iii), têm-se os processos de corte, transbordo e transporte da cana até a unidade de processamento agroindustrial. Esse

conjunto de processos é comumente tratado como sendo a etapa de Corte, Transbordo e Transporte (CTT) (PAIVA, 2009).

As operações de CTT envolvem equipamentos de custos elevados, tais como colhedoras de cana-de-açúcar, reboque de transbordo, tratores e caminhões. O planejamento para a utilização desses recursos de produção requer decisões que não se limitam apenas à sua quantificação. Outros aspectos também devem ser gerenciados para se racionalizar o uso de tais equipamentos, por exemplo, como a forma de operá-los, a localização das frentes de corte e transbordo, o momento em que será realizada a colheita de cana-de-açúcar. Isso tem em vista minimizar os custos agrícolas e para maximizar os ganhos potenciais de açúcares totais recuperáveis (ATR) provenientes da cana-de-açúcar. Esses aspectos, dentro outros, constituem variáveis aleatórias, tornando a alocação de recursos um problema complexo. O planejamento dessas operações deve ocorrer de modo coordenado e numa visão sistêmica, uma vez que a decisão sobre um quesito acarreta interferência direta em todo o sistema, dada a forte interação entre os recursos envolvidos (SILVA, 2006).

Na região Centro Sul, o período de safra de cana-de-açúcar ocorre entre os meses de abril a novembro, de forma ininterrupta. Uma unidade agroindustrial de processamento de cana-de-açúcar opera, durante o período da safra, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Ela se distingue por intermédio do processo contínuo. O processo contínuo caracteriza-se pela padronização do produto final, dos insumos e da matéria-prima de entrada no processo. Os equipamentos utilizados no processo contínuo são altamente especializados, ou seja, possuem baixa flexibilidade e altas taxas de utilização, sendo outra característica principal do processo contínuo. O sistema opera de forma incessante, ou seja, não há uma distinção clara entre a entrada e a saída das operações nos processos industriais.

Dessa forma, no gerenciamento da área de CTT, além dos aspectos citados anteriormente como parte integrante de um planejamento sistêmico, frente às demais áreas de todo o sistema agroindustrial, tem-se que garantir a confiabilidade de fornecimento de cana para a unidade industrial de forma ininterrupta. Por estes motivos o CTT é um elo direto do processo agrícola com o processo industrial de uma usina.

O fornecimento de cana-de-açúcar deve ocorrer de acordo que com o volume de processamento de cana por parte da indústria. Ou seja, de forma balanceada, para que não haja interrupções de fornecimento, e nem mesmo pode ser

superdimensionado, a fim de que se tenha estoque intermediário de cana crua dentro do pátio da unidade para ser processado.

2.8. Qualidade da Matéria-prima da Cana-de-açúcar

Com o advento da mecanização agrícola para colheita de cana-de-açúcar, obteve-se melhoria na qualidade da cana-de-açúcar a ser processada, no que se refere à inversão de sacarose, por ação da dextrana. Quando o corte da cana era realizado de forma manual, realizado somente no período diurno, havia a necessidade de estocar cana crua no pátio, para que o processamento industrial não fosse interrompido, justamente no período oposto ao corte de cana.

Dextranas são polímeros de glicose produzidos a partir de sacarose principalmente por bactérias do gênero *Leuconostoc*. A penetração de microrganismos no colmo, através de rachaduras, contamina a cana formando dextranas, cuja presença afeta a qualidade do açúcar e a eficiência industrial. Ocorre perda de sacarose, aumento da viscosidade do caldo e dificuldade de filtração no processo industrial (OLIVEIRA et al., 2002).

Assim, o tempo contabilizado entre o corte e o processamento efetivo dessa cana é superior, quando adotado o corte manual em relação ao corte mecanizado, uma vez que este pode ser operado durante as 24 horas. Com essa medida, há uma melhoria da qualidade da matéria-prima, que é processada em menos tempo do que quando o corte é manual. Dessa forma, além de agilizar o processo de colheita, aumentar a qualidade da matéria-prima e reduzir custos, a introdução do uso de colhedoras garante também uma adaptação da produção agrícola ao ritmo ininterrupto da indústria e, conseqüentemente, uma redução no número de horas ociosas da indústria (RAMÃO et al., 2007).

A matéria-prima desejável para a indústria pode ser definida como colmos em estágio adiantado de maturação, sadios, recém-cortados, normalmente despontados e livres de matéria estranha (STUPIELLO, 1987 apud MAGALHÃES, 2008).

O conceito de matéria estranha refere-se a tudo o que não é colmos ou rebolos de colmos maduros que acompanha a matéria-prima, podendo ser dividida, em função de sua natureza, em matéria estranha vegetal (palmito, palha, folha, colmos secos) e matéria estranha mineral (pedra, terra). O teor de matéria estranha depende de vários fatores em que se destacam as condições de cultivo, as características da

variedade de cana-de-açúcar e do solo, a qualidade da queima e o tipo de máquina empregada na colheita (sistemas de corte de base e de despalhamento).

2.9. Índice de Maturação e Período Útil de Industrialização

Como citado anteriormente, e também no trabalho de Milan et al. (2006), a unidade agroindustrial necessita de uma “cana fresca”; ou seja, logo após a colheita da cana-de-açúcar, ela deve ser transportada e moída, para que não ocorram perdas de açúcares devido à inversão de sacarose. Para tal é preciso que se avaliem os custos envolvidos neste tipo de operação de transporte, assim como as rotas percorridas nas diferentes frentes de corte até a usina. Outro ponto a ser avaliado é o relativo à maturação da cana-de-açúcar, representado pelo Índice de Maturação, *IM*, (Equação 1), dado pelo quociente do brix da ponta do colmo e do brix da base do colmo. Estas medições são realizadas com o auxílio de refratômetro de campo.

$$IM = \frac{\text{brix apical}}{\text{brix basal}} \quad (1)$$

No Quadro 11 observa-se as faixas de *IM* e em qual estágio de maturação situa-se a respectiva cana-de-açúcar.

QUADRO 11. Índice de maturação da cana-de-açúcar

<i>IM</i>	Estágio de maturação
< 0,60	Cana imatura
0,60 – 0,85	Cana em maturação
0,85 – 1,00	Cana madura
>1,00	Cana em declínio de maturação

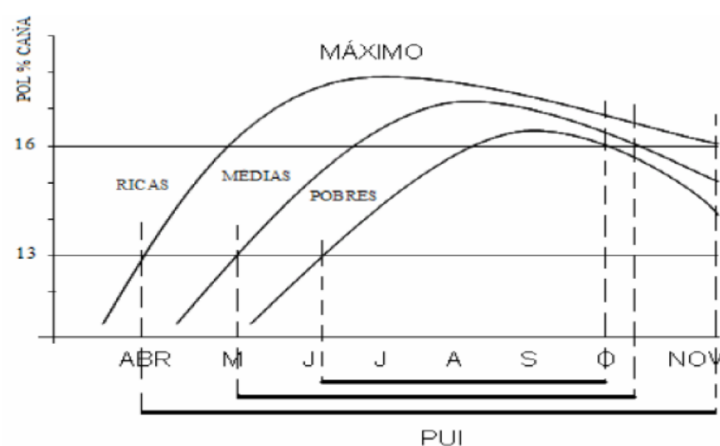
Fonte: SEGATO et al. (2006).

Por meio das médias do índice de maturação do talhão podem-se interpretar os estágios de maturação da cana, tomando-se a decisão de colher ou não o respectivo talhão.

Segundo Segato et al. (2006), as variedades de cana-de-açúcar podem ser divididas em função do período no qual se atinge o ápice em relação ao teor de Pol da cana. Este período pode ser divididos em 3 tipos compostos por: cana precoce ou rica, cana média e cana tardia ou pobre.

Canas precoces ou ricas, como o próprio nome sugere, são as que atingem o ápice de Pol da cana no início de safra; canas médias são as que atingem o ápice entre os meses de julho a setembro; e, por fim, as canas tardias ou pobres são aquelas que atingem o ápice de Pol da cana a partir do mês de setembro (SILVA et al., 2011).

Esta divisão dos diferentes períodos de maturação da cana-de-açúcar pode ser desmembrada em três períodos, nos quais a unidade agroindustrial poderá processar a cana. Para caracterizar o período em que a cana pode ser processada, as usinas criaram o Período Útil de Industrialização (PUI), que estabelece que o Pol da cana, para ser satisfatório ao processamento de diferentes variedades, deve ser de 14%. Este é caracterizado como PUI longo (mais de 150 dias), PUI médio (120 a 150 dias) e PUI curto (70 a 100 dias). De acordo com a Figura 6, as canas do tipo precoce são caracterizadas com um PUI longo; as canas do tipo médias, com um PUI médio e as canas do tipo tardias, com um PUI curto.



Fonte: (SILVA et al., 2011).

FIGURA 6. Curvas de maturação de cana-de-açúcar.

2.10. Pesquisa Operacional

O termo Pesquisa Operacional foi utilizado pela primeira vez na Grã-Bretanha em 1938 para designar o estudo sistemático de problemas estratégicos e táticos decorrentes de operações militares. Numa atuação clássica, um grupo de especialistas (matemáticos, físicos, engenheiros) foi designado para avaliar e reposicionar adequadamente os radares do sistema de defesa aéreo da Grã-Bretanha antes e durante a Segunda Guerra Mundial. Outras aplicações militares incluíram o

planejamento de operações de comboios, bombardeios e de guerra antissubmarino (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

A experiência logo mostrou que era difícil modelar uma operação complexa simplesmente por especificação das restrições. Se houvesse poucas restrições na operação, muitas soluções de qualidade inferior poderiam satisfazê-las; se houvesse muitas restrições, as soluções desejáveis poderiam ser descartadas, ou, em pior caso, não haveria soluções possíveis (FOURER et al., 2003).

O sucesso de programação, em última análise, dependia de uma percepção que fornecesse uma maneira de contornar esta dificuldade. Podia-se especificar, para além das restrições, um objetivo em função de variáveis, tais como custo ou lucro, que poderia ser utilizado para decidir se uma solução era melhor do que a outra. Então, caso houvesse soluções diferentes que satisfizessem as restrições, foi através da função objetivo, que minimiza ou maximiza o objetivo, que é suficiente para encontrar a tal solução. O termo programação matemática veio a ser utilizado para descrever a minimização ou a maximização de uma função objetivo de muitas variáveis, a qual incide restrições sobre estas variáveis (FOURER et al., 2003).

Um dos meios de resolução de problemas de pesquisa operacional é por meio modelos de Programação Linear. Estes visam, fundamentalmente, a encontrar a melhor solução para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares. A aplicabilidade e simplicidade que a caracterizam devem-se à linearidade do modelo.

A tarefa da programação linear consiste na maximização ou na minimização de uma função linear, denominada função objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades e desigualdades, que recebem o nome de restrições do modelo. As restrições representam, normalmente, limitações de recursos disponíveis (capital, mão-de-obra, recursos minerais ou fatores de produção) ou exigências e condições que devem ser cumpridas no problema. Essas restrições do modelo determinam uma região que é considerada ser o conjunto das soluções viáveis. A melhor das soluções viáveis, aquela que maximiza ou minimiza a função objetivo, denomina-se solução ótima. O objetivo da programação linear consiste em determinar a solução ótima.

A forma padrão de um problema de programação linear (PPL) pode ser descrito da seguinte modo (HILLIER e LIBERMAN, 2013).

função objetivo e das restrições. O termo “pós-otimização” indica que, após obter a solução ótima do PPL, desejamos avaliar o impacto da alteração em algum parâmetro sobre esta solução.

Portanto, se a análise não permite mudança na base B , onde B é a base ótima a qual é proveniente da sequência ótima das colunas da matriz A , tem-se uma Análise de Sensibilidade. Caso contrário, se a análise permite uma mudança na base B , tem-se uma Análise Paramétrica.

A análise de sensibilidade refere-se ao estudo de certas questões de pós-otimização que, frequentemente, o tomador de decisão tem interesse em saber. Por exemplo, até que ponto a solução encontrada para o seu problema de programação linear seria alterada, caso um ou mais parâmetros do problema original fossem modificados (LINS e CALÔBA, 2006; QUEIROZ et al., 2015).

2.10.2. Custo Reduzido (*Reduced Cost*)

O custo reduzido é associado a cada atividade ou variável não básica na solução ótima de um problema de otimização. Ele é uma taxa de variação e representa a mudança no valor da função objetivo quando a atividade não básica correspondente sofre variação unitária. Trata-se, portanto, de um importante elemento de análise crítica da solução ótima de um problema (LINS e CALÔBA, 2006; QUEIROZ et al., 2015).

2.10.3. Preço Sombra

O preço sombra é associado a cada elemento do vetor b do conjunto de restrições (RHS – *right hand side*) correspondente a um número real denominado de Preço Sombra (*Dual Prices*). A exemplo do custo reduzido, este também é tido como uma taxa de variação, representando mudança ocorrida na função objetivo, em decorrência da variação unitária no nível utilizado de um dado recurso, sendo que recurso ocioso tem preço sombra nulo (LINS e CALÔBA, 2006; QUEIROZ et al., 2015).

2.11. Otimização em Sistemas de Plantio, Colheita e Transporte de Cana

A tomada de decisão é uma das etapas nas quais os gestores necessitam decidir o quê, quando e quanto fazer, de maneira que tal decisão culmine com a melhor

prática a ser adotada frente à determinada situação. Durante a safra, há um planejamento para se delinear o sequenciamento das áreas a serem colhidas de acordo com o potencial de produção de açúcares totais recuperáveis (ATR) x tonelada de cana por hectare (TCH). Esse planejamento é um indicador para que se possa mensurar a maximização do fornecimento de sacarose à unidade agroindustrial.

O uso de recursos computacionais é de fundamental importância, principalmente no quesito relacionado à redução de custos de produção. De acordo com Arraes et al. (2014), o gerenciamento da agricultura é entendido como a execução de funções administrativas (organização, planejamento, orientação e controle) por um time administrativo, liderado por um gerente agrícola, o qual é o responsável por produzir e transportar a cana até a unidade agroindustrial. O uso da tecnologia computacional se faz necessário, uma vez que são realizados diversos processos complexos e simultâneos, sejam esses tanto de ordem operacional quanto de ordem tática.

Além da utilização da tecnologia computacional para auxiliar os gestores na tomada de decisão, o uso de programação matemática também se torna útil durante a análise dos processos agrícolas de agroindústrias sucroenergéticas. Nesse sentido Jena e Poggi (2013), propõem a abordagem do planejamento de colheita de cana-de-açúcar em dois horizontes: o do planejamento tático e o do planejamento operacional, visando à maximização dos açúcares contidos na cana-de-açúcar. A finalidade é modelar matematicamente um sistema no qual se representa a colheita em cada área (talhão) no pico de açúcares contidos na cana-de-açúcar. Estes açúcares são representados através do Pol da cana, que é o percentual de sacarose, acrescidos dos Açúcares Redutores (AR).

De acordo com o trabalho de Colin (2009), o planejamento de plantio tem sido objeto de muitos estudos ao longo do tempo. Neste trabalho, é abordada a questão da produtividade da cana-de-açúcar em períodos de cortes, nos quais a cada safra, ocorre um decréscimo de TCH, até o ponto no qual se torna necessária a renovação do canavial. Para tanto, é apresentado um modelo de programação matemática que foi incorporado ao modelo de avaliação para se criar o cronograma de plantio. O objetivo do modelo foi elaborar um cronograma de plantio viável que atingisse um estado de equilíbrio para a usina em três anos, aumentando a carga de trabalho de 1/3, 2/3 e a plena capacidade nos anos 2, 3 e 4, respectivamente.

A agroindústria sucroalcooleira, em busca do aumento da produtividade agroindustrial e da diminuição de custos, tem investido em pesquisa e desenvolvimento. Entre as áreas de maior desenvolvimento, estão as de melhoramento genético da cana-de-açúcar, a de transporte e a de tecnologia industrial, com ênfase na recuperação do açúcar contido na cana.

O aumento da recuperação de açúcar se deve, principalmente, à evolução tecnológica dos equipamentos fabricados e às melhorias feitas nos processos clássicos de preparação da cana, de extração e clarificação de caldo, e de fabricação de álcool e açúcar. Atualmente, aumentos globais na eficiência são muito pequenos, uma vez que as eficiências industriais alcançadas nas diversas etapas já são bastante expressivas (CALIARI et al., 2005).

No modelo matemático empregado por Caliaro et al. (2005), aplicado à colheita da cana-de-açúcar, com ênfase na recuperação máxima de ATR, utiliza-se a “regra do mínimo arrependimento”, através da definição de uma programação de colheita que permita maximizar os resultados da safra como um todo. A colheita de cana-de-açúcar é uma administração de sacrifícios. Não se pode colher todo contingente de matéria-prima no ponto de máxima maturação de cada variedade.

A diminuição dos preços internacionais do açúcar levou as indústrias de açúcar em todo o mundo a explorarem alternativas para reduzirem os custos de produção. Uma dessas alternativas foi a da utilização de um sistema de transporte de cana mais eficiente, que melhor se integrasse com as operações de colheita.

Há que lembrar que o problema do gerenciamento do transporte rodoviário para cana-de-açúcar, envolve a programação de diversos veículos desde a usina até a “frente de colheita”. O trabalho de Higgins (2006) foca na programação linear para o desenvolvimento e a implementação de um modelo de programação de transporte rodoviário que vai deste a unidade agroindustrial até a diferentes áreas de colheita da cana-de-açúcar. Este modelo propõe a maximização da capacidade de transporte dos veículos, nos quais se possam simular diversos cenários de transporte rodoviário.

Em Milan et al. (2006), os autores propõem o estudo de modelo de programação inteira, a fim de resolver o problema de minimização dos custos de transporte de cana-de-açúcar dos diversos pontos de colheita até a unidade agroindustrial. A complexidade deste tipo de problema é basicamente a da abordagem de um sistema para determinação de um grande número de variáveis e restrições a respeito do transporte de cana-de-açúcar.

A idade da soqueira, em ano de safra, também pode ser considerada como um fator a ser levado em conta pelos gestores no momento do planejamento da colheita. No trabalho de Ongin'jo e Olweny (2011), foi realizado o estudo sobre a determinação do período ótimo de colheita de cana-soca em função da idade das soqueiras. Mostrou-se que em seis variedades, considerando-se uma análise de oito variedades, atingiu-se o pico dos parâmetros agrícolas, tais como brix, por exemplo, aos nove meses de cana-soca. Em apenas duas variedades o ponto máximo de brix foi atingido ao 11º mês de idade da cana soca.

Ainda nessa perspectiva, tendo em vista a análise de diferentes idades de cana-soca, analisando-se o efeito da idade de soqueira e a respectiva época de colheita, o trabalho de McDonald (2006), considerou em sua análise a colheita em quatro idades diferentes, sendo as idades de cana-soca de 32, 40, 52 e 60 semanas. Outro fator de interação foi a época em que estas canas-socas foram colhidas, ou seja, houve um fator de análise de colheita entre os meses de abril a dezembro. Mostrou-se que a colheita mínima deve ocorrer com idade de 52 semanas (12 meses), período no qual há o incremento de biomassa e açúcares contidos na cana-soca, obtendo-se melhores índices agronômicos.

2.12. Logística CTT – Corte, Transbordo e Transporte

A logística é o processo da implementação de um planejamento e de atuação a fim de se suprir o fluxo físico de produtos ou matéria-prima no início de uma cadeia de suprimentos até o ponto final, ou seja, até o cliente. Tem o propósito de garantir e suprir necessidades do cliente em relação aos fatores de qualidade, rapidez, quantidade e no local desejado. Em fluxo contrário, partindo do final para o início da cadeia de suprimentos, ocorre o fluxo de informações, as quais são de extrema relevância para se atingirem as expectativas do cliente final – o fornecedor necessita conhecer as necessidades do cliente final.

Este conceito pode ser abordado, também na relação existente, dentro do segmento sucroenergético, entre a área agrícola e a área industrial. A interação entre as duas áreas é realizada por meio do setor de CTT, cuja responsabilidade é o suprimento de matéria-prima com a máxima qualidade de ATR e TCH. O indicador que melhor traduz a expectativa quanto à maximização das variáveis envolvidas é o da multiplicação de ATR e TCH, cujo resultado demonstra à empresa o quanto ela está

obtendo em uma determinada área de colheita no que refere-se à questão de toneladas de açúcares por hectares (TAH).

Outro ponto relevante, na logística CTT, relaciona-se à significativa distância entre as áreas agrícolas e a unidade agroindustrial, considerando-se que o sistema executado no segmento sucroenergético é do tipo “bate-e-volta”. O caminhão desloca-se do local de origem, a unidade agroindustrial, até a área agrícola em que está sendo realizado o processo de colheita da cana-de-açúcar. Este caminhão recebe a carga de cana-de-açúcar através do transbordo e retorna para a unidade agroindustrial. Quando ele chega à usina passa, obrigatoriamente, pela balança para que o peso do conjunto seja aferido; em seguida, pode ou não ser direcionado para o prédio do laboratório de PCTS para que seja retirada uma amostra de cana-de-açúcar para posterior análise química. Após essa etapa, o caminhão desengata os conjuntos de compartimentos de carga que estão cheios e coleta outro conjunto de compartimentos de carga que está vazio e é, imediatamente, direcionado ou para área agrícola de onde veio ou para outra área agrícola em que a demanda por transporte se faça necessária.

Como a demanda da usina por matéria-prima, no período de safra, é constante, visando a evitar que ocorra interrupção do processamento industrial, é preciso que o fluxo de abastecimento, da área de CTT seja capaz de suprir as necessidades da área industrial. Para que isto ocorra, então, é importante que a capacidade operacional de transporte e de colheita seja, no mínimo, igual ou maior que a capacidade de moagem industrial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Estudo de Caso

Neste capítulo apresenta-se uma proposta para a resolução do problema de plantio de diferentes variedades de cana-de-açúcar, as quais possuem exigências no âmbito de ambientes de produção diferenciáveis entre si ou não, em relação às áreas disponíveis para a realização do plantio. O objetivo é obter, segundo os critérios qualificadores apresentados anteriormente, em qual área, qual quantia (hectares) desta área, em qual momento (ano e mês) e qual variedade de cana-de-açúcar que será plantada, a fim de se maximizar o potencial de produção de açúcares por hectares (TAH) no momento da colheita.

3.1.1. Caracterização da Empresa

A empresa sucroalcooleira utilizada na modelagem é aquela apresentada no trabalho de Pupulin (2010), a qual tem área total cultivada de 22.081,61 hectares. A meta de moagem foi de 1.656.265 Mg de cana-de-açúcar por safra, o que representa a produtividade média de 75,0 Mg ha⁻¹ de cana-de-açúcar. As informações utilizadas referem-se aos blocos (áreas) existentes para colheita de cana e às respectivas quantidades de produção de cana-de-açúcar, sendo mensuradas em toneladas de cana-de-açúcar.

Um dos parâmetros necessários foi relativo à quantidade de hectares disponíveis por área, para isso utilizou-se a média geral de produtividade da empresa. Outro parâmetro utilizado foi o das distâncias da respectiva área agrícola até a usina. Esta informação não estava disponível separada por área agrícola, mas por blocos de áreas. Buscando-se obter uma maior fidedignidade quanto a uma situação real, optou-se por arbitrar distâncias, respeitando-se os limites estabelecidos como referencial.

Outro parâmetro necessário para alocação das variedades foi o do correto relacionamento da adaptabilidade da variedade de cana-de-açúcar à área agrícola, através dos ambientes de produção. Estes foram arbitrados mantendo-se a proporcionalidade existente na região Centro-Sul.

3.1.2. Dados de Gerenciamento Agrícola

A área agrícola disponível total era de 22.081,61 ha, sendo distribuída em 40 áreas agrícolas (talhões), denominadas de A1 para área agrícola 1, e assim

sucessivamente até A40. No Quadro 12 apresentam-se a quantia de hectares disponíveis por área agrícola, a distância da área agrícola até a unidade agroindustrial e a indicação do ambiente de produção de cada área.

QUADRO 12. Áreas agrícolas, distâncias ao centro industrial e ambientes de produção

Talhão	Área Agrícola (ha)	Distância (km)	Ambiente Produção	Talhão	Área Agrícola (ha)	Distância (km)	Ambiente Produção
A1	978,16	4	C	A21	19,2	29	C
A2	2268	4	C	A22	50,1	33	C
A3	1418	6	B	A23	306	25	E
A4	86,4	6	C	A24	6,4	26	C
A5	121,2	5	D	A25	140,5	32	C
A6	472,2	6	E	A26	70,9	25	D
A7	197,2	4	C	A27	4.872,4	26	C
A8	5,6	9	C	A28	319,6	30	C
A9	226,4	8	C	A29	79,6	38	C
A10	1.550,9	13	B	A30	104,3	41	B
A11	870,6	14	A	A31	75,4	40	C
A12	497,9	12	B	A32	91,6	36	C
A13	42,9	14	C	A33	1.490,1	38	A
A14	140,8	13	C	A34	138,8	61	A
A15	408,2	11	C	A35	1132	53	E
A16	602,3	16	C	A36	299,3	54	D
A17	1332	21	C	A37	171,6	51	B
A18	205,9	22	D	A38	32,6	53	D
A19	98,2	18	B	A39	488,4	66	C
A20	66,2	22	C	A40	603,8	67	D

3.1.3. Análise de Transporte

A análise de transporte é uma das restrições no modelo matemático para o plantio e colheita de cana-de-açúcar nas áreas agrícolas e, por esta razão, será abordada. Uma das medidas para a avaliação da capacidade de transporte de cana-de-açúcar, com vistas a coletar matéria-prima proveniente de diferentes áreas agrícolas com diferentes distâncias entre a unidade agroindustrial e a respectiva área agrícola, pode ser a da análise por meio do raio médio ponderado da distância. Esta análise é importante, pois, quando se realiza o planejamento mensal ou semanal de colheita de cana-de-açúcar, caso o raio médio ponderado do respectivo período seja menor ou igual ao raio médio ponderado geral, envolvendo a análise de todas as áreas, nas quais serão colhidas durante a safra, sinaliza ao gestor a viabilidade de capacidade de

transporte, a fim de que se mantenha o nível de serviço para o fornecimento de matéria-prima, sem que ocorram interrupções para a unidade agroindustrial. A ponderação é realizada em função da quantidade de hectares, os quais devem ser colhidos, durante a safra.

Analisando-se as informações provenientes do Quadro 12, como, por exemplo, a quantidade de hectares das respectivas áreas e a distância até a unidade agroindustrial, pode-se determinar o raio médio ponderado (Equação 2).

$$\text{Raio Médio Pond.} = \frac{\sum \text{dist} \cdot \text{qtd_hectares}}{\sum \text{qtd_hectares}} \quad (2)$$

em que,

Raio Médio Pond. - raio médio ponderado, km;

Dist - distância entre a área agrícola e unidade agroindustrial, km;

Qtd_hectares - quantia de hectares referente a respectiva área agrícola, ha.

Considerando os dados relacionados às distâncias da unidade até cada área agrícola, tem-se que o raio médio ponderado é de 23,1 km.

3.1.4. Dados de Variedades de Cana-de-açúcar

As variedades de cana-de-açúcar utilizadas nesta proposta de modelagem de plantio e de colheita são referentes aos cultivares comercialmente liberados por órgãos de pesquisa e empresas, tais como a Ridesa e o CTC. Os parâmetros empregados na modelagem de plantio e colheita de cana-de-açúcar foram os índices de Pol da cana, durante os meses e as exigências ambientais para o efetivo plantio, a fim de se atender às necessidades das variedades para com as diferentes áreas agrícolas, tendo como objetivo potencializar o retorno em toneladas de açúcares por hectare (TAH).

Além das informações a respeito do comportamento de maturação de uma determinada variedade, outras informações agronômicas são relevantes, tal como as relativas à propensão ou à resistência a doenças e pragas e às características morfológicas da planta.

De acordo com o pressuposto apresentado por Gheller (2005), no Quadro 13 são apresentadas as variedades que foram utilizadas para a modelagem de plantio e colheita, assim como as exigências quanto ao ambiente de produção.

QUADRO 13. Variedades de cana-de-açúcar e recomendação de ambientes de produção

Variedade	Ambiente de Produção				
	A	B	C	D	E
CTC11	X	X	X		
CTC14	X	X	X		
CTC15			X	X	X
CTC16	X	X	X		
CTC17		X	X	X	
CTC19	X	X	X		
CTC2	X	X	X		
CTC20	X	X	X		
CTC25			X	X	
CTC4	X	X	X	X	
CTC6	X	X	X		
CTC7	X	X	X		
CTC9	X	X	X		
RB835054	X	X	X		
RB855156		X	X	X	
RB855453	X	X	X		
RB855536	X	X	X		
RB867515			X	X	X
RB925211	X	X	X		
RB925345	X	X			
RB935744		X	X		
RB956911	X	X	X		
RB965902		X	X		
RB966928	X	X	X		
RB975201	X	X	X		
RB985476	X	X	X		

Fonte: Daros et al. (2010) e CTC (2013).

Assim, com os dados dos ambientes de produção de cada área agrícola e com as informações das recomendações agrônômicas exigidas para o plantio de determinada variedade de cana-de-açúcar, pode-se alocar de forma otimizada tal variedade, visando-se a potencializar os níveis produtivos de Pol da cana e de TCH, consequentemente, reduzindo-se os custos relativos ao transporte agrícola.

Cada variedade de cana-de-açúcar possui um comportamento de maturação, cujo enquadramento pode ser separado em três tipos: Cana Precoce, Cana Média e Cana Tardia. Estas categorias são em função dos pontos máximos de concentração de Pol da cana durante os meses de safra. Considera-se uma cana apta para a industrialização quando seu valor de Pol estiver acima de 14,0%.

No Quadro 14 seguem as informações sobre os índices de Pol da Cana, durante os meses de safra, os quais foram coletadas dos catálogos promocionais das variedades de cana-de-açúcar.

QUADRO 14. Variedade de cana-de-açúcar, tipo de maturação e Pol da cana (%)

Variedade	Maturação	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
CTC11	Tardia	12,5	14,2	15,3	16,2	16,8	17	16,8	15,5
CTC14	Tardia	11,2	12,2	13,8	14,5	15,5	16,4	16,8	15,5
CTC15	Tardia	10,5	12,3	14	15,2	16	16,4	16,3	15,2
CTC16	Precoce	12,7	13	13,8	14,5	15	15,2	15,2	0
CTC17	Precoce	12,8	13,3	14	14,7	15,2	15,4	15,2	14,2
CTC19	Tardia	11,2	12,5	14	15,5	16,5	17,3	17,6	15,8
CTC2	Média	11,2	12,5	13,5	14,5	15,5	16	16,8	15,8
CTC20	Média	13	13,7	14,5	15,5	16,5	17	17,7	0
CTC25	Precoce	12,2	13,5	14,5	15,5	16,5	16,8	16,5	0
CTC4	Média	11,8	13,2	14,6	15,8	16,8	17,1	17,3	16,5
CTC6	Tardia	10	11,5	13	14,5	16,0	16,8	17,5	16,0
CTC7	Precoce	13,1	14	15	15,8	16,2	0	0	0
CTC9	Precoce	13,1	13,8	15	15,8	16,7	17	17,2	0
RB835054	Precoce	13,2	15	15	15,7	17,2	17,4	16,4	0
RB855156	Precoce	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	16	15,5	0
RB855453	Precoce	12,3	13,2	14,0	15,0	16,0	15,5	15,0	14,5
RB855536	Média	11,3	13,0	13,5	14,5	15,0	15,5	15,2	0
RB867515	Média	16,0	18,0	21,0	22,0	23,0	22,7	22,0	20,0
RB925211	Precoce	12,2	13,8	14,5	15,2	16,5	15,5	15,0	14,0
RB925345	Precoce	9,5	12,5	14,4	15,5	16,8	16,0	16,0	15,7
RB935744	Tardia	9,0	11,5	12,8	14,0	16,0	16,9	17,8	18,2
RB956911	Média	12,0	13,0	13,8	14,0	14,8	0	0	0
RB965902	Precoce	11,0	13,0	15,0	14,8	14,3	0	0	0
RB966928	Precoce	11,0	130	14,0	15,2	0	0	0	0
RB975201	Tardia	9	11	13,5	14,8	16	16,8	17,2	16,8
RB985476	Média	10	12	14	15	15,8	16	16	15,8

Fonte: Daros et al. (2010) e CTC (2013).

Nos meses de maturação das variedades apresentadas no Quadro 14, o valor de Pol da cana é 0 (zero), isto deve-se à curva de maturação apresentada no catálogo referente à respectiva variedade, a qual não contempla os meses mencionados. Isto se deve ao fato do tipo de maturação, o que torna pouco relevante a apresentação do comportamento em todos os meses, visto que há uma distinção entre os diferentes tipos de maturação da cana-de-açúcar. Por esta razão, quando apresentado o comportamento de uma determinada variedade de cana-de-açúcar, os

meses os quais são apresentados, são referentes ao tipo de maturação da respectiva variedade de cana-de-açúcar.

3.1.5. Épocas de Plantio e Colheita

As épocas de plantio e colheita são fatores relevantes, uma vez que agem diretamente sobre a produtividade da cana (TCH) e do teor de açúcares totais recuperáveis (ATR).

A etapa de plantio foi dividida em duas fases, considerando-se cana de ano e meio, cujo plantio inicia-se no mês de janeiro e vai até o mês de abril, e cana de ano, cujo plantio inicia-se em setembro e vai até o mês de novembro. Nas restrições tecnológicas para a estruturação deste modelo, não foi considerado o plantio de inverno. Referente ao plantio dos materiais selecionados na otimização, foi considerado um valor máximo de 15% da área total ocupada com uma variedade plantada por ano.

A etapa de colheita é predefinida em função do tipo de plantio realizado. Nesta modelagem, as propostas de cana de ano e meio e de cana de ano foram definidas nos meses de abril a agosto e de setembro a novembro, respectivamente.

Dessa forma, o agrupamento entre o plantio e a colheita é demonstrado no Quadro 15, no qual para cada mês de plantio obtém-se a respectiva possibilidade do mês de colheita, no ano subsequente.

QUADRO 15. Épocas de plantio e de colheita - estudo de caso

Tipo de plantio	Mês de plantio	Mês de colheita e ano subsequente
Cana de ano e meio	Janeiro	Abril ou maio ou junho ou julho ou agosto
	Fevereiro	Maior ou junho ou julho ou agosto
	Março	Junho ou julho ou agosto
	Abril	Julho ou agosto
Cana de ano	Setembro	Setembro ou outubro ou novembro
	Outubro	Outubro ou novembro
	Novembro	Novembro

Registre-se que o período mínimo modelado para a colheita, após a realização do plantio, foi o de 15 meses para a cana de ano e meio, e o de 12 meses para a cana de ano.

Especificamente nesta proposta de modelagem de plantio e colheita, tem-se como pressuposto que o ciclo de colheita para todas as áreas agrícolas são de canas

de até o 5º corte. Assim, tem-se o ciclo total para uma determinada área como período de seis anos. Isto se deve ao fato de que no primeiro ano planta-se e, a partir do segundo ano, anualmente, durante cinco anos, colhe-se a cana-de-açúcar. Por este motivo, o período de tempo (em anos) utilizado para a modelagem foi considerado em seis anos.

Um dos objetivos delineados é o de que todas as áreas agrícolas disponíveis sejam renovadas uma vez a cada ciclo total de seis anos. Como a área total é de 22.081,61 hectares, obtém-se uma média anual de renovação em torno de 3.680 hectares. No que se refere à renovação anual, há limites de capacidades mensais para a execução do processo de plantio, delineados entre os meses de janeiro a abril e os de setembro a novembro. No Quadro 16 está apresenta-se a capacidade mensal de plantio.

Cada hectare plantado no ano m será colhido integralmente no ano $m+1$, portanto, parte-se do pressuposto de que não há cana de dois verões. Além disto, o processo de colheita, transporte e, conjuntamente, industrialização, no que tange à capacidade de moagem mensal, também são elementos que possuem restrições de capacidades.

QUADRO 16. Capacidade de plantio

Mês plantio	Mínimo (ha)	Máximo (ha)
Janeiro	485	550
Fevereiro	485	550
Março	485	550
Abril	485	550
Setembro	485	550
Outubro	485	550
Novembro	485	550

O período de safra consta como a ocorrência de disponibilidade de 8 meses, porém, conforme dados da usina, esta disponibilidade restringe-se em torno de 7 meses e meio, uma vez que a moagem industrial inicia-se na metade do mês de abril. Portanto, a capacidade de moagem do mês de abril é inferior à dos meses da safra, considerando os meses de maio a novembro, obtendo-se diferentes capacidades de colheita.

No Quadro 17 têm-se as quantidades mínimas e máximas de área que devem ser colhidas no ano subsequente ao plantio. Esta “necessidade” de colheita entre os meses ocorre devido à adequação de capacidade mensal de moagem. Uma vez que, ocorra o “espaçamento” entre os meses de colheita e os anos do ciclo produtivo total,

garantir-se-á que não haverá excedente de quantia de cana-de-açúcar em determinado mês ou escassez em outro. O ciclo da cultura da cana-de-açúcar é cíclico e, particularmente nesta proposta, será adotado o ciclo produtivo total de seis anos (plantio + cinco cortes).

QUADRO 17. Área mínima e máxima de colheita após plantio

Mês de colheita	Área mínima (ha)	Área máxima (ha)
Abril	225	245
Maio	480	515
Junho	480	515
Julho	480	515
Agosto	480	515
Setembro	480	515
Outubro	480	515
Novembro	480	515

3.2. Modelagem Matemática

A partir de um conjunto de áreas agrícolas aptas, a modelagem matemática visa a determinar quando e em quais áreas devem ocorrer o plantio, quais variedades devem ser plantadas, considerando-se a adaptabilidade ao ambiente de produção frente a um grupo de variedades disponíveis, para cada área agrícola, quando colher novamente estas áreas plantadas, analisando-se como fator de limitação o transporte de cana-de-açúcar e o equilíbrio entre os meses de safra e a quantia de cana-de-açúcar para moagem industrial.

A programação matemática foi implementada na plataforma GUSEK (GLPK *Under Scite Extended Kit*), versão 4.55, software livre. Este aplicativo consiste em uma versão customizada do editor SciTE (*SCIntilla based Text Editor*) integrada a uma versão pré-compilada do *solver* livre GLPK (*GNU Linear Programming Kit*), para a plataforma Win32.

Por meio de uma interface simples, baseada no código do editor livre SciTE, o GUSEK permite que se realize o desenvolvimento de modelos em todas as linguagens nativamente suportadas pelo GLPK, em especial a GMPL. O programa foi concebido de forma a permitir que ele seja copiado livremente para máquinas com sistema operacional Windows e executado sem exigir permissões especiais. Diversos recursos comuns a interfaces de desenvolvimento são disponibilizados, como realce

de sintaxe e identificação de erros de compilação, além de facilitadores para a execução do solver, conversão de modelos, exibição de resultados e uso de múltiplos arquivos de dados (BETTONI, 2011).

O modelo matemático foi compilado e executado no programa GUSEK, utilizando-se o otimizador GLPK. O respectivo modelo possui 1.134.090 variáveis, 497.291 restrições e 4.818.894 não zeros.

3.2.1. Função Objetivo

A função objetivo tende a maximizar o retorno de TAH, indicando a quantidade a ser colhida de uma determinada variedade de cana-de-açúcar, o mês será em que colhida, respeitando-se as restrições dos ambientes de produção e a adaptabilidade da respectiva variedade ao ambiente de produção. A Equação 3 representa a função objetivo proposta.

$$Max = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m X [i, j, k, l, m] \sum_k \sum_j PC [k, j] PRD \cdot \phi \cdot \lambda \cdot \mu \cdot \omega \quad (3)$$

em que,

$X [i, j, k, l, m]$ - variável de decisão, que representa a quantia de hectares que serão colhidos, na área i , no período j , da variedade k , no ambiente l , no ano m ;

$PC [k, j]$ - parâmetro que representa a Pol da cana, da variedade k , no mês j ;

PRD - parâmetro que representa a produtividade média da cana, $Mg ha^{-1}$;

ϕ - transformação em Pol (%) por Mg de cana;

λ - coeficiente estequiométrico para conversão de Pol em açúcares redutores;

μ - coeficiente de recuperação industrial, %;

ω - preço pago ao ATR no mês de agosto de 2015, $R\$ kg^{-1}$.

Os coeficientes utilizados na Equação 3 são referentes ao processo de determinação dos Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), descritos no manual Consecana (ORPLANA, 2014). Os valores das constantes adotadas foram $PRD = 75$; $\phi = 10$; $\lambda = 1,05263$; $\mu = 0,915$ e $\omega = 0,48$.

Após a primeira colheita, de forma cíclica, a uma média de doze meses, ocorre a rebrota da cana. Portanto, o momento da primeira colheita, pós-plantio, pode ser considerado como um fator de tomada de decisão. Isto se deve ao fato de que o período da colheita está “fixado”, após a primeira colheita. É possível mover o

momento de colheita de uma determinada área, antecipando-o ou postergando-o, mas isto pode ocasionar vantagens e desvantagens em cada caso. Pode-se postergar o momento da colheita obtendo-se possíveis ganhos em acúmulo de açúcares e biomassa, mas a antecipação do período de colheita, para que se possa corrigir uma tomada de decisão realizada anteriormente, pode ocasionar perdas em açúcares e biomassa.

3.2.2. Parâmetros

Os parâmetros são os elementos de valores fixos das matrizes, que fazem parte da estruturação de um modelo de programação matemática. Através da determinação das variáveis de decisão, cuja multiplicação com os valores dos parâmetros das matrizes, que estão envolvidas na elaboração da modelagem, conforme o objetivo da função de maximização ou minimização, estabelece-se quais valores que otimizam a respectiva função objetivo.

Nesta proposta de modelagem matemática de alocação de variedades e períodos de plantio e respectivas colheitas, os parâmetros utilizados são os apresentados no Quadro 18.

QUADRO 18. Definição dos Parâmetros.

Parâmetro	Definição	Conjuntos	Dados
PC [k,j]	Pol % Cana	Variedades e Meses Colheita	Quadro 14
A_T [i]	Área Disponível Total	Áreas Agrícolas	Quadro 12
RAW_min [j]	Renovação Mínima Área Plantio	Meses Plantio	Quadro 16
RAW_max [j]	Renovação Máxima Área Plantio	Meses Plantio	Quadro 16
D_A [i]	Distância entre área agrícola e usina	Áreas Agrícolas	Quadro 12
A_P_A [i,l]	Ambiente de Produção Agrícola	Áreas Agrícolas e Ambientes de Produção	Quadro 12
V_A [k,l]	Variedades de cana-de-açúcar e Ambientes de Produção	Variedades e Ambientes de Produção	Quadro 13
RAX_min [j]	Colheita Mínima Mensal	Meses Colheita	Quadro 17
RAX_max [j]	Colheita Máxima Mensal	Meses Colheita	Quadro 17
PRD	Produtividade Cana-de-Açúcar		75,0 Mg ha ⁻¹
RMP	Raio Médio Ponderado		23,1 km
LPV	Limitação Plantio		15%

3.2.3. Conjuntos

Os conjuntos fazem parte da estrutura dos parâmetros, que têm a função de indicar a quantidade de elementos existentes dentro de um respectivo conjunto. Nesta modelagem os conjuntos são apresentados no Quadro 19.

QUADRO 19. Itens dos conjuntos do modelo

Conjunto	Subscrito	Número de Elementos
Áreas	i	40
Mês Colheita	j	8
Mês Plantio	j	7
Variedades	k	28
Ambientes	l	5
Ano	m	6

3.2.4. Variáveis de Decisão

As variáveis de decisão são os valores estabelecidos após o processo de otimização, de acordo com a função objetivo. As variáveis de decisão devem obrigatoriamente atender às restrições impostas ao modelo, respeitando-se os limites inferiores e superiores.

As variáveis de decisão utilizadas nesta proposta de modelagem são explicitadas na Quadro 20, juntamente com os conjuntos envolvidos.

QUADRO 20. Variáveis de decisão

Variável	Conjuntos	Descrição
X [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m.
Xj [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Janeiro do ano m-1
Xf [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Fevereiro do ano m-1
Xm [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Março do ano m-1
Xa [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Abril do ano m-1

Variável	Conjuntos	Descrição
Xs [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Setembro do ano m-1
Xo [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Outubro do ano m-1
Xn [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Colheita, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão colhidos, na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m, que foram plantados no mês de Novembro do ano m-1
W [i,j,k,l,m]	Bloco, Mês Plantio, Variedade, Ambiente, Ano.	Quantia de hectares que serão plantados na área i, no período j, da variedade k, no ambiente l, no ano m
Qtd_X [j,m]	Mês de Colheita, Ano	Quantia total de hectares colhidos no mês j, do ano m
Qtd_W [j,m]	Mês de Plantio, Ano	Quantia total de hectares plantados no mês j, do ano m

3.2.5. Restrições Tecnológicas

A Equação 4 tem como objetivo garantir que todas as áreas agrícolas sejam plantadas, no decorrer de todo o ciclo produtivo total da cultura.

$$\text{área.disp.renov} : \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m W[i, j, k, l, m] = A_T [i]; \quad \forall i=1..40 \quad (4)$$

A Equação 5 e 6 tratam da capacidade de plantio anual, com os respectivos limites inferiores e superiores.

$$\text{renov.anual.min} : \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m] \geq 3395; \quad \forall m = 1..6 \quad (5)$$

$$\text{renov.anual.max} : \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m] \leq 3850; \quad \forall m = 1..6 \quad (6)$$

A Equação 7 e 8 também trata a respeito da capacidade de plantio, mas no âmbito mensal.

$$\text{renov.mes.min} : \sum_i \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m] \geq RAW_min[j]; \quad \forall j= 1..4,9..11 \quad \forall m= 1..6 \quad (7)$$

$$\text{renov.mes.max} : \sum_i \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m] \leq RAW_max[j]; \quad \forall j=1..4,9..11 \quad \forall m=1..6 \quad (8)$$

A Equação 9 trata a respeito da limitação de transporte, no quesito do raio médio ponderado, entre diferentes áreas por mês.

$$\text{transp.mes} : \sum_i \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m] \cdot DA[i] \leq \sum_i \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m] \cdot RMP; \quad (9)$$

$$\forall j = 1..4, 9..11, \forall m = 1..6$$

Nas Equações de 10 a 16 estão inseridas as restrições quanto ao mês de plantio, assim como indicados os possíveis meses correspondentes para colheita, o que está explicitado no Quadro 15.

$$\text{plantio.W.jan} : \sum_j W[i, 1, k, l, m] = Xj[i, 4, k, l, m + 1] + Xj[i, 5, k, l, m + 1] + Xj[i, 6, k, l, m + 1] + Xj[i, 7, k, l, m + 1] + Xj[i, 8, k, l, m + 1]; \quad (10)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 1..6$$

$$\text{plantio.W.fev} : \sum_j W[i, 2, k, l, m] = Xf[i, 5, k, l, m + 1] + Xf[i, 6, k, l, m + 1] + Xf[i, 7, k, l, m + 1] + Xf[i, 8, k, l, m + 1]; \quad (11)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 1..6$$

$$\text{plantio.W.mar} : \sum_j W[i, 3, k, l, m] = Xm[i, 6, k, l, m + 1] + Xm[i, 7, k, l, m + 1] + Xm[i, 8, k, l, m + 1]; \quad (12)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 1..6$$

$$\text{plantio.W.abr} : \sum_j W[i, 4, k, l, m] = Xa[i, 7, k, l, m + 1] + Xa[i, 8, k, l, m + 1]; \quad (13)$$

$$\forall i = 1..40; \forall k = \text{VARIED.}; \forall l = \text{AMB.}; \forall m = 1..6$$

$$\text{plantio.W.set} : \sum_j W[i, 9, k, l, m] = Xs[i, 9, k, l, m + 1] + Xs[i, 10, k, l, m + 1] + Xs[i, 11, k, l, m + 1]; \quad (14)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 1..6$$

$$\text{plantio.W.out} : \sum_j W[i, 10, k, l, m] = Xo[i, 10, k, l, m + 1] + Xo[i, 11, k, l, m + 1]; \quad (15)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 1..6$$

$$\text{plantio.W.nov} : \sum_j W[i, 11, k, l, m] = Xn[i, 11, k, l, m + 1]; \quad (16)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 1..6$$

Nas Equações de 17 a 24 corresponde a um totalizador das quantias totais colhidas em determinado mês, de acordo com os possíveis meses de plantio.

$$\text{acum.X.abr} : \sum_j X[i, 4, k, l, m] = Xj[i, 4, k, l, m]; \quad (17)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 2..7$$

$$\text{acum.X.mai} : \sum_j X[i, 5, k, l, m] = Xj[i, 5, k, l, m] + Xf[i, 5, k, l, m]; \quad (18)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 2..7$$

$$\text{acum.X.jun} : \sum_j X[i, 6, k, l, m] = Xj[i, 6, k, l, m] + Xf[i, 6, k, l, m] + Xm[i, 6, k, l, m]; \quad (19)$$

$$\forall i = 1..40 \quad \forall k = \text{VARIED.} \quad \forall l = \text{AMB.} \quad \forall m = 2..7$$

$$acum.X.jul : \sum_j X[i, 7, k, l, m] = Xj[i, 7, k, l, m] + Xf[i, 7, k, l, m] + Xm[i, 7, k, l, m] + Xa[i, 7, k, l, m]; \quad \forall i = 1..40 \quad \forall k = VARIED. \quad \forall l = AMB. \quad \forall m = 2..7 \quad (20)$$

$$acum.X.ago : \sum_j X[i, 8, k, l, m] = Xj[i, 8, k, l, m] + Xf[i, 8, k, l, m] + Xm[i, 8, k, l, m] + Xa[i, 8, k, l, m]; \quad \forall i = 1..40 \quad \forall k = VARIED. \quad \forall l = AMB. \quad \forall m = 2..7 \quad (21)$$

$$acum.X.set : \sum_j X[i, 9, k, l, m] = Xs[i, 9, k, l, m]; \quad \forall i = 1..40 \quad \forall k = VARIED. \quad \forall l = AMB. \quad \forall m = 2..7 \quad (22)$$

$$acum.X.out : \sum_j X[i, 10, k, l, m] = Xs[i, 10, k, l, m] + Xo[i, 10, k, l, m]; \quad \forall i = 1..40 \quad \forall k = VARIED. \quad \forall l = AMB. \quad \forall m = 2..7 \quad (23)$$

$$acum.X.nov : \sum_j X[i, 11, k, l, m] = Xs[i, 11, k, l, m] + Xo[i, 10, k, l, m] + Xn[i, 11, k, l, m]; \quad \forall i = 1..40 \quad \forall k = VARIED. \quad \forall l = AMB. \quad \forall m = 2..7 \quad (24)$$

A Equação 25 limita o plantio de uma respectiva variedade em no máximo 15% da quantidade total plantada por ano.

$$varietal : \sum_i \sum_j \sum_l X[i, j, k, l, m] \leq \sum_j Qtd_W[j, m] \cdot LPV; \quad \forall k = VARIED. \quad \forall m = 1..6 \quad (25)$$

As Equações 26 e 27 são utilizadas para dimensionar de forma homogênea, entre os meses de colheita, os limites inferiores e limites superiores de colheita. Desta forma, garante-se que não haverá excesso de moagem, entre os meses de colheita, sob a análise do ciclo produtivo em algum dos anos, considerando-se os seis anos de análise.

$$qtd.X.min : \sum_i \sum_k \sum_l X[i, j, k, l, m] \geq RAX_min[j]; \quad \forall j = 4..11; \quad \forall m = 2..7 \quad (26)$$

$$qtd.X.max : \sum_i \sum_k \sum_l X[i, j, k, l, m] \leq RAX_max[j]; \quad \forall j = 4..11; \quad \forall m = 2..7 \quad (27)$$

As Equações 28 e 29 são utilizadas para a determinação, na forma de $\{0,1\}$, colocadas sob a forma de matrizes, cujo significado são é zero (0) para ausente e um (1) para presente, envolvendo os conjuntos de ambiente de produção agrícola, cujo significado é contextualizar o ambiente produtivo da respectiva área; e para os conjuntos de ambientes de produção adaptáveis para cada variedade de cana-de-

açúcar, cujo significado é para contextualizar as adaptabilidades dos ambientes de acordo com as variedades de cana-de-açúcar.

$$APA.VA.W : \sum_j \sum_m W[i, j, k, l, m] \cdot APA[i, l] \cdot VA[k, l] = \sum_j \sum_m W[i, j, k, l, m]; \quad (28)$$

$$\forall i=1..40 \quad \forall k=VARIED. \quad \forall l=AMB.$$

$$APA.VA.X : \sum_j \sum_m X[i, j, k, l, m] \cdot APA[i, l] \cdot VA[k, l] = \sum_j \sum_m X[i, j, k, l, m]; \quad (29)$$

$$\forall i=1..40 \quad \forall k=VARIED. \quad \forall l=AMB.$$

As Equações 30 e 31 são utilizadas para determinar a quantia de hectares de cana-de-açúcar que foi plantada e colhida por mês e ano.

$$Qtd.W.mes.ano : Qtd_W[j, m] = \sum_i \sum_k \sum_l W[i, j, k, l, m]; \quad \forall j=1..4, 9..11 \quad \forall m=1..6 \quad (30)$$

$$Qtd.X.mes.ano : Qtd_X[j, m] = \sum_i \sum_k \sum_l X[i, j, k, l, m]; \quad \forall j=4..11; \quad \forall m=2..7 \quad (31)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Otimização

O tempo computacional gasto para a otimização foi de 5 minutos e 33 segundos, através de um *notebook* com processador Intel Core i5-3230M, CPU de 2,60 GHz e com 6 GB de memória RAM. O otimizador necessitou de 22.879 iterações, e precisou alocar 1.285,1 MB de memória, para a resolução do modelo.

4.2. Resultados de Plantio

O sistema do ciclo produtivo está inserido no período de seis anos, o qual envolve o plantio e mais cinco anos de cortes de cana-de-açúcar. Como esperado, de acordo com a restrição da Equação 4, todas as áreas, em algum ano m , serão submetidas ao processo de plantio da área agrícola, ou seja, não ocorrerá “ociosidade” de áreas.

Como todas as áreas disponíveis foram efetivamente utilizadas na otimização do modelo matemático, a Análise de Sensibilidade possível de ser realizada é referente ao Preço Sombra, cujo aumento em uma unidade disponível de área possibilitará agregar ganhos na função objetivo. Tais possíveis ganhos têm o intervalo de variação entre R\$ 6.435,43 a R\$ 6.470,10 por hectare, conforme apresentado no Quadro 21.

A quantia total de hectares plantados por ano e o desmembramento mensal deste processo estão demonstrados no Quadro 22. Desmembrando o processo de plantio em cana de ano e meio, cujo plantio ocorre entre os meses de janeiro até abril, e em cana de ano, cujo plantio ocorre entre os meses de setembro a novembro, verifica-se que há diferenças entre as médias de plantio mensal. Analisando-se os meses de janeiro a abril, no período de seis anos, obtêm-se uma média mensal de plantio de 545,0 hectares; e para os meses de setembro a novembro, obtêm-se uma média mensal de plantio de 500,1 hectares.

Para a análise sobre quais áreas serão plantadas e sobre o ano em que o processo ocorrerá, podem-se apresentar os dados de forma agrupada por áreas e ano. No Quadro 23 são apresentados os dados com maior nível de detalhamento. Através da otimização da proposta de modelagem matemática são geradas as informações sobre o plantio, nas áreas agrícolas, disponibilizando quais devem ser as quantias anuais e em quais meses, do respectivo ano m , devem ocorrer o processo de plantio

agrícola. Portanto, das 40 áreas agrícolas disponíveis, estas foram desmembradas em 179 talhões, com características próprias.

QUADRO 21. Margem de contribuição por hectare (R\$ ha⁻¹)

Área	Ganho Adicional	Área	Ganho Adicional
A1	6.470,10	A21	6.470,10
A2	6.470,10	A22	6.470,10
A3	6.470,10	A23	6.455,24
A4	6.470,10	A24	6.470,10
A5	6.469,39	A25	6.470,10
A6	6.468,68	A26	6.455,24
A7	6.470,10	A27	6.470,10
A8	6.470,10	A28	6.470,10
A9	6.470,10	A29	6.470,10
A10	6.470,10	A30	6.470,10
A11	6.470,10	A31	6.470,10
A12	6.470,10	A32	6.470,10
A13	6.470,10	A33	6.470,10
A14	6.470,10	A34	6.470,10
A15	6.470,10	A35	6.435,43
A16	6.470,10	A36	6.435,43
A17	6.470,10	A37	6.470,10
A18	6.457,36	A38	6.435,43
A19	6.470,10	A39	6.470,10
A20	6.470,10	A40	6.435,43

QUADRO 22. Área de plantio de cana por ano safra

Mês de Plantio	Quantia de Plantio (ha)						Média
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	
Janeiro	550,0	550,0	530,0	530,0	550,0	530,0	540,0
Fevereiro	550,0	530,0	550,0	550,0	550,0	550,0	546,7
Março	530,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	546,7
Abril	550,0	550,0	550,0	550,0	530,0	550,0	546,7
Setembro	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0
Outubro	550,0	445,0	410,0	436,4	550,0	550,0	490,2
Novembro	395,3	515,0	515,0	515,0	410,0	410,0	460,0
Total	3.675,3	3.690,0	3.655,0	3.681,4	3.690,0	3.690,0	3.680,3

QUADRO 23. Quantia de plantio por áreas e ano

Área	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Total
A1	64,8	129,6	70,0	259,2	61,4	393,1	978,2
A2	213,1	411,3	436,2	143,3	734,6	329,5	2267,9

Continuação QUADRO 23.

Área	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Total
A3	68,5	76,0	666,5	253,4	101,2	252,4	1418,0
A4	0,0	9,2	0,0	12,9	0,0	64,3	86,4
A5	70,1	0,0	51,1	0,0	0,0	0,0	121,2
A6	133,8	137,2	0,0	201,2	0,0	0,0	472,2
A7	71,3	0,0	0,0	113,8	12,1	0,0	197,2
A8	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
A9	120,6	0,0	0,0	0,0	0,0	105,8	226,4
A10	502,2	247,5	62,2	532,3	70,0	136,6	1550,9
A11	414,4	0,0	169,4	70,0	0,0	216,9	870,6
A12	104,5	393,4	0,0	0,0	0,0	0,0	497,9
A13	0,0	5,7	0,0	37,2	0,0	0,0	42,9
A14	59,1	0,0	81,7	0,0	0,0	0,0	140,8
A15	15,0	0,0	0,0	143,4	0,0	249,7	408,2
A16	312,9	0,0	0,0	101,2	188,2	0,0	602,3
A17	10,3	457,6	0,0	0,0	864,1	0,0	1332,0
A18	38,8	0,0	0,0	43,8	102,4	20,9	205,9
A19	0,0	0,0	0,0	98,2	0,0	0,0	98,2
A20	0,0	0,0	66,2	0,0	0,0	0,0	66,2
A21	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2
A22	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	0,0	50,1
A23	0,0	106,4	0,0	0,0	199,6	0,0	306,0
A24	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4
A25	0,0	38,5	0,0	100,8	1,2	0,0	140,5
A26	0,0	0,0	0,0	0,0	70,9	0,0	129,1
A27	485,6	1145,8	1272,4	552,9	515,4	900,2	4872,4
A28	0,0	0,0	0,0	0,0	45,7	273,9	319,6
A29	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	70,0	21,4
A30	0,0	34,1	0,0	70,2	0,0	0,0	104,3
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	75,4	0,0	75,4
A32	0,0	0,0	0,0	91,6	0,0	0,0	91,6
A33	406,1	10,7	181,7	441,8	289,3	160,5	1490,1
A34	138,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,8
A35	166,0	142,6	399,0	162,8	33,5	228,2	1132,0
A36	142,6	0,0	1,0	8,7	147,0	0,0	299,3
A37	63,1	82,3	0,0	0,0	0,0	26,2	171,6
A38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6	32,6
A39	54,2	110,0	0,0	98,1	138,4	87,6	488,4
A40	0,0	140,4	138,0	144,4	39,5	141,5	603,8
Total	3.675,3	3.690,0	3.655,0	3.681,4	3.690,0	3.690,0	22.081,6

Nesse sentido, o gestor pode realizar a programação e a alocação de recursos, tais como máquinas, equipamentos, mão-de-obra e insumos agrícolas, de forma prévia e estruturada.

No Apêndice A encontram-se os Quadros com o detalhamento do plantio das áreas por mês e separadas por ano. Na estrutura das restrições, a Equação 23, cuja função é de limitar a utilização de uma única variedade de cana-de-açúcar em 15% do total plantado em um ano m . As variedades de cana-de-açúcar, que foram selecionadas através do processo da modelagem de plantio são apresentadas no Quadro 24.

QUADRO 24. Distribuição (%) de variedades do sistema de produção otimizado visando o plantio por ano

Variedades	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Média
CTC11	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
CTC19	11,0	12,4	7,5	10,3	11,1	9,6	10,3
CTC20	12,6	12,9	12,2	12,7	12,9	12,9	12,7
CTC7	2,4	0,7	5,0	2,7	0,9	1,7	2,3
RB835054	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
RB855156	0,0	0,0	1,1	0,2	1,1	1,8	0,7
RB867515	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
RB935744	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
RB966928	14,0	14,0	14,1	14,0	14,0	14,0	14,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Os resultados apresentados mostram uma predominância das variedades do tipo RB em 69,7%. As variedades do tipo CTC, atingiram, conseqüentemente, 30,3%. A proporção de plantio de variedades RB é coerente com a Figura 1, em que se apresenta o plantio de variedades RB em 67%.

Em função dos parâmetros de Pol da cana, as variedades CTC11, RB835054, RB867515 e RB935744 possuem a participação em 15% do plantio, valor percentual limitado através da Equação 25.

4.3. Resultados de Colheita

Conforme apresentado no Quadro 15, e utilizado nesta proposta de modelagem de plantio e colheita, de acordo com o mês que ocorre o plantio, há possibilidade de que ocorra, em diferentes meses, o processo de colheita no ano subsequente. Não há uma relação única, entre o mês de plantio com o mês de colheita. De acordo com o Quadro 17, cujo objetivo é o de balancear entre as novas áreas de colheita, após processo de plantio no ano subsequente, a fim de garantir um balanceamento mais homogêneo em questão das quantidades moídas.

O resultado da otimização da produção obtida pela colheita, para a função objetivo, cuja demonstração encontra-se na Equação 3, foi de R\$ 213.442.897,83 por safra agrícola. Este valor refere-se ao faturamento bruto da área agrícola, sem a contabilização dos custos inerentes ao processo agrícola.

A estabilização da colheita, após os anos iniciais de plantio, é apresentada no Quadro 25. Tal estabilização inicia-se a partir do sexto ano, uma vez que, no primeiro ano realiza-se o plantio e nos próximos cinco anos ter-se-á o acúmulo de colheita. Após a estabilização da colheita, a cada ano seguinte, há um conjunto de áreas que são renovados para replantio, e um conjunto de áreas, compreendido no intervalo de cinco anos de colheita. O processo de estabilização da colheita de cana-de-açúcar, ocorreu da mesma forma como o demonstrado por Colin (2009). Segundo o autor, a partir do sexto ano a unidade agroindustrial teve a estabilização da colheita. Neste trabalho a estabilização da colheita de cana-de-açúcar está em 18.399,0 hectares colhidos por safra.

QUADRO 25. Estabilização da área de colheita (ha) ao longo do tempo

Ano	Plantio	Colheita	Colheita Acumulada
1	3.675,3	-	-
2	3.690,0	3.675,3	3.675,3
3	3.655,0	3.690,0	7.365,3
4	3.681,4	3.655,0	11.020,3
5	3.690,0	3.681,4	14.701,7
6	3.690,0	3.690,0	18.391,7
7	-	3.690,0	18.406,4

Considerando que a operação de plantio é cíclica e periódica, no ano 7 ao final da contabilização do ciclo de seis anos, reinicia-se o plantio a partir das áreas delimitadas ao ano 1 para um novo ciclo de produção e assim, sucessivamente, a cada ano safra.

4.4. Planejamento Tático do Plantio e Colheita

Na etapa de planejamento tático, atua-se com o horizonte de tempo para a tomada de decisão, considerando-se o intervalo de tempo como período mensal ao período anual. Através da otimização do modelo matemático obtiveram-se as informações referentes à quantidade de hectares que deveriam ser plantados e colhidos

em cada área e referentes à determinação do mês e ano para o respectivo plantio e colheita. Outra informação gerada pelo processo de otimização foi relativa à determinação sobre qual variedade de cana-de-açúcar seria alocada para cada área de plantio, de acordo com as possíveis escolhas, conforme o Quadro 14. O resultado do Planejamento Tático de Plantio e Colheita encontra-se no Apêndice B.

4.5. Análise de Sensibilidade Aplicada à Colheita

As variáveis de colheita selecionadas na otimização, e apresentadas no Apêndice B, são ditas como variáveis básicas. Porém, caso o tomador de decisão tenha a necessidade de alocar, junto ao conjunto solução, uma variável não-básica, esta representará uma redução no ganho obtido na função objetivo. Portanto, o custo reduzido representa a adição de uma unidade da variável não-básica, incorporando-a ao conjunto de solução ótima. Devido ao extenso número de variáveis, foram disponibilizados no Apêndice C alguns valores dos custos reduzidos em diferentes áreas agrícolas, em diferentes variedades e momentos de colheita (ano e mês).

Analisando-se, ainda, a questão das variedades de cana-de-açúcar, sob a perspectiva do custo reduzido, no Quadro 26 são apresentadas as variedades em relação aos meses de colheita, que possuem maior percentual do custo reduzido, calculados durante o processo de otimização do sistema de produção.

Por meio dos dados obtidos na otimização, e disponíveis no Apêndice C, é possível concluir que algumas variedades de cana-de-açúcar, quando acrescidas em uma unidade (hectares), na solução ótima do modelo, têm maior impacto perante outras. No Quadro 27, é possível verificar que seis variedades, CTC4; CTC9; CTC19; CTC16; RB867515 e CTC6, compõem mais de 70% das variedades constituídas dentro do conjunto de variedades pertencentes ao custo reduzido.

QUADRO 26. Distribuição (%) mensal do custo reduzido de atividades de colheita relacionadas com variedades de cana no sistema otimizado

Variedades	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
CTC11	0,00	0,00	0,00	3,37	0,00	0,00	0,00	0,00
CTC14	3,05	0,00	0,00	2,92	0,00	0,00	0,00	10,91
CTC15	0,00	0,00	18,09	0,00	21,02	18,75	0,00	6,00
CTC16	0,00	12,47	11,43	27,18	0,00	0,00	0,00	0,00
CTC17	0,00	0,00	9,68	23,34	0,00	0,00	14,76	0,00

Continuação QUADRO 26.

Variedades	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
CTC19	3,05	12,54	0,00	10,15	0,00	0,00	0,00	0,00
CTC2	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00
CTC25	0,00	0,00	0,00	0,04	5,42	0,00	0,41	35,46
CTC4	3,60	18,74	4,02	0,00	4,02	0,00	0,00	2,52
CTC6	12,84	6,29	0,00	7,55	0,00	25,00	0,00	3,99
CTC7	0,00	0,00	0,00	0,00	7,81	0,00	4,73	1,68
CTC9	0,00	18,68	8,80	0,00	2,93	0,00	0,00	0,00
RB835054	0,00	0,00	17,59	0,00	0,00	0,00	0,00	35,25
RB855156	0,00	0,00	0,00	25,46	15,54	0,00	5,32	0,00
RB855453	0,00	6,21	6,64	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00
RB855536	14,13	6,19	0,00	0,00	5,22	0,00	0,00	0,00
RB867515	24,70	6,32	0,00	0,00	11,16	0,00	39,92	0,00
RB925211	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RB925345	5,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RB935744	4,81	6,29	10,55	0,00	0,00	20,83	0,00	0,00
RB956911	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,73	0,00
RB965902	3,37	6,27	8,80	0,00	26,35	0,00	0,00	0,00
RB966928	3,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RB975201	14,44	0,00	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68
RB985476	3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	27,08	30,13	2,52
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

QUADRO 27. Composição (%) de custo reduzido de atividades de colheita relacionadas com variedades de cana no sistema otimizado

Variedade	Composição	Acumulado
CTC4	17,48	17,48
CTC9	17,28	34,76
CTC19	11,67	46,44
CTC16	11,63	58,07
RB867515	6,98	65,05
CTC6	6,37	71,41
RB855536	6,17	77,58
RB965902	6,06	83,64
RB935744	6,06	89,70
RB855453	5,76	95,45
RB835054	0,93	96,38
CTC25	0,87	97,25
RB975201	0,51	97,76
RB985476	0,48	98,23
CTC15	0,39	98,63

Continuação QUADRO 27.

Variedade	Composição	Acumulado
CTC14	0,36	98,99
CTC17	0,24	99,23
RB855156	0,19	99,42
RB925345	0,16	99,58
CTC2	0,13	99,71
CTC7	0,12	99,83
RB966928	0,10	99,94
RB956911	0,04	99,98
RB925211	0,01	99,99
CTC11	0,01	100,00

5. CONCLUSÃO

A utilização de modelagem matemática, para representar, de forma mais fidedigna, um sistema real de plantio, de colheita e de transporte de cana-de-açúcar, por meio do uso de programação linear e inteira visando à otimização desse sistema, conduz a resultados que auxiliam os tomadores de decisão em diversas questões do gerenciamento agrícola.

As principais questões que puderam ser respondidas são as que dizem respeito ao período adequado para a realização do plantio de determinada área ou talhão e para a realização da colheita a fim de se maximizar o potencial produtivo, de acordo com a variedade de cana-de-açúcar selecionada. Além disto, obteve-se o gerenciamento da colheita, em função de restrições tecnológicas como, por exemplo, a capacidade de moagem, que teve atuação de balancear de forma homogênea a colheita entre os meses de safra.

Outra restrição tecnológica avaliada foi em função da capacidade de transporte, para que as áreas, no momento da sua respectiva colheita, estivessem dentro do raio médio ponderado da usina. Desta forma, garante-se a não ruptura do processo de suprimento de matéria-prima, proveniente da área agrícola para a área industrial da usina.

Questões sobre a análise de sensibilidade, são essenciais para auxiliar os tomadores de decisão no gerenciamento agrícola. Por meio do modelo matemático proposto, tem-se a possibilidade de avaliar o quanto pode-se agregar ao resultado da função objetivo a cada incremento de disponibilidade referente às áreas agrícolas. Por meio da análise de sensibilidade, sob a análise do custo reduzido (Apêndice C), pode-se constatar que a alocação de variedades de cana-de-açúcar não-básicas, em determinados épocas de colheita, pode gerar decréscimos no resultado final da função objetivo.

Os resultados advindos do modelo matemático proposto serão mais precisos e estarão mais próximos à realidade de um sistema otimizado de produção de cana-de-açúcar, o quanto mais obtenha-se de exatidão dos dados utilizados referentes as curvas de maturação fornecidas pelos detentores das variedades, para diversas regiões e diferentes ambientes de produção. As informações utilizadas na otimização do sistema de produção foram aquelas que se encontram disponíveis nos catálogos promocionais dos principais detentores de variedades de cana-de-açúcar no Brasil, que não apresenta os seus dados segmentados por região física ou edafoclimática. Assim,

havendo informações adaptadas para cada região, pode-se diminuir os riscos sobre os quais a tomada de decisão esteja submetida no gerenciamento agrícola de uma empresa sucroenergética.

Outro aspecto que poderia acrescentar melhores resultados no processo de otimização é o relativo à informação que se refere ao parâmetro da produtividade. Nesta proposta de modelagem matemática de plantio e colheita de cana-de-açúcar, adotou-se uma produtividade média constante para todas as áreas agrícolas e para todas e quaisquer variedades selecionadas de cana-de-açúcar. Para melhor representatividade do modelo, sugere-se, para trabalhos futuros, que se tenha o conhecimento referente ao comportamento da produtividade das respectivas variedades nos diferentes ambientes de produção, nos quais seja possível alocar as variedades de cana-de-açúcar.

Além disto, torna-se relevante para trabalhos futuros, é a inserção de um modelo matemático dedicado ao replantio das áreas agrícolas, após o término do ciclo produtivo. Nesta proposta de trabalho, não foi contemplado o replantio em virtude da complexidade agrícola, pois ao final do ciclo produtivo, pode ou não ser acrescida, na respectiva área agrícola, a inserção de outra cultura para a realização da rotação de culturas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAES, N.A.M.; MAGALHÃES, P.S.G; DONZELLI, J.L. Agricultural management technology in the sugarcane ethanol industry, p.505-518. In: CORTEZ, L.A.B. (Coord.). **Sugarcane bioethanol - R&D for Productivity and Sustainability**, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2014.<http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-Sugarcane-SUGAR_CANE_BIOETHANOL_46>. Acesso em 14 mai. 2014.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2015** – ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

BETTONI, L.M.M., **Modelos PLIM para otimização de circuitos da rede de distribuição secundária de energia elétrica**. 2011. 152f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BOLONHEZI, A.C. **Melhoramento Genético e Variedades**. Faculdade de Engenharia, Departamento de Fitotecnia, Unesp, Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitotecniatecnologiadealimentosocioeconomia716/antoniocesarbolonhezi/melhoramento-evariedades2013.pdf>>. Acesso em 18 ago. 2015.

BORBA, M.M.Z.; BAZZO, A.M. Estudo Econômico do Ciclo Produtivo da Cana-de-Açúcar para Reforma de Canavial, em Área de Fornecedor do Estado de São Paulo. In: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, SOBER, 47º Congresso, 26 a 30 de Julho, 2009. **Anais Eletrônicos...**Porto Alegre: 2009. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/1169.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

CALIARI, M.; JUNIOR, M.S.S.; SERRA, G.E. Programação matemática aplicada à colheita de cana de açúcar com ênfase na recuperação máxima de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Topical**, v.35, n.1, p.1-8, 2004.

CÂMARA, G.M.S. **Cana-de-açúcar: estratégias de plantio**. Departamento de Produção Vegetal, Esalq, Markestrat/USP, 2014. Disponível em: <www.socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/material-palestras-2.pdf>. Acesso em 17 jul. 2015.

CAVALCANTE, E.P.; PRADO, H. Ambientes de Produção de Cana-de-Açúcar de Latossolos da Região de Araxá-MG. **Nucleus**, v.7, n.2, p.115-124, 2010.

COLIN, E.C. Mathematical programming accelerates implementation of agro-industrial sugarcane complex. **European Journal of Operations Research**, v.199, p.232-235, 2009.

CONAB. **Séries Históricas**. Cana-de-açúcar – Brasil: Safras 2005/06 a 2015/16. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 09 jan. 2016.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. **Variedades CTC**. Piracicaba: CTC, 2013, 34p.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R.A.; ZAMBON, J.L.C.; FILHO, J.C.B. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro, 2010, 136p.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (editores). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: IAC, 2010. 882p.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2.ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FLORENTINO, H.O.; ISLER, P.R.; RAMOS, R.P.; NERVIS, J.J. Modelo matemático para o plantio e colheita da cana-de-açúcar. In: CMAC - Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, 2013, Bauru. **Anais...Bauru: UNESP, 2013. p.21-26.**

FOURER, R.; GAY, D.M.; KERNIGHAN, B.W. (editores). **A Modeling Language for Mathematical Programming**. 2.ed. Duxbury: Thomson Press. p.526, 2003. Disponível em: <<https://www.artelys.com/uploads/pdfs/ampl-book.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

GHELLER, A.C.A. Plantar cana ou variedades de cana-de-açúcar? **Revista Coplana**, p.24-25, fev., 2005.

HIGGINS, A. Scheduling of road vehicles in sugar cane transport: A case study at an Australian sugar mil. **European Journal of Operations Research**, v.170, p.987-1000, 2006.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9.ed., Porto Alegre: Mc Graw Hill, 2013. 1005p.

ISLER, P.R.; RAMOS, R.P.; FLORENTINO, H.O.; CANTANE, D.R. Otimização aplicada ao planejamento de plantio e colheita da cana-de-açúcar utilizando graus-dias. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XLVI, 2014, Salvador. **Anais...Salvador: SOBRAPO, 2014. p.757-767.**

JENA, S.D; POGGI, M. Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming. **European Journal of Operations Research**, v.230, p.374-384, 2013.

LANDELL, M.G.A.; PRADO, H.; PINTO, L.R.; CRESTE, S.; XAVIER, M.A.; DOS ANJOS, I.A.; VASCONCELOS, A.C.; BIDÓIA, M.A.P.; DA SILVA, D.N.; SILVA, M.A. Seleção de Novas Variedades de Cana-de-Açúcar e seu Manejo de Produção. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.110, 2005, p.18-24.

LINS, M.P.E; CALÔBA, G.M. **Programação Linear: com a aplicação em teoria dos jogos e avaliação de desempenho (data envelopment anaysis)**. 1.ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 298p.

MAGALHÃES, P.G. Qualidade de matéria-prima entregue nas usinas. 2008, Lorena. In: **Workshop Produção de Etanol: qualidade de matéria-prima**. Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI-Unicamp.

MARQUES, P.V. (Coord.) Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009. 194p. **Relatório...** Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

McDONALD, L.M.; LISSON, S.N. The effect of planting and harvest time on sugarcane productivity. In: **Australian Agronomy Conference, 10th, Hobart, 2001. Proceedings...** Hobart, 2001. 5p.

McDONALD, L.M The effect of time of ratooning on sugarcane growth in the Burdekin. In: **Proceedings-australian society of sugar cane technologists.** PK Editorial Services; p.261, 2006.

MILAN, E.L.; FERNANDEZ, S.M.; ARAGONES, L.M.P. Sugar cane transportation in Cuba, a case study. **European Journal of Operational Research**, v.174, n.1, p.374-386, 2006.

OLIVEIRA, A.S.; RINALDI, D.A.; TAMANINI, C; VOLL, C.E.; HAULY, M.C.O. Fatores que Interferem na Produção de Dextrana por Microrganismos Contaminantes da Cana-de-Açúcar. Londrina. **Seminário: Ciências Exatas e Tecnológica**, v.23, n.1, p.99-104, dez. 2002.

ONGIN’jo, E.; OLWENY, C.O. Determination of optimum harvesting age for sugarcane ratoon crop at Kenyan Coast. **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**, v.2, n.1, p.113-118, 2011.

ORPLANA. **Procedimentos e normas para o acompanhamento de análise da qualidade da cana-de-açúcar.** Disponível em: <www.orplana.com.br/manual_2006.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2014.

PAIVA, R.P. **Modelagem do planejamento agregado da produção em usinas cooperadas do setor sucroenergético utilizando programação matemática e otimização robusta.** 2009. 243f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – DEP/UFSCar, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.110, 2005, p.12-17.

PUPULIN, R.P. **Sistema de apoio para a programação de colheita em usina de cana-de-açúcar.** 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – FEM / UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

QUEIROZ, D.M; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. **Engenharia de Sistemas Agrícolas.** Dourados: UFGD/FCA, 2015, 173p.

RAMÃO, F.P.; SCHNEIDER, I.E; SHIKIDA, P.A. Padrão tecnológico no corte de cana de açúcar: um estudo de caso no estado do Paraná. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v.54, n.1, p.109-122, 2007.

RESENDE, S.E.A. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo Roxo, na região de Ribeirão Preto - SP.** 2000. 85f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Censo Varietal 2015.** Araras: UFSCar/PMGCA/RIDESA, 2015. (Boletim Técnico s/n).

SANTOS, F.; BORÉM, A. **Cana-de-Açúcar-do Plantio à Colheita.** 2.ed. Viçosa: UFV, 2016. 290p.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F.; MARCHIORI, L.F.S. Modelagem da maturação e otimização do corte na cana-de-açúcar. **STAB**, v.25, n.3, p.34-38, 2007.

SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção em cana-de-açúcar.** Piracicaba: Ed. Livroceres, 2006. 415p.

SILVA, A.F., RIBEIRO, I.M; LOPES, P.R. Planejamento otimizado para colheita de cana de açúcar de uma usina sucroalcooleira. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XLIII, 2011, Ubatuba/SP. **Anais...** Ubatuba, SOBRAPO, 2011. p.1242-1254.

SILVA, F.C.; BERGAMASCO, A.F. Levantamento de Modelos Matemáticos Descritos para a cultura da cana-de-açúcar. **Revista Biociências**, Taubaté, v.7, n.1, p.7-14, 2001.

SILVA, J.E. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana de açúcar.** 2006. 145f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, DEP/UFSCar Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

SILVA, M.A.; JERONIMO, E.M.; LÚCIO, A.D. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.979-986, 2008.

SILVEIRA, L.C.I.; KIST, V.; PAULA, T.O.M.; BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de cana-de-açúcar no estado de MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p. 587-593, 2012.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.97, 2002. p. 01-16.

7. APÊNDICE

7.1. Apêndice A

QUADRO 28. Quantia de plantio por área e mês, no ano 1

Área	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Set.	Out.	Nov.	Total
A1	0,0	242,1	0,0	83,2	0,0	0,0	67,9	393,1
A2	94,5	0,0	0,0	196,5	0,0	38,5	0,0	329,5
A3	0,0	82,2	170,2	0,0	0,0	0,0	0,0	252,4
A4	64,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,3
A5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A9	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	69,2	0,0	105,8
A10	136,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	136,6
A11	0,0	0,0	0,0	90,9	126,0	0,0	0,0	216,9
A12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	249,7	0,0	249,7
A16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A18	0,0	0,0	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9
A19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A27	135,8	0,0	0,0	0,0	317,4	105,0	342,1	900,2
A28	0,0	0,0	273,9	0,0	0,0	0,0	0,0	273,9
A29	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0	70,0
A30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A33	0,0	160,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	160,5
A34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A35	0,0	39,0	9,7	179,4	0,0	0,0	0,0	228,2
A36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A37	0,0	26,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2
A38	32,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6
A39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,6	0,0	87,6
A40	66,2	0,0	75,4	0,0	0,0	0,0	0,0	141,5
Total	530,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	410,0	3690,0

QUADRO 29. Quantidade de plantio por área e mês, no ano 2

Área	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Set.	Out.	Nov.	Total
A1	0,0	0,0	129,6	0,0	0,0	0,0	0,0	129,6
A2	107,3	0,0	27,0	276,9	0,0	0,0	0,0	411,3
A3	0,0	76,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,0
A4	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2
A5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A6	0,0	0,0	0,0	137,2	0,0	0,0	0,0	137,2
A7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A8	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
A9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A10	0,0	114,9	0,0	0,0	0,0	132,7	0,0	247,5
A11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	393,4	393,4
A13	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
A14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A17	0,0	0,0	0,0	0,0	457,6	0,0	0,0	457,6
A18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A23	0,0	106,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	106,4
A24	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4
A25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,5	0,0	38,5
A26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A27	333,5	75,1	393,4	0,0	70,0	273,8	0,0	1145,8
A28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,1	34,1
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A33	0,0	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7
A34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A35	0,0	6,6	0,0	135,9	0,0	0,0	0,0	142,6
A36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A37	82,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,3
A38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A39	0,0	0,0	0,0	0,0	22,4	0,0	87,6	110,0
A40	0,0	140,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	140,4
Total	550,0	530,0	550,0	550,0	550,0	445,0	515,0	3690,0

QUADRO 30. Quantia de plantio por área e mês, no ano 3

Área	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Set.	Out.	Nov.	Total
A1	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0
A2	0,0	31,2	0,0	242,9	0,0	162,1	0,0	436,2
A3	206,5	0,0	305,4	0,0	79,9	0,0	74,7	666,5
A4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A5	51,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,1
A6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A10	62,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,2
A11	169,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	169,4
A12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A14	0,0	0,0	0,0	81,7	0,0	0,0	0,0	81,7
A15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,2	0,0	66,2
A21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A22	0,0	0,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	50,1
A23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A27	0,0	421,7	0,0	0,0	410,4	0,0	440,3	1272,4
A28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A29	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	9,6
A30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	181,7	0,0	181,7
A34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A35	0,0	0,0	173,6	225,4	0,0	0,0	0,0	399,0
A36	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
A37	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A40	40,9	97,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,0
Total	530,0	550,0	550,0	550,0	550,0	410,0	515,0	3655,0

QUADRO 31. Quantia de plantio por área e mês, no ano 4

Área	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Set.	Out.	Nov.	Total
A1	0,0	0,0	187,0	72,2	0,0	0,0	0,0	259,2
A2	0,0	56,2	0,0	0,0	87,1	0,0	0,0	143,3
A3	0,0	34,8	218,6	0,0	0,0	0,0	0,0	253,4
A4	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9
A5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A6	0,0	0,0	0,0	201,2	0,0	0,0	0,0	201,2
A7	0,0	0,0	0,0	113,8	0,0	0,0	0,0	113,8
A8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A10	115,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	416,9	532,3
A11	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0	70,0
A12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	0,0	37,2
A14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	143,4	0,0	143,4
A16	0,0	0,0	0,0	0,0	101,2	0,0	0,0	101,2
A17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A18	43,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8
A19	0,0	0,0	0,0	0,0	98,2	0,0	0,0	98,2
A20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A25	100,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,8
A26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A27	0,0	459,0	0,0	0,0	0,0	93,9	0,0	552,9
A28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,2	0,0	70,2
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,6	0,0	91,6
A33	248,3	0,0	0,0	0,0	193,5	0,0	0,0	441,8
A34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A35	0,0	0,0	0,0	162,8	0,0	0,0	0,0	162,8
A36	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7
A37	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,1	98,1
A40	0,0	0,0	144,4	0,0	0,0	0,0	0,0	144,4
Total	530,0	550,0	550,0	550,0	550,0	436,4	515,0	3681,4

QUADRO 32. Quantia de plantio por área e mês, no ano 5

Área	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Set.	Out.	Nov.	Total
A1	61,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,4
A2	34,6	225,7	0,0	217,3	0,0	0,0	257,0	734,6
A3	0,0	0,0	0,0	0,0	101,2	0,0	0,0	101,2
A4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A7	0,0	0,0	0,0	12,1	0,0	0,0	0,0	12,1
A8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A10	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0
A11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A16	150,9	0,0	0,0	0,0	0,0	37,3	0,0	188,2
A17	0,0	0,0	457,6	0,0	0,0	406,5	0,0	864,1
A18	0,0	1,5	0,0	101,0	0,0	0,0	0,0	102,4
A19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A23	116,6	0,0	0,0	83,0	0,0	0,0	0,0	199,6
A24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,2
A26	0,0	0,0	0,0	70,9	0,0	0,0	0,0	70,9
A27	0,0	0,0	0,0	0,0	410,4	105,0	0,0	515,4
A28	0,0	0,0	0,0	45,7	0,0	0,0	0,0	45,7
A29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	75,4	75,4
A32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A33	0,0	289,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	289,3
A34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A35	0,0	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,5
A36	147,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	147,0
A37	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A39	0,0	0,0	22,4	0,0	38,4	0,0	77,6	138,4
A40	39,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5
Total	550,0	550,0	550,0	530,0	550,0	550,0	410,0	3690,0

QUADRO 33. Quantia de plantio por área e mês, no ano 6

Área	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Set.	Out.	Nov.	Total
A1	0,0	242,1	0,0	83,2	0,0	0,0	67,9	393,1
A2	94,5	0,0	0,0	196,5	0,0	38,5	0,0	329,5
A3	0,0	82,2	170,2	0,0	0,0	0,0	0,0	252,4
A4	64,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,3
A5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A9	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	69,2	0,0	105,8
A10	136,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	136,6
A11	0,0	0,0	0,0	90,9	126,0	0,0	0,0	216,9
A12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	249,7	0,0	249,7
A16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A18	0,0	0,0	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9
A19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A27	135,8	0,0	0,0	0,0	317,4	105,0	342,1	900,2
A28	0,0	0,0	273,9	0,0	0,0	0,0	0,0	273,9
A29	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0	70,0
A30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A33	0,0	160,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	160,5
A34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A35	0,0	39,0	9,7	179,4	0,0	0,0	0,0	228,2
A36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A37	0,0	26,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2
A38	32,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6
A39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	87,6	0,0	87,6
A40	66,2	0,0	75,4	0,0	0,0	0,0	0,0	141,5
Total	530,0	550,0	550,0	550,0	550,0	550,0	410,0	3690,0

7.2. Apêndice B

QUADRO 34. Planejamento Tático de Plantio e Colheita

Área	Variedade	Plantio			Colheita		
		Ano	Mês	Quantia (ha)	Ano	Mês	Quantia (ha)
A1	CTC11	1	3	64,8	2	6	64,8
A1	RB835054	2	3	129,6	3	8	129,6
A1	RB835054	3	3	70,0	4	8	70,0
A1	CTC11	4	4	72,2	5	7	72,2
A1	RB835054	4	3	187,0	5	8	187,0
A1	CTC11	5	1	61,4	6	7	61,4
A1	CTC11	6	4	83,2	7	7	83,2
A1	RB835054	6	2	242,1	7	8	242,1
A1	RB935744	6	11	67,9	7	11	67,9
A2	RB835054	1	2	50,4	2	8	50,4
A2	RB966928	1	1	162,7	2	5	162,7
A2	CTC11	2	4	73,5	3	7	73,5
A2	RB835054	2	1	107,3	3	4	107,3
A2	RB835054	2	4	203,4	3	8	203,4
A2	RB867515	2	3	27,0	3	7	27,0
A2	CTC11	3	4	242,9	4	7	242,9
A2	CTC20	3	10	128,9	4	10	128,9
A2	RB935744	3	10	33,3	4	10	33,3
A2	RB966928	3	2	31,2	4	5	31,2
A2	CTC19	4	9	87,1	5	9	87,1
A2	RB966928	4	2	56,2	5	5	56,2
A2	CTC7	5	1	34,6	6	4	34,6
A2	RB835054	5	4	217,3	6	8	217,3
A2	RB935744	5	11	257,0	6	11	257,0
A2	RB966928	5	2	225,7	6	5	225,7
A2	RB835054	6	1	94,5	7	4	94,5
A2	RB867515	6	4	196,5	7	7	196,5
A2	RB935744	6	10	38,5	7	10	38,5
A3	CTC7	1	1	68,5	2	4	68,5
A3	CTC11	2	2	76,0	3	6	76,0
A3	CTC11	3	3	305,4	4	6	305,4
A3	CTC19	3	9	69,6	4	9	69,6
A3	CTC20	3	9	10,3	4	10	10,3
A3	CTC7	3	1	14,8	4	4	14,8
A3	RB835054	3	1	191,8	4	8	191,8
A3	RB935744	3	11	74,7	4	11	74,7
A3	CTC11	4	3	218,6	5	6	218,6
A3	RB835054	4	2	34,8	5	8	34,8
A3	CTC20	5	9	31,6	6	10	31,6
A3	RB835054	5	9	69,6	6	9	69,6

Continuação QUADRO 34.

Área	Variedade	Plantio			Colheita		
		Ano	Mês	Quantia (ha)	Ano	Mês	Quantia (ha)
A3	CTC11	6	3	170,2	7	6	170,2
A3	RB966928	6	2	82,2	7	5	82,2
A4	CTC7	2	1	9,2	3	4	9,2
A4	RB966928	4	1	12,9	5	5	12,9
A4	CTC7	6	1	64,3	7	4	64,3
A5	RB867515	1	4	70,1	2	7	70,1
A5	RB867515	3	1	51,1	4	7	51,1
A6	RB867515	1	4	133,8	2	7	133,8
A6	RB867515	2	4	137,2	3	7	137,2
A6	RB867515	4	4	201,2	5	7	201,2
A7	CTC11	1	4	71,3	2	7	71,3
A7	RB835054	4	4	113,8	5	8	113,8
A7	CTC11	5	4	12,1	6	7	12,1
A8	CTC7	2	1	5,6	3	4	5,6
A9	CTC20	1	9	11,8	2	10	11,8
A9	RB835054	1	4	108,8	2	8	108,8
A9	CTC19	6	9	36,7	7	9	36,7
A9	CTC20	6	10	69,2	7	10	69,2
A10	CTC19	1	9	324,0	2	9	324,0
A10	RB835054	1	3	178,2	2	8	178,2
A10	CTC20	2	10	132,7	3	10	132,7
A10	RB966928	2	2	114,9	3	5	114,9
A10	RB966928	3	1	62,2	4	5	62,2
A10	RB835054	4	1	115,5	5	4	115,5
A10	RB935744	4	11	416,9	5	11	416,9
A10	RB835054	5	3	70,0	6	8	70,0
A10	RB966928	6	1	136,6	7	5	136,6
A11	CTC20	1	10	394,0	2	10	394,0
A11	RB966928	1	2	20,4	2	5	20,4
A11	CTC7	3	1	169,4	4	4	169,4
A11	CTC20	4	9	70,0	5	10	70,0
A11	RB835054	6	4	90,9	7	8	90,9
A11	RB835054	6	9	126,0	7	9	126,0
A12	CTC11	1	3	104,5	2	6	104,5
A12	RB935744	2	11	393,4	3	11	393,4
A13	CTC7	2	1	5,7	3	4	5,7
A13	RB935744	4	10	37,2	5	10	37,2
A14	RB966928	1	2	59,1	2	5	59,1
A14	RB835054	3	4	81,7	4	8	81,7
A15	CTC11	1	2	15,0	2	6	15,0
A15	CTC20	4	10	143,4	5	10	143,4
A15	CTC20	6	10	249,7	7	10	249,7
A16	RB935744	1	11	312,9	2	11	312,9

Continuação QUADRO 34.

Área	Variedade	Plantio			Colheita		
		Ano	Mês	Quantia (ha)	Ano	Mês	Quantia (ha)
A16	RB835054	4	9	101,2	5	9	101,2
A16	RB835054	5	1	150,9	6	4	150,9
A16	RB935744	5	10	37,3	6	10	37,3
A17	RB966928	1	1	10,3	2	5	10,3
A17	CTC19	2	9	457,6	3	9	457,6
A17	CTC11	5	3	457,6	6	6	457,6
A17	CTC20	5	10	406,5	6	10	406,5
A18	RB867515	1	3	38,8	2	7	38,8
A18	RB867515	4	1	43,8	5	7	43,8
A18	RB867515	5	2	1,5	6	7	102,4
A18	RB867515	6	4	101,0	7	7	20,9
A18	RB867515	6	3	20,9	7	7	20,9
A19	CTC19	4	9	98,2	5	9	98,2
A20	CTC20	3	10	66,2	4	10	66,2
A21	RB935744	1	11	19,2	2	11	19,2
A22	CTC20	3	9	50,1	4	10	50,1
A23	RB867515	2	2	106,4	3	7	106,4
A23	RB867515	5	1	116,6	6	7	199,6
A23	RB867515	5	4	83,0	6	7	199,6
A24	CTC7	2	1	6,4	3	4	6,4
A25	RB935744	2	10	38,5	3	10	38,5
A25	CTC7	4	1	100,8	5	4	100,8
A25	RB935744	5	10	1,2	6	10	1,2
A26	RB867515	5	4	70,9	6	7	70,9
A27	CTC11	1	1	152,0	2	6	152,0
A27	RB835054	1	1	138,5	2	4	138,5
A27	RB835054	1	9	75,4	2	9	75,4
A27	RB935744	1	10	119,7	2	11	119,7
A27	CTC11	2	3	393,4	3	6	393,4
A27	CTC20	2	9	70,0	3	10	343,8
A27	CTC20	2	10	273,8	3	10	343,8
A27	RB835054	2	1	8,5	3	4	8,5
A27	RB966928	2	1	325,0	3	5	400,1
A27	RB966928	2	2	75,1	3	5	400,1
A27	CTC19	3	9	205,7	4	9	205,7
A27	RB835054	3	9	204,8	4	9	204,8
A27	RB935744	3	11	440,3	4	11	440,3
A27	RB966928	3	2	421,7	4	5	421,7
A27	CTC11	4	2	13,1	5	6	13,1
A27	CTC20	4	10	93,9	5	10	93,9
A27	RB966928	4	2	445,9	5	5	445,9
A27	CTC19	5	9	410,4	6	9	410,4
A27	RB935744	5	10	105,0	6	11	105,0

Continuação QUADRO 34.

Área	Variedade	Plantio			Colheita		
		Ano	Mês	Quantia (ha)	Ano	Mês	Quantia (ha)
A27	CTC19	6	9	317,4	7	9	317,4
A27	RB835054	6	1	0,1	7	8	0,1
A27	RB935744	6	10	105,0	7	11	447,1
A27	RB966928	6	11	342,1			
A27	RB966928	6	1	135,7	7	5	135,7
A28	RB835054	5	4	45,7	6	8	45,7
A28	CTC11	6	3	273,9	7	6	273,9
A29	CTC20	3	9	9,6	4	10	9,6
A29	CTC20	6	9	70,0	7	10	70,0
A30	RB935744	2	11	34,1	3	11	34,1
A30	CTC20	4	10	70,2	5	10	70,2
A31	RB935744	5	11	75,4	6	11	75,4
A32	CTC20	4	10	91,6	5	10	91,6
A33	CTC11	1	3	143,6	2	6	143,6
A33	RB966928	1	2	262,5	2	5	262,5
A33	CTC11	2	2	10,7	3	6	10,7
A33	CTC20	3	10	181,7	4	10	181,7
A33	CTC11	4	1	248,3	5	6	248,3
A33	CTC19	4	9	193,5	5	9	193,5
A33	RB966928	5	2	289,3	6	5	289,3
A33	RB966928	6	2	160,5	7	5	160,5
A34	CTC19	1	9	80,6	2	9	80,6
A34	CTC20	1	9	58,2	2	10	58,2
A35	RB867515	1	4	166,0	2	7	166,0
A35	RB867515	2	2	6,6	3	8	6,6
A35	RB867515	2	4	135,9	3	7	135,9
A35	RB867515	3	3	173,6	4	6	173,6
A35	RB867515	3	4	225,4	4	7	186,1
A35	RB867515	3	4	225,4	4	8	39,3
A35	RB867515	4	4	162,8	5	7	162,8
A35	RB867515	5	2	33,5	6	7	33,5
A35	RB867515	6	2	39,0	7	8	39,0
A35	RB867515	6	3	9,7	7	6	9,7
A35	RB867515	6	4	179,4	7	7	179,4
A36	RB867515	1	2	142,6	2	8	142,6
A36	RB867515	3	3	1,0	4	6	1,0
A36	RB855156	4	1	8,7	5	4	8,7
A36	RB867515	5	1	147,0	6	8	147,0
A37	RB935744	1	11	63,1	2	11	63,1
A37	RB835054	2	1	82,3	3	4	82,3
A37	CTC11	6	2	26,2	7	6	26,2
A38	RB867515	6	1	32,6	7	8	32,6
A39	CTC7	1	1	18,0	2	4	18,0

Continuação QUADRO 34.

Área	Variedade	Plantio			Colheita		
		Ano	Mês	Quantia (ha)	Ano	Mês	Quantia (ha)
A39	RB935744	1	10	36,3	2	10	36,3
A39	RB835054	2	9	22,4	3	9	22,4
A39	RB935744	2	11	87,6	3	11	87,6
A39	RB935744	4	11	98,1	5	11	98,1
A39	CTC11	5	3	22,4	6	6	22,4
A39	CTC20	5	9	38,4	6	10	38,4
A39	RB935744	5	11	77,6	6	11	77,6
A39	CTC20	6	10	87,6	7	10	87,6
A40	RB867515	2	2	140,4	3	8	140,4
A40	RB855156	3	1	40,9	4	4	40,9
A40	RB867515	3	2	97,2	4	8	97,2
A40	RB867515	4	3	144,4	5	8	144,4
A40	RB855156	5	1	39,5	6	4	39,5
A40	RB855156	6	1	66,2	7	4	66,2
A40	RB867515	6	3	75,4	7	8	75,4

7.3. Apêndice C

QUADRO 35. Custo reduzido da colheita

Área	Variedade	Ano	Mês	Custo Reduzido	Área	Variedade	Ano	Mês	Custo Reduzido
A1	RB855536	3	5	- 40.048,00	A22	CTC16	5	6	- 450,76
A1	RB867515	7	5	- 40.914,90	A22	CTC4	4	8	- 141,53
A1	RB985476	7	10	- 589,45	A22	RB985476	7	11	- 208,04
A2	RB935744	5	4	- 1.040,21	A23	CTC15	5	6	- 366,55
A2	RB965902	2	4	- 728,15	A23	RB867515	5	8	- 198,14
A2	RB855453	6	5	- 40.152,10	A23	RB867515	7	8	- 198,14
A3	RB965902	7	8	- 936,19	A24	CTC16	5	5	- 40.568,10
A3	CTC6	3	9	- 104,02	A24	CTC11	4	7	- 15,57
A3	RB985476	7	10	- 589,45	A24	RB855453	3	8	- 19,11
A4	CTC6	3	4	- 693,47	A25	CTC4	5	4	- 361,60
A4	RB975201	6	4	- 1.040,21	A25	CTC9	3	6	- 346,74
A4	CTC14	3	11	- 901,51	A25	CTC15	6	9	- 312,06
A5	RB867515	5	4	- 1.074,17	A26	CTC4	7	6	- 158,51
A5	CTC17	4	7	- 450,76	A26	CTC15	4	8	- 366,55
A5	CTC17	5	10	- 866,13	A26	CTC15	5	11	- 990,68
A6	RB867515	2	4	- 1.073,47	A27	RB965902	5	6	- 346,74
A6	CTC15	4	8	- 380,00	A27	CTC25	3	8	- 19,11
A6	RB867515	7	10	- 588,04	A27	RB985476	7	11	- 208,04
A7	RB975201	2	4	- 1.040,21	A28	CTC19	2	4	- 658,80
A7	CTC9	3	5	- 40.290,80	A28	CTC17	2	6	- 381,41
A7	CTC25	3	11	- 5.859,84	A28	CTC6	4	9	- 104,02
A8	RB867515	5	4	- 1.074,88	A29	RB855536	2	4	- 79,96
A8	CTC9	5	5	- 40.256,10	A29	CTC19	5	5	- 40.544,10
A8	CTC6	3	11	- 658,80	A29	CTC7	6	10	- 138,70
A9	RB867515	3	4	- 1.074,88	A30	RB855536	5	4	- 77,84
A9	RB966928	4	4	- 728,15	A30	RB965902	4	5	- 40.533,50
A9	RB855156	3	8	- 205,21	A30	CTC6	5	9	- 104,02
A10	RB835054	6	6	- 693,47	A31	CTC2	3	4	- 113,22
A10	CTC7	5	8	- 277,39	A31	CTC11	3	7	- 25,47
A10	CTC4	3	11	- 416,08	A31	RB956911	6	10	- 138,70
A11	CTC19	3	5	- 40.561,10	A32	CTC16	5	5	- 40.117,40
A11	CTC2	4	9	- 138,70	A32	CTC19	2	7	- 196,01
A11	RB835054	3	11	- 5.825,17	A32	RB855536	4	8	- 185,40
A12	RB855536	7	4	- 983,60	A32	RB867515	2	10	- 589,45
A12	CTC9	4	8	- 104,02	A33	RB975201	6	4	- 1.040,21
A12	RB985476	7	10	- 589,45	A33	CTC11	5	7	- 24,05
A13	CTC6	6	4	- 693,47	A33	RB956911	6	10	- 138,70
A13	CTC6	3	7	- 145,77	A34	RB925345	3	4	- 1.144,23
A13	RB975201	3	11	- 277,39	A34	RB975201	4	6	- 173,37
A14	CTC6	5	4	- 693,47	A34	CTC7	7	10	- 138,70

Continuação QUADRO 35.

Área	Variedade	Ano	Mês	Custo Reduzido	Área	Variedade	Ano	Mês	Custo Reduzido
A14	RB855156	4	7	- 491,80	A35	RB867515	3	4	- 1.040,21
A14	CTC14	6	11	- 901,51	A35	CTC15	4	6	- 346,74
A15	RB855536	7	4	- 990,68	A35	RB867515	4	10	- 554,78
A15	CTC16	4	7	- 525,06	A36	CTC4	3	4	- 416,08
A15	RB935744	5	9	- 173,37	A36	CTC25	4	7	- 0,70
A16	CTC6	6	4	- 693,47	A36	RB867515	7	10	- 554,78
A16	RB855453	2	6	- 261,82	A37	RB935744	2	5	- 40.706,80
A16	RB935744	2	9	- 173,37	A37	CTC4	4	8	- 1,41
A17	RB855536	4	4	- 919,91	A37	CTC7	6	11	- 277,39
A17	RB935744	5	6	- 416,08	A38	CTC4	5	5	- 40.394,80
A17	CTC6	6	9	- 104,02	A38	RB855156	7	8	- 346,74
A19	CTC14	6	4	- 658,80	A38	RB867515	7	10	- 55,78
A19	RB925211	5	4	- 104,02	A39	CTC4	3	5	- 40.394,80
A19	CTC9	3	5	- 40.290,80	A39	CTC14	6	7	- 56,40
A19	RB985476	7	9	- 450,76	A39	CTC25	7	10	- 24,27
A21	CTC2	2	4	- 658,80	A40	CTC4	5	5	- 40.464,10
A21	RB985476	6	4	- 710,46	A40	CTC25	4	8	- 173,37
A21	CTC6	7	5	- 40.706,80	A40	RB855156	7	10	- 312,06