

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE
SISTEMAS AMBIENTAIS

**Modelagem espacial da produtividade e rentabilidade econômica do cultivo de
cana-de-açúcar para o Brasil e para a Região MAP**

Letícia de Barros Viana Hissa

Belo Horizonte
Março de 2011.

Letícia de Barros Viana Hissa

Modelagem espacial da produtividade e rentabilidade econômica do cultivo de cana-de-açúcar para o Brasil e para a Região MAP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares-Filho

Belo Horizonte

Março de 2011.

Hissa, Letícia de Barros Viana.

Modelagem espacial da produtividade e rentabilidade econômica do cultivo de cana-de-açúcar para o Brasil e para região do MAP [manuscrito] / Letícia de Barros Viana Hissa. – 2011.

72 f.: il., (color.)

Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011.

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho.


Bibliografia: f. 63-67.

Inclui anexos.

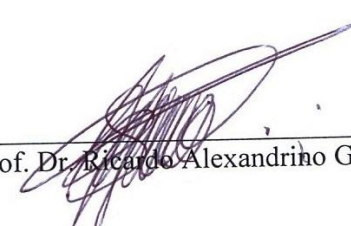
1. Solo – Uso – Teses. 2. Modelagem de dados – Simulação por computador – Teses. 3. Cana-de-açúcar – Cultivo – Teses. 4. Produtividade agrícola – Teses. 5. Economia agrícola – Teses. 6. Fisiologia vegetal – Teses. I. Soares Filho, Britaldo Silveira. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 633.61:519.876.5

Dissertação defendida e aprovada, em 03 de março de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho



Prof. Dr. Ricardo Alexandrino Garcia



Prof. Dr. Marcos Antônio Timbó

Participação através de teleconferência
Prof. Dr. Frank Merry

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Britaldo Silveira Soares-Filho.

Aos meus colegas do Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG

Aos meus amigos, pelos momentos de descontração.

À minha família em especial ao meu namorado Rafael Camargo. Obrigada pelas contribuições, incentivo, e, acima de tudo, pelo companheirismo.

À CAPES e à Gordon and Betty Moore Foundation, pelo apoio financeiro.

RESUMO

O cultivo da cana-de-açúcar é elemento econômico e cultural chave na formação sócio-territorial brasileira, desempenhando papel importante desde o ciclo colonial. A evolução das relações entre condições geográficas, ciclos econômicos e políticas estatais foi definitiva para o estabelecimento da atual arquitetura setorial. Recentemente, a crescente pressão por fontes de energia mais limpas que as oriundas de combustíveis fósseis - responsáveis por 89% da matriz energética global -, trouxe destaque para os biocombustíveis, entre eles o etanol da cana-de-açúcar, inaugurando uma nova fase para o setor sucroalcooleiro. A fase de crescimento do setor trouxe preocupações com os possíveis efeitos diretos e indiretos da expansão do cultivo sobre a conversão de coberturas vegetais nativas, especialmente no Bioma Amazônico. Diretrizes de planejamento estão, inclusive, sendo desenvolvidas visando ordenar esse processo. A modelagem de superfícies espaço-econômicas, representando a variação espacial da rentabilidade potencial de atividades pode ser uma ferramenta útil no processo de tomada de decisões. A agricultura representa o principal custo de oportunidade da conservação, e, um uso competitivo como o cultivo de cana-de-açúcar deve ter sua superfície de retorno econômico mapeada, como subsídio ao planejamento do espaço agrícola e elaboração de estratégias de conservação. Nesse contexto, objetivamos o desenvolvimento de um modelo capaz de estimar a produtividade ($\text{ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) do cultivo de cana-de-açúcar de forma espacialmente explícita para o Brasil. Após revisão de literatura, optou-se pela utilização do SIMCANA, (Pereira e Machado, 1986) um simulador dinâmico para o crescimento da cana-de-açúcar que calcula diariamente a resposta do cultivo às condições do ambiente durante a estação de crescimento da planta. Posteriormente, foi realizado um cálculo de estimativas de rentabilidade ($\text{R\$ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, identificando, as áreas onde esta atividade traria maior retorno econômico ao produtor, em função da produtividade simulada, custos de produção e preços de venda da cana.

Palavras-Chave: Uso da Terra; Dinamica-EGO; Agronegócio; Simulação; Fisiologia Vegetal;

ABSTRACT

Sugarcane cultivation is a key economic and cultural element within Brazilian's territorial and social configuration, having an important role since colonial times. The evolution of how geographic conditions, economic cycles and state policies related to one another was determinant for the establishment of the sector's present architecture. Recently, the growing pressure for energy sources which are cleaner than fossil fuels (today responsible for 89% of all global energy), shed light on biofuels, one of them being sugarcane ethanol, bringing forth a new phase for the sugar-alcohol sector. Its development in Brazil raised worries regarding possible direct and indirect effects of the crop's expansion onto the conversion of native vegetation coverings, especially in the Amazon Biome. However, planning directives are also being developed, with the aim of ordering this process. Modeling of spatial-economic surfaces, representing the potential profitability variation regarding its spatial component for a number of given activities may be a useful tool in the decision making process. Agriculture represents the main opportunity cost for conservation, and a competitive use such as sugar-cane cultivation, should have its economic return surface mapped, as an aid to agricultural space planning and the creation of conservation strategies. In this context, we present the development of a model capable to estimate productivity ($t\ ha^{-1}year^{-1}$) of sugarcane in a way spatially explicit for Brazil. After bibliography revision, we chose the use of SIMCANA (Pereira e Machado, 1986), a dynamic simulator for sugarcane growth, which calculates the daily response of the crop to environmental conditions during the stages of plant's growth. Finally, profitability estimation was calculated ($R\$\ ha^{-1}year^{-1}$) for sugarcane plantation in Brazil, identifying areas where this activity would bring more economic return to the producer, regarding simulated productivity, production costs and sugarcane selling prices.

Keywords: Land Use; Dinamica-EGO; Agribusiness; Simulation; Plants Physiology

SUMÁRIO

Lista de Figuras	p.7
Lista de Tabelas	p.8
Lista de Tabelas	p.8
Lista de Siglas e Abreviaturas	p.9
Capítulo 1. Introdução: O setor sucroalcooleiro: passado e perspectivas	p.10
1.1. O cultivo de cana-de-açúcar no mundo e no Brasil.....	p.10
1.2. O setor sucroalcooleiro: novas perspectivas.....	p.12
1.3. Objetivos.....	p.15
Capítulo 2. Fundamentação Teórica	p.17
2.1. A morfologia da cana-de-açúcar.....	p.17
2.2. A fenologia da cana-de-açúcar.....	p.18
2.3. Parâmetros determinantes da produtividade da Cana-de-açúcar.....	p.19
2.4. Modelagem de simulação da produtividade do cultivo da cana-de-açúcar.....	p.23
2.5. SIMCANA.....	p.25
2.6. A produção de cana-de-açúcar: características, custos e remuneração do setor.....	p.28
Capítulo 3. Área em Estudo	p.34
Capítulo 4. Materiais e Métodos	p.38
4.1. Estimativas de Produtividade.....	p.38
4.2. Estimativas de Rentabilidade.....	p.40
Capítulo 5. Resultados e Discussão	p.47
5.1. Resultados da implementação do SIMCANA no Dinamica EGO.....	p.47
5.2. Estimativas de rentabilidade.....	p.52
Considerações Finais	p.61
Referências Bibliográficas	p.63
ANEXO	p.68
ANEXO II	p.71

Lista de Figuras

Figura 1 - a) Produção de Cana-de-açúcar por país; b) Produção de etanol e açúcar por região produtora.....	p.12
Figura 2 – Projeção de expansão da área plantada de milho, soja e cana-de-açúcar entre 2008/09 e 2019/20.....	p.13
Figura 3 - Expansão da área plantada de cana-de-açúcar (1990-08).....	p.14
Figura 4 - Produção de cana-de-açúcar (Toneladas).....	p.15
Figura 5 - Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	p.18
Figura 6 - Diagrama esquemático do SIMANA.....	p.26
Figura 7 - Distribuição dos custos de produção de cana-de-açúcar - Fundação.....	p.30
Figura 8 - Distribuição dos custos de produção de cana-de-açúcar - 1º Corte.....	p.31
Figura 9 - Evolução dos sistemas de remuneração da cana-de-açúcar no Brasil.....	p.32
Figura 10 - Regionalização da área em estudo para as análises de rentabilidade.....	p.35
Figura 11 - Cobertura do solo e áreas protegidas na Região MAP.....	p.36
Figura 12 - Vista geral do modelo SIMCANA na Plataforma Dinamica EGO.....	p.38
Figura 13 - Época das operações agrícolas para a cana-de-açúcar.....	p.39
Figura 14 - Espacialização e adaptação dos valores de ATR para o Brasil.....	p.42
Figura 15 - Frete da cana-de-açúcar até a Usina de processamento mais próxima.....	p.44
Figura 16 - Diagrama das operações envolvidas no cálculo da rentabilidade (R\$/ha/ano) do produtor de cana-de-açúcar.....	p.46
Figura 17 - Fator Umidade Relativa (FUR); Fator Temperatura (FTEMP); Fator Radiação (FRAD); Índice de Área Foliar (IAF); Taxa de Fotossíntese (FOTCUL); Coeficiente de Manutenção (M); Acúmulo de Massa Aérea simulados para 365 dias em Araras-SP.....	p.47
Figura 18 - Comparação entre produtividade simulada e rendimento da cana-de-açúcar (IBGE), para o ano 2006, para quatro centros produtores de São Paulo.....	p.49
Figura 19 - Mapa de produtividade simulada para a Região Centro-Sul.....	p.50
Figura 20 - Mapa de produtividade simulada para a Região Norte-Nordeste.....	p.51
Figura 21 - Rentabilidade simulada para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e Região MAP - custo de produção padrão.....	p.53
Figura 22 - Rentabilidade simulada para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e Região MAP - custo de produção eficiente.....	p.54
Figura 23 - Rentabilidades mínima, máxima e média apresentadas pelas Regiões de Expansão, Tradicional e Norte-Nordeste para cenários de custo padrão e eficiente.....	p.56
Figura 24 - <i>Hotspots</i> de desmatamento no Bioma Cerrado e Rentabilidade do Cultivo de Cana-de-açúcar (Custos Padrão).....	p.58
Figura 25 - Impedimentos à expansão da cana-de-açúcar e rentabilidade do cultivo....	p.60

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Lista de Parâmetros utilizados na modelagem.....	p.27
Tabela 2 - Dados Espaciais utilizados.....	p.40
Tabela 3 - Rendimento de ATR em Kg por tonelada de cana-de-açúcar na safra 2007-2008 por Estados e Região.....	p.41
Tabela 4 - Custos de produção operacional (COE, COT e CT) Padrão e Eficiente ao fornecedor de cana-de-açúcar (R\$.ton ⁻¹ ano ⁻¹) para as regiões Tradicional, Expansão e Norte-Nordeste (2007-2008).....	p.43
Tabela 5 - Custos Totais (CT) considerados, Padrão e Eficiente ao fornecedor de cana-de-açúcar (R\$ ton ⁻¹ ano ⁻¹) para as regiões Tradicional, Expansão e Nordeste (2007-2008).....	p.45
Tabela 6 - Preços de ATR (R\$.kg ATR ⁻¹) utilizados.....	p.45
Tabela 7 - Produtividade simulada para os Estados da Região Centro-Sul.....	p.49
Tabela 8 - Rentabilidade Mínima, Máxima e Média por Estado para Custos Padrão e Eficientes.....	p.55
Tabela 9 - Valores estimados de rentabilidade pelo arrendamento de terra para produção de cana-de-açúcar.....	p.57

Lista de Quadros

Quadro 1 - Relação estação x desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	p.20
Quadro 2 - Componentes do balanço hídrico.....	p.21
Quadro 3 - Características do solo e aptidão para o cultivo de cana-de-açúcar.....	p.22
Quadro 4 - Custos (R\$ ton ⁻¹) com operações de Frete.....	p.43

Lista de Siglas e Abreviaturas

ATR - Açúcar Total Recuperável

CANEGRO - *Sugarcane Growth Model*

CIRAD - *Centré de Coopération en Recherche Agronomique*

CNA - Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil

CONSECANA - Conselho Estadual dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool

DSSAT - *Decision Support System for Agrotechnology*

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

IAA - Instituto do Açúcar e do Álcool

IAF - Índice de Área Foliar

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ORPLANA - Associação dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil

PCTS - Pagamento da Cana-de-Açúcar pelo Teor de Sacarose

PLANALSUCAR - Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar

PROALCOOL - Programa Brasileiro do Álcool

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

REDD - Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal

Região MAP - Região que engloba o Departamento de Madre de Deus no Peru, o Estado do Acre no Brasil, o Departamento de Pando na Bolívia

SIMCANA - Simulador Matemático-Fisiológico para o Crescimento de uma Cultura de Cana-De-Açúcar

UNICA - União da Indústria de Cana-de-açúcar

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO: O SETOR SUCROALCOOLEIRO: PASSADO E PERSPECTIVAS

1.1. O cultivo de cana-de-açúcar: surgimento e chegada ao Brasil

A cana-de-açúcar é uma gramínea de cultivo semi-perene, que permite cortes por cinco ou mais anos depois de plantada. Originária do sudeste asiático, região de clima tropical com grande disponibilidade de energia, luminosidade e água, se adaptou a diversos climas do mundo, nos quais podem ou não existir restrições à produção por menor disponibilidade dos fatores de crescimento.

Os primeiros registros da ocorrência da cana-de-açúcar seriam da Polinésia ou em Papua Nova Guiné datando cerca de 6.000 anos (Godoy, 2007). Nos séculos subsequentes o cultivo se espalhou para outras regiões do globo: Indonésia, Filipinas e Norte da África. Entre 500 a.C. e 300 a.C. a cana-de-açúcar alcançou a China e a Índia, e o açúcar cru rudimentar passou a ser produzido. A expansão do cultivo para oeste chegou à Pérsia, onde a cana passou a ser cultivada em 500 d.C. Em 632, com a tomada da Pérsia, os muçulmanos incorporaram o seu cultivo e foram responsáveis pela sua disseminação, sendo que em 640 d.C. a cana-de-açúcar já era produzida na região mediterrânea. Durante este período, os árabes enriqueceram com a comercialização do açúcar, e expandiram o cultivo para outras áreas, como o Egito, Marrocos, sul da Espanha e Sicília. A partir desta expansão, ocorreu a comercialização do açúcar para o restante da Europa, mas a preços muito elevados, já que os árabes detinham o monopólio da produção. Este fator motivou as principais metrópoles europeias (inicialmente Espanha e Portugal, e posteriormente Inglaterra, Holanda e França) a expandirem o cultivo da cana, para produção de açúcar, à suas colônias a partir do século XV (Godoy, 2007). Foi neste contexto que, no século XVI, a cana-de-açúcar chegou ao Brasil, então colônia Portuguesa.

O cultivo da cana-de-açúcar é elemento econômico e cultural chave na formação sócio-territorial brasileira, desempenhando papel importante desde o ciclo colonial. A evolução das relações entre condições geográficas, ciclos econômicos e políticas estatais foi definitiva para o estabelecimento da atual arquitetura setorial. A cana-de-açúcar foi introduzida com objetivo de consolidar a ocupação portuguesa no Brasil, mas logo seu cultivo se mostrou rentável, e se adaptou bem às condições ambientais da faixa litorânea da Região Nordeste. O estabelecimento da cana-de-açúcar em bases sólidas

teria ocorrido entre 1530 e 1540 (Fausto, 1996). Nesta primeira fase (Moreira, 2008), de 1530 a 1580, a mão de obra predominante foi a indígena, e o Brasil se consolidou como principal produtor mundial de açúcar, que era refinado na Europa (Fausto, 1996). A partir de 1580, se inicia uma nova fase da produção de açúcar no Brasil (Moreira, 2008), baseada na mão de obra escrava negra, e caracterizada pela incorporação, ainda que lenta, de novas tecnologias ao processo produtivo (e.g. engenhos alimentados com fontes próprias de energia). Pernambuco e Bahia se destacaram como principais Capitânicas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil Colônia, devido a uma combinação de solos, relevo e clima aptos (Santos; Pereira; Andrade, 2009), proximidade dos principais centros importadores europeus e motivos políticos (Fausto, 1996).

Contudo, o Brasil logo viu sua hegemonia ameaçada por produtores mais competitivos, em função de avanços tecnológicos e da própria expansão do cultivo para outras regiões do globo, o que levou a quedas nos preços dos subprodutos da cana. A instabilidade política decorrente da invasão do Nordeste pela Holanda adicionou mais um elemento à crise. Com isso, crises de superprodução e queda dos preços levaram a uma contínua decadência da atividade, até a criação do IAA (Instituto do Açúcar e do Alcool) já em 1933. A partir de então, o IAA passou a determinar para cada usina uma cota de produção (Godoy, 2007) mantendo os preços em níveis razoáveis. Vale destacar também que, a partir do século XIX, o Nordeste e Centro Sul do Brasil, importantes regiões produtoras, se distanciaram muito (Godoy, 2007) quanto às tecnologias empregadas e produtividade. Este distanciamento provocou intensa disputa pelo mercado interno do produto, mediada pela ação estatal via IAA. O IAA intervia em todos os aspectos da cadeia produtiva da cana-de-açúcar, da produção à fixação de preços, e a sua atuação viabilizou a reestruturação do setor, permitindo o surgimento da moderna estrutura atual (Godoy, 2007).

A princípio, o açúcar era o principal subproduto da cana-de-açúcar, possuindo o álcool apenas função regulatória de crises de superprodução de cana. Contudo, a partir da década de 1970, com as crises de abastecimento de petróleo este panorama se modificou. A necessidade de redução da dependência das importações de petróleo impulsionou a busca por novos combustíveis e o etanol da cana-de-açúcar foi a opção mais viável, pela disponibilidade de matéria prima e condições mercadológicas (Godoy, 2007). Através do Programa Brasileiro do Alcool (PROÁLCOOL) houve o incentivo à produção de álcool, inicialmente o álcool anidro para a mistura à gasolina, e posterior ao

segundo choque do petróleo (1979), o álcool hidratado para veículos exclusivamente movidos a álcool. Neste contexto, outro programa federal de incentivo à produção da cana-de-açúcar foi o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR), criado com o objetivo de aumentar a disponibilidade de variedades de cana-de-açúcar, inclusive através da importação, sobre as quais se assentava a produção sucroalcooleira do país (Santos, Pereira e Andrade, 2008). Como resultado, em 1983, 93% dos veículos leves vendidos eram movidos a álcool hidratado. Contudo, a retomada da competitividade do preço do petróleo no mercado, ao final da década de 1980, associada à retirada da intervenção e subsídios do governo ao PROÁLCOOL, levou à crise do álcool e à desregulamentação do setor sucroalcooleiro ao longo da década de 1990 (Godoy, 2007).

1.2.O setor sucroalcooleiro: novas perspectivas

Recentemente, a pressão por fontes de energia mais limpas que aquelas oriundas dos combustíveis fósseis - responsáveis por 89% da matriz energética global (FAO, 2005) -, trouxe destaque para os biocombustíveis, entre eles o etanol da cana-de-açúcar, inaugurando uma nova fase para o setor sucroalcooleiro. Atualmente o país é o maior produtor e exportador de açúcar e etanol de cana-de-açúcar, e o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (Figura 1a), com duas regiões produtoras principais, o Centro-sul e o Norte-Nordeste.

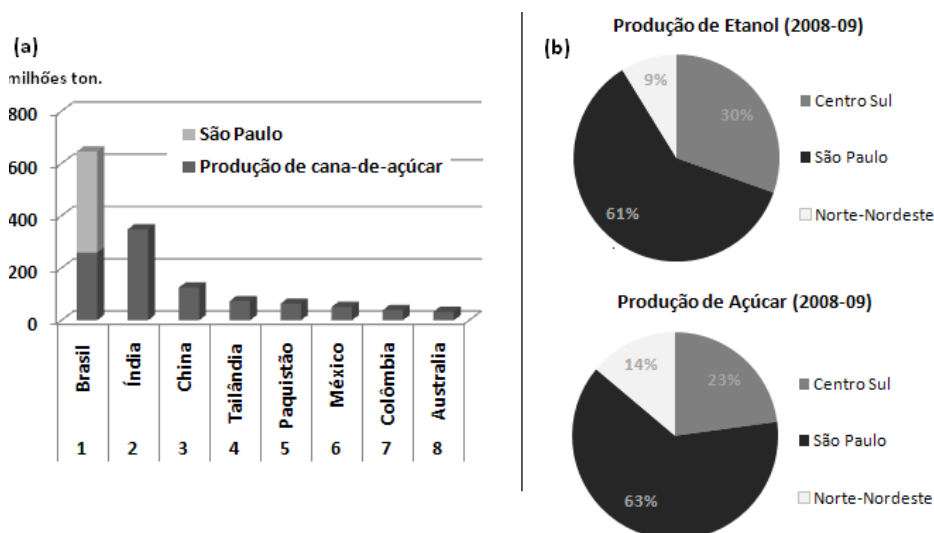


FIGURA 1 - a) Produção de Cana-de-açúcar por país; b) Produção de etanol e açúcar por região produtora. Fonte: Adaptado de Rudorff *et al* (2010); FAO (2010); UNICA (2010); IBGE (2010).

As duas regiões diferem quanto à produtividade e tecnologias empregadas (Godoy, 2007), sendo que o Centro-Sul se destaca como principal região produtora de cana-de-açúcar e de seus dois subprodutos mais importantes, o etanol e o açúcar (Figura 1b), em especial o Estado de São Paulo (Figura 1a).

No caso do Brasil, onde há longa tradição no cultivo da cana-de-açúcar, a produção do etanol vem se mostrando bastante competitiva em relação a outros países, como os Estados Unidos. O Brasil é o segundo produtor mundial de etanol, o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar, tendo produzido mais de 27 bilhões de litros na safra 2008-2009, e o maior exportador de açúcar (UNICA, 2010). Em 2006 cerca de 55% da produção nacional de cana-de-açúcar foi destinada ao etanol, e destes, 85% abasteceram o mercado interno (Nass *et al*, 2007). Além disso, a cana-de-açúcar é o terceiro cultivo mais representativo em área do país, atrás apenas da soja e do milho (Figura 2).

Existem no país mais de 420 usinas instaladas (Figura 3), com elevada capacidade para processamento. Como resultado, a agroindústria sucroalcooleira brasileira possui alto valor socioeconômico, sendo estratégica pela importância do álcool na matriz energética do país, que apresenta a frota de veículos menos dependente de petróleo do mundo¹. As perspectivas são de continuidade de expansão do setor, o que implica em ampliação de áreas de cultivo e aumento da produtividade. Para atender às crescentes demandas de mercado, externas e internas, por etanol e açúcar (entre outros subprodutos da cana), as previsões são de expansão de área plantada, que deve ultrapassar 12.9 milhões de hectares até 2020 (Figura 2) (AgraFNP, 2010; MAPA, 2010) e de intensificação da produtividade do cultivo.

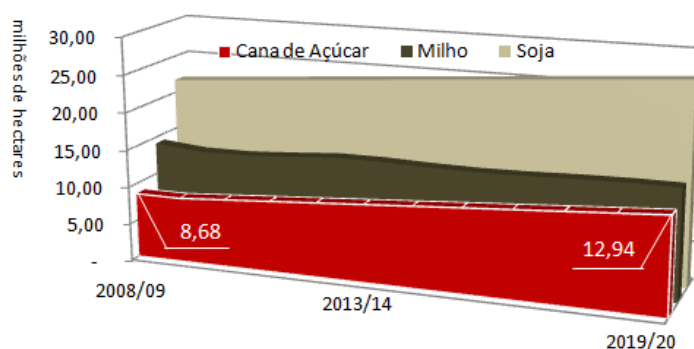


FIGURA 2 – Projeção de expansão da área plantada de milho, soja e cana-de-açúcar entre 2008/09 e 2019/20. Fonte: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

¹Disponível em http://www.municipioscanavieiros.com.br/download/09_CAP_07.pdf

Esta expansão já vinha ocorrendo nas últimas décadas, sendo o Estado de São Paulo o mais dinâmico, apresentando maior expansão em área plantada e produção em toneladas (Figura 3; Figura 4). Outras regiões preferenciais para expansão a curto prazo (Goldemberg *et al*, 2008) e nas quais é possível observar este processo (Figura 3; Figura 4), são o oeste de São Paulo, Triângulo Mineiro, Norte do Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. Estas áreas são preferenciais por combinarem três fatores chave para o sucesso do cultivo, a saber: solos não restritivos, precipitação e condições de logística satisfatórias ou com boas perspectivas no futuro (Goldemberg *et al*, 2008). Regiões suscetíveis à expansão em médio prazo são: Oeste da Bahia, Sul do Tocantins e Sul do Maranhão (Goldemberg *et al*, 2008).

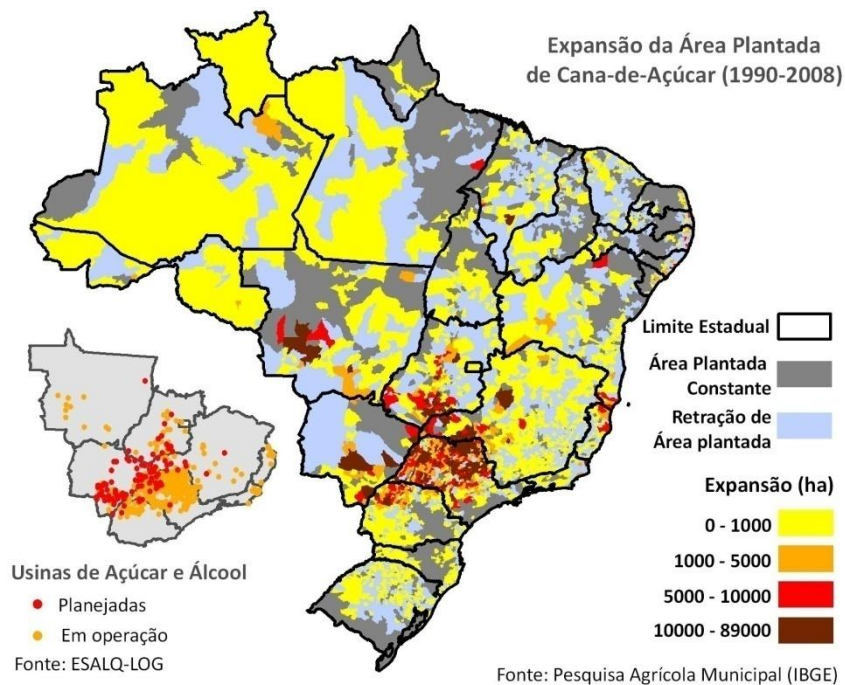


FIGURA 3 - Expansão da área plantada de cana-de-açúcar (1990-08)
 Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE).
 Elaboração: Letícia Hissa

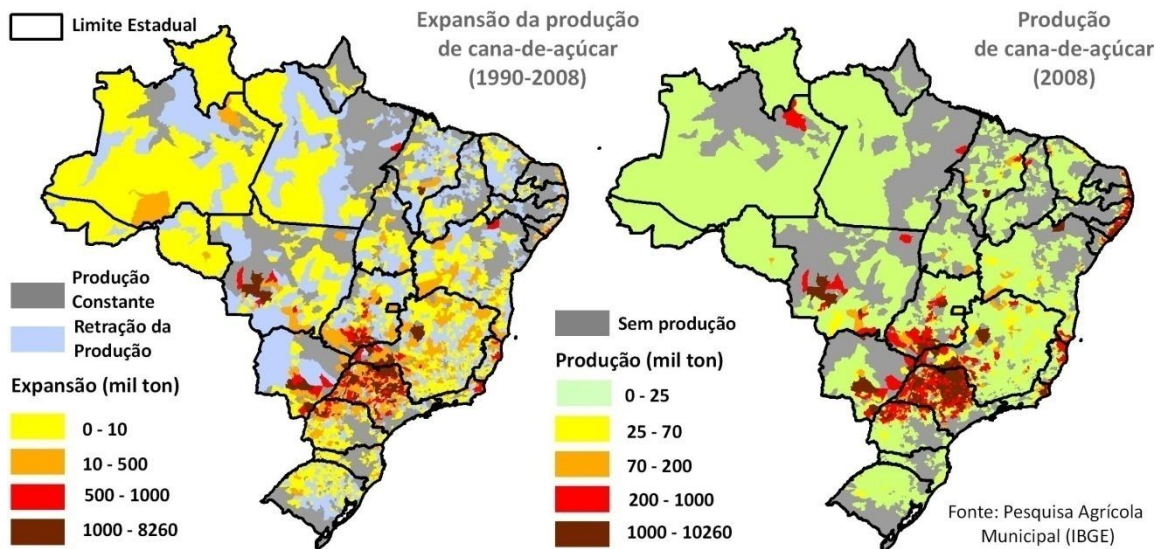


FIGURA 4 - Produção de cana-de-açúcar (Toneladas)

Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2008)

Elaboração: Letícia Hissa

1.3. Objetivos

A importância crescente do cultivo de cana-de-açúcar impulsionou o desenvolvimento de estudos que se dedicaram, entre outros temas, à compreensão dos fatores associados à sua produção, seleção de áreas potenciais para o cultivo, comportamento da produtividade, etc. Uma das vertentes de pesquisa é aquela que se dedica ao desenvolvimento de modelos capazes de simular a produtividade do cultivo sob condições agrometeorológicas (Lapola *et al*, 2009; Cuadra *et al*, 2012). Nesse contexto, objetivamos o desenvolvimento de um modelo capaz de estimar a produtividade ($\text{ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) do cultivo de cana-de-açúcar de forma espacialmente explícita para o Brasil. Após revisão de literatura, optou-se pela utilização do SIMCANA, (Pereira; Machado, 1986) um simulador dinâmico para o crescimento da cana-de-açúcar que calcula diariamente a resposta do cultivo às condições do ambiente durante a estação de crescimento da planta. Posteriormente, foi realizado o cálculo de estimativas de rentabilidade econômica ($\text{R\$ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, identificando, as áreas onde esta atividade seria mais rentável ao produtor, em função da produtividade simulada, custos de produção e preços de venda da cana. A modelagem de superfícies espaço-econômicas, representando a variação espacial da rentabilidade de atividades pode ser uma ferramenta útil no processo de ordenamento territorial e tomada de decisões. A agricultura representa o principal custo de oportunidade da conservação (Bateman, 2006) e um uso da terra competitivo como o cultivo de cana-de-açúcar deve

ter sua superfície de retorno econômico mapeada, como subsídio ao planejamento territorial.

A modelagem da produtividade e estimativas de rentabilidade econômica foram aplicadas também para o recorte geopolítico denominado “Região MAP²”, localizado na Amazônia Sul Ocidental, que engloba o Estado do Acre no Brasil, o Departamento de Pando na Bolívia e o Departamento de Madre de Deus no Peru. A área é caracterizada por possuir grande diversidade biológica e social, abrangendo mais de 300.000 km², dos quais mais de 90% representam florestas tropicais nativas. As estimativas da rentabilidade da cana-de-açúcar aplicada à região MAP poderão ajudar no futuro a compor o cálculo do custo de oportunidade da redução das emissões de carbono através da redução do desmatamento e degradação florestal (REDD).

² A Sigla MAP se refere ao Departamento de Madre de Dios - Peru, ao estado do Acre - Brasil e ao Departamento de Pando – Bolívia.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A morfologia da cana-de-açúcar

As principais estruturas morfológicas da cana-de-açúcar são a folha, flor, colmo, rizomas e raízes.

A. FOLHA: Estrutura que pode ser subdividida em *bainha* – que a fixa ao nó - e *lâmina*, ou folha propriamente dita, com distribuição alternada no colmo. A lâmina da folha pode ter comprimento entre 60-150 cm e uma largura de 2.5 a 10 cm. É através das folhas que a planta executa suas funções de transpiração, respiração e fotossíntese (Godoy, 2007).

B. FLOR: Estando presentes as condições ideais de fotoperíodo, temperatura e umidade a cana-de-açúcar floresce, através de uma inflorescência em forma de flecha (Santos, 2007). Com o florescimento é cessado o crescimento do colmo devido a conversão da gema apical em inflorescência. Na maturação da flor, há um estímulo para brotação das gemas laterais, devido a ausência da gema apical, o que resulta em consumo de açúcar, que em geral pode levar a prejuízos uma vez que leva a perdas de sacarose pelos colmos. A sua importância maior está no cruzamento e produção de variáveis híbridas.

C. COLMO: Representa a parte de maior interesse, é formado por gomos constituídos por nós e entrenós (Godoy, 2007). O nó é a região onde se insere a bainha da folha e a zona radicular. Já o meristema intercalar é região onde as células são capazes de, por divisão, produzir o alongamento do entrenó, ou internódio. Quando a cana está madura os colmos podem medir 2,5 a 7,5 cm de diâmetro. Possui como principais funções suportar as folhas e inflorescências, conduzir água e os nutrientes do solo, às folhas, onde os alimentos da planta são sintetizados, transportar os alimentos manufaturados para outra parte da planta e armazenar açúcar e outros materiais.

D. RIZOMAS: Se assemelham a colmos subterrâneos, com entrenós bastante reduzidos. Após a colheita da cana, as gemas dos rizomas brotam, dando origem a uma nova touceira (Godoy, 2007).

E. RAÍZES: Possuem como principais funções a absorção de água, nutrientes e sustentação. Podem ser divididas em raízes do tolete (fixação) ou raízes dos perfilhos. As primeiras se originam nos primórdios radiculares do tolete de plantio, são delgadas e muito ramificadas. As de perfilho primário originam-se a partir dos primórdios

radiculares do perfilho sendo mais espessas, com coloração mais clara e menos ramificadas. Após o plantio e até a formação de raízes de perfilho, as raízes do tolete são responsáveis pela absorção dos nutrientes. Contudo, após a formação das raízes de perfilho, a funcionalidade das raízes de tolete diminui, sendo que o sistema radicular se caracteriza por estar em contínua renovação. Com o desenvolvimento, novas raízes são emitidas e substituem gradualmente as raízes que permanecem vivas por 90 a 120 dias (Costa, 2005). Um novo sistema radicular da cana é formado concomitantemente à brotação da cana-de-açúcar (Godoy, 2007).

2.2. Fenologia da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar apresenta um ciclo relativamente longo de crescimento vegetativo, que pode variar de 09 meses a 2 anos (Collichio, 2008) de acordo com a variedade e condições ambientais. No Brasil, apresenta em média um ciclo de 15 a 16 meses para a cana planta que apresenta ciclo mais longo que a cana soca (Godoy, 2007). Após o plantio a cana-de-açúcar pode sofrer em média mais cinco cortes (cana soca), podendo chegar a oito.

A cana-de-açúcar apresenta quatro fases principais em seu desenvolvimento (Figura 5), a brotação, o perfilhamento, o crescimento dos colmos, e a maturação.

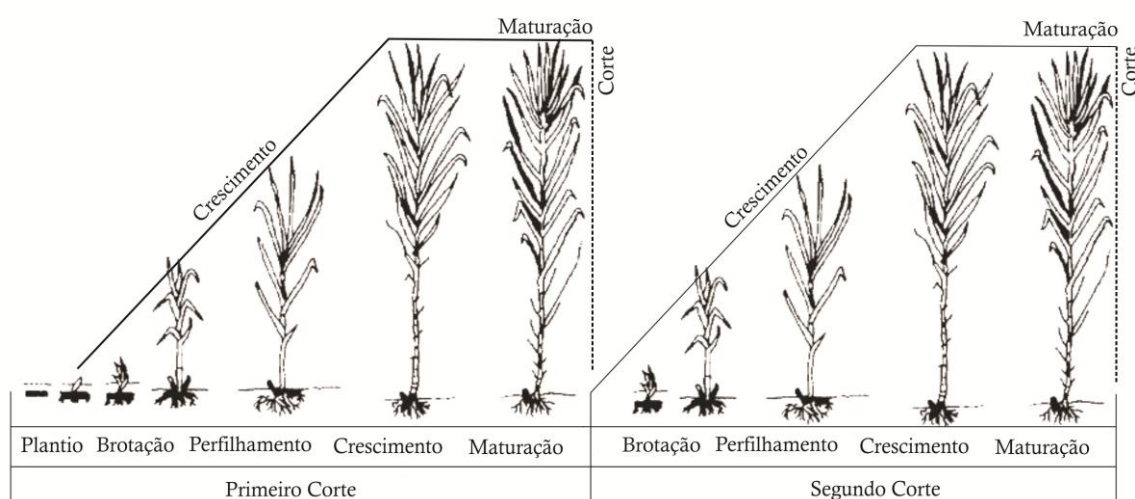


FIGURA 5 – Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado. Disponível em www.sugarcane crops.com. Último acesso em 07 de maio de 2010.

A. A **brotação** corresponde à fase inicial de estabelecimento, crescimento da planta e de enraizamento, que em geral dura de 10 a 30 dias (Godoy, 2007). Durante esta fase é importante que não haja déficit hídrico para evitar falha na brotação ou a morte da soqueira (Gouvêa, 2008). Condições edáficas e climáticas determinam a brotação, sendo que a temperatura base para que ela ocorra é de 12°C, e, temperaturas mais altas e maior umidade fazem com que este processo ocorra com maior eficiência. Solos com estrutura aberta beneficiam o processo.

B. Durante o **perfilhamento**, que pode ter início até 40 dias após o plantio e durar até 120 dias, ocorre a ramificação subterrânea da planta que proporciona o número de talos satisfatório para uma boa produção. Entre os fatores que influenciam este processo estão a disponibilidade de luz e hídrica, temperatura, variedade e técnicas de manejo. A temperatura ideal para esta fase está próxima aos 30°C, sendo que abaixo dos 20°C há inibição ao crescimento. Ao final deste período ocorre uma estabilização do número de perfilhos e início do crescimento dos colmos.

C. O **crescimento dos colmos** se inicia até 120 dias após o plantio, podendo durar até 270 dias em um cultivo de 12 meses, caracterizando-se pela formação e alongamento dos colmos (Gouvêa, 2008). Apresenta intenso crescimento foliar, de forma que a cana-de-açúcar se torna bastante sensível à radiação solar. Esta fase, a mais importante do cultivo, é beneficiada por temperaturas e umidade elevadas.

D. A **maturação** pode ter início a partir de 270 dias após o plantio, correspondendo à conversão dos açúcares (frutose, glicose) em sacarose nos colmos, induzida por condições climáticas específicas (se beneficia de temperaturas mais baixas, maior amplitude térmica diária e restrição hídrica moderada). O estresse hídrico reduz a taxa de crescimento, desidratando a cana e forçando a transformação de todos os açúcares em sacarose recuperável (Gouvêa, 2008).

2.3. Parâmetros determinantes da produtividade da Cana-de-açúcar

Assim como todas as culturas, o cultivo da cana-de-açúcar e a sua produtividade também são diretamente influenciados por fatores ambientais, alguns passíveis de manejo (solos, disponibilidade hídrica, topografia) e outros não (clima) (Teramoto, 2003). Esta influência se dá em todas as etapas do processo produtivo, do plantio, à colheita. Estudos que desejem estimar a produtividade desta cultura visando maiores

rendimentos devem considerar o máximo possível de parâmetros envolvidos no seu cultivo, de acordo com as possibilidades da escala de análise.

A. Parâmetros climáticos para o cultivo da cana-de-açúcar

As condições climáticas são os fatores físicos mais delicados para a agricultura, e dessa forma para o cultivo da cana-de-açúcar, uma vez que fogem da capacidade humana de manejo. Com relação à *temperatura*, por possuir um ciclo longo a cana-de-açúcar sofre influência das condições climáticas o ano todo (Teramoto, 2003). O Brasil, no que diz respeito às condições climáticas é bastante privilegiado, uma vez que dada sua extensão territorial, possui duas épocas de colheita, setembro a abril e maio a dezembro, correspondendo às estações secas no Norte/ Nordeste e Centro-Sul respectivamente. O extremo sul do país apresenta restrições ao plantio devido às baixas temperaturas durante período prolongado do ano. Idealmente, são necessárias duas estações definidas, relacionadas aos estágios de evolução da planta (Quadro 1).

QUADRO 1 – Relação estação x desenvolvimento da cana-de-açúcar

Estação	Desenvolvimento da planta
Estação quente e úmida, com intensa radiação solar	Máximo crescimento na fase vegetativa
Estação fria e seca	Acúmulo de sacarose nos colmos, seguido de maturação e colheita

A temperatura é um dos fatores mais determinantes. A temperatura base para a fase crescimento do cultivo é de 20°C, a temperatura ótima está entre 22°C e 30°C. Nesta faixa, a planta teoricamente atingiria seu crescimento máximo, mantendo as demais condições ótimas. Já acima de 38°C o crescimento é nulo.

A *disponibilidade hídrica* é o principal determinante da variação da produtividade ano a ano (Teramoto, 2003). Contudo, seria difícil estabelecer uma relação entre ambos em função da interferência de outros fatores. A variedade, ciclo (cana planta ou cana soca), variações locais de clima, água disponível no solo, etc., determinam variações nesta relação. O estudo do balanço hídrico é fundamental para a determinação da aptidão climática de uma dada região para a cana-de-açúcar. O balanço hídrico pressupõe que em função da interação entre estes elementos, a disponibilidade de água no solo é variável. O quadro 2 apresenta as principais entradas e saídas envolvidas no balanço hídrico:

QUADRO 2 – Componentes do balanço hídrico.

Posição	Variável
Entrada	Precipitação, Orvalho, Escorrimento Superficial, Drenagem Lateral, Ascensão Capilar Irrigação
Saída	Evapotranspiração, Escorrimento Superficial, Drenagem Lateral, Drenagem Profunda

Para Pereira e Machado (1986) a perda de água pela planta é determinada por vários fatores, entre eles o déficit de saturação atmosférico, e caso a demanda por água pela atmosfera seja baixa, a planta será capaz de retirar água do solo mesmo sob condições de pouca umidade disponível (Pereira e Machado, 1986, p.112). Contudo, se a demanda for alta, a cultura demonstrará sintomas de deficiência mesmo com umidade disponível no solo.

Com relação à *luminosidade*, a cana-de-açúcar é uma planta C4, com alta capacidade de conversão de energia radiante em energia química. Contudo a relação entre radiação solar e taxa fotossintética com a produtividade é complexa. “Nem sempre a manipulação da radiação ou do sistema de captação da radiação visando aumentar a eficiência fotossintética leva a um incremento na produtividade agrícola” (Teramoto, 2003, p.5). Para o mesmo autor (2003, p.5-6), a compreensão desta relação demandaria um entendimento maior sobre os “aspectos fisiológicos relacionados ao transporte e acumulação dos metabólitos, principalmente da sacarose”.

B. Parâmetros edáficos para o cultivo da cana-de-açúcar

O cultivo se estabelece sobre uma grande variedade de solos, arenosos ou argilosos, estes últimos apresentando maior potencial (Teramoto, 2003). Contudo, a combinação entre tipo de solos e outras características ambientais pode determinar zonas com maior potencial para o cultivo. Teramoto (2003) afirma ser difícil estabelecer estimativas de produtividade baseadas em parâmetros edáficos que, geralmente, são utilizados para subsidiar trabalhos de avaliação do potencial para o plantio da cana-de-açúcar em âmbito regional.

QUADRO 3 – Características do solo e aptidão para o cultivo de cana-de-açúcar

Característica			Aptidão
Morfologia	Drenagem	Acentuadamente a Excessivamente Drenado	Inapto
		Bem Drenado	Preferencial
		Moderadamente Drenado	Restrito
		Imperfeitamente a Muito Mal Drenado	Inapto
	Profundidade	Raso (≤ 50 cm)	Inapto
		Pouco Profundo (> 50 cm ≤ 100 cm)	Restrito
Profundo a Muito Profundo (> 100 cm)		Preferencial	
Química	Ph	Extremamente Ácido (Ph $< 4,3$)	Inapto
		Fortemente Ácido (4,3-5,3)	Restrito
		Moderadamente Ácido a Praticamente Neutro (5,4 a 7,3)	Preferencial
		Moderadamente a Fortemente Alcalino ($> 7,4$)	Inapto
Características Físicas	Ausência ou pouca presença de concreções ($< 5\%$ vol.)		Preferencial
	Poucas Concreções a Frequentes (5-40% vol.)		Restrito
	Concreções Muito Frequentes a Dominantes ($> 40\%$ vol.)		Inapto
Textura	Textura arenosa ($> 70\%$ de areia)		Inapto
	Textura Média ($< 35\%$ de argila e $> 15\%$ areia)		Preferencial
	Textura Argilosa (35% a 60 % de argila)		Restrita
	Textura Muito Argilosa ($> 60\%$ de argila)		Inapta
	Textura Siltosa ($< 35\%$ de argila e $< 15\%$ de areia)		Preferencial

Fonte: Adaptado de Amaral (2001).

Quanto à topografia, são indicados interflúvios largos e regulares, de declividade suave, entre 2 e 5% (Gouvêa, 2008). Outros autores (Amaral, 2001; Manzatto *et al*, 2009) indicam 12% como uma declividade máxima para o cultivo, limiar que se reduz para 8-10% caso haja mecanização (Amaral, 2001). Gouvêa (2008) indica que para terrenos mais movimentados, com declividades de até 18% pode ser aplicado o cultivo em contorno. Já terrenos totalmente planos não são indicados devido à problemas de drenagem do solo (Gouvêa, 2008).

2.4. Modelagem de simulação da produtividade do cultivo da cana-de-açúcar

A modelagem da produtividade da cana-de-açúcar já foi objeto de diversos estudos (Doorembos, Kassam, 1993; Pereira e Machado, 1986; Inman-Barber, 1991; O’Leary, 1999; Suguitani, 2006; Everingham *et al*, 2006; Marin, *et al* 2008; Nassif *et al*, 2009; Lapola *et al*, 2009; Cuadra *et al*, 2011). Além de integrar conhecimentos disponíveis sobre o cultivo, a elaboração de modelos permite a previsão de seu comportamento sob diversas condições, otimizando o uso de recursos financeiros e humanos e direcionando pesquisas do setor. Contudo, a modelagem matemática integrando fatores fisiológicos, climáticos e edáficos para simulação da produtividade da cana-de-açúcar ainda não são rotina no Brasil (Suguitani, 2006; Nassif *et al*, 2009).

Os modelos para a cana-de-açúcar apresentam diversos níveis de complexidade, e consideram, de forma geral, variáveis fisiológicas (e.g. Índice de área foliar), climáticas (e.g. radiação solar, temperatura e umidade médias), edáficas (e.g. disponibilidade hídrica, classe, presença de nutrientes, pH) e localização geográfica. Podem simular um ou mais estádios fenológicos da cana-de-açúcar, e ser genéricos (adequando-se mais a estudos regionais) ou específicos (voltados para estudos locais, de agricultura de precisão, demandando neste caso, muitos dados de entrada e informações varietais).

Os modelos podem ser matemáticos ou estatísticos (Laar, Goudriaan, Keulen, 1997). Os primeiros se fundamentam no conhecimento que detalham e selecionam os processos-chave envolvidos no sistema solo-planta-água (Silva, Bergamasco, 2001) sendo explicativos das relações estabelecidas entre os elementos que compõe o sistema simulado. Nos modelos estatísticos equações de regressão descrevem o crescimento do cultivo. Usualmente, as variáveis envolvidas no crescimento como radiação ou temperatura são incorporadas a uma regressão. Os modelos empíricos podem fornecer resultados acurados caso os parâmetros da regressão sejam estimados com base em um conjunto extensivo de dados experimentais. Os resultados, entretanto, são restritos a ambientes com características similares e à mesma variedade na qual a regressão foi baseada (Laar, Goudriaan, Keulen, 1997).

A complexidade dos sistemas ambientais, biológicos e das interações entre os mesmos, e a falta de conhecimentos quanto a alguns processos de seu funcionamento faz com que a modelagem fique sempre imperfeita ou incompleta (Suguitani, 2006). A cana-de-

açúcar, como outros cultivos apresenta capacidade de adaptação a diversas condições edafo-climáticas o que se configura como um fator de incerteza na modelagem.

O MOSICAS modelo ecofisiológico desenvolvido pelo *Centré de Coopération en Recherche Agronomique* (CIRAD) da França para a simulação do crescimento, desenvolvimento e produção de variedades da cana-de-açúcar teve seu potencial para o Brasil e variedades brasileiras analisado por Suguitani (2006). Trata-se de um modelo compreensivo³ que a partir de dados meteorológicos (radiação, temperatura, precipitação), edáficos (capacidade de água disponível), varietais, morfológicos e de manejo, permite calcular com uma resolução temporal diária, variáveis fundamentais para descrever a resposta da cana-de-açúcar, em seus estádios de crescimento às condições ambientais. Entre as variáveis calculadas estão evapotranspiração máxima e real, soma térmica, drenagem, capacidade de água disponível crescimento em biomassa total e partição para os diferentes órgãos da planta (raízes, folhas colmos), morfologia (altura da planta, comprimento dos colmos, profundidade do sistema radicular, área foliar e IAF), e produtividade (massa seca e massa seca total, teor de água e sacarose dos colmos). O MOSICAS integra ainda ao modelo de crescimento, a modelagem de balanço hídrico que permite ao usuário testar vários cenários de disponibilidade hídrica sobre a produção de cana-de-açúcar e variedades, e pretende integrar em breve uma rotina de balanço de nitrogênio (Suguitani, 2006). O modelo apresenta a vantagem de fornecer de forma precisa valores de variáveis importantes na modelagem da produtividade da cana-de-açúcar, sendo mais indicado para estudos de detalhe, por demandar muitas informações específicas que limitam aplicações em âmbito regional ou nacional.

O modelo CANEGRO⁴ (Inman-Barber, 1991) desenvolvido na África do Sul estima a produtividade para a cana-de-açúcar, apresentando-se como um modelo robusto (O'Leary, 1999). Consiste em um conjunto de equações que com resolução temporal diária, simula (i) o desenvolvimento do dossel, (ii) interceptação da radiação pelo IAF, (iii) balanço hídrico, (iv) acúmulo de matéria seca. Entre os dados de entrada estão dados biométricos dos cultivares, dados climáticos (direção do vento, temperatura, insolação e radiação solar, pluviometria), edáficos (profundidade do solo, textura,

³ Modelos compreensivos são aqueles que representam o sistema estudado e seus elementos componentes de forma minuciosa.

⁴ Acoplado ao DSSAT - *Decision Support System for Agrotechnology Transfer*(www.icasa.net/dssat) como módulo para cana-de-açúcar

carbono orgânico, pH, saturação por alumínio, densidade de raízes) fotoperíodo, localização geográfica. Mais recentemente, foi acoplado um módulo para simulação da sacarose, bastante dependente, contudo, de dados empíricos (Godoy, 2007). Tentativas de adaptação do DSSAT/CANEGRO para a realidade brasileira vêm sendo realizadas (Nassif *et al*, 2009).

O QCANE (Liu e Kingston, 1995⁵ *apud* O’Leary, 1999) modelo australiano, objetiva estimar o acúmulo de sacarose pela planta como forma de maximizar este processo, apresentando os melhores resultados entre os modelos (O’Leary, 1999). O modelo dá grande ênfase à fotossíntese, respiração e partição dos fotossintetizados (O’Leary, 1999). Outro método de estimativa da produtividade da cana-de-açúcar é o Método da Zona Agroecológica – ou modelo FAO (Teramoto, 2003) mais voltado para análises de potencial regional.

Recentemente Lapola *et al* (2009) introduziram um módulo de simulação da produtividade da cana-de-açúcar ao modelo global LPJml (Sitch *et al* 2003), com objetivo de calcular a extensão de terra necessária para a expansão planejada do cultivo de cana-de-açúcar. Este modelo global simula a dinâmica da vegetação natural e produtividade agrícola, com base nos processos fisiológicos e fotossíntese, respiração autótrofa, evapotranspiração, efeitos da umidade do solo e estresse hídrico, considerando também regras alométricas e funcionais da planta, fenologia e parametrização do crescimento, em células de *grid* de 0.5 graus decimais.

2.5. SIMCANA

O SIMCANA (Pereira e Machado, 1986) um simulador dinâmico para o crescimento da cana-de-açúcar objetiva simular diariamente a resposta do cultivo às condições do ambiente durante a estação de crescimento. Composto por equações que representam a maior parte dos processos fisiológicos que ocorrem no crescimento da cana-de-açúcar simula o acúmulo de matéria seca pela planta, que se dá através da fotossíntese. Possui como pontos fortes o fato de ser um modelo simples e genérico, que simula o comportamento médio da cana-de-açúcar, ideal para estudos regionais que objetivem selecionar áreas de maior produtividade. Como limitações o SIMCANA não introduz a

⁵ LIU e KINGSTON. A simulation model of sugarcane growth and sugar accumulation.p.25-20.Workshop Proceedings. MJ Robertson (Ed), Research and modeling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints. University of Queensland, St Lucia, Australia. 10-11 November. 1995.

influência das variáveis edáficas sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Além disso, não incorpora a modelagem do processo de germinação da cana-de-açúcar, sendo necessário fornecer uma estimativa de massa seca inicial para simulação do crescimento.

O SIMCANA (Figura 6) opera a partir de equações que reproduzem os processos fisiológicos responsáveis pelo acúmulo de matéria seca pela planta (Pereira e Machado, 1986), considerando a resposta destes às condições ambientais, durante a estação de crescimento do cultivo.

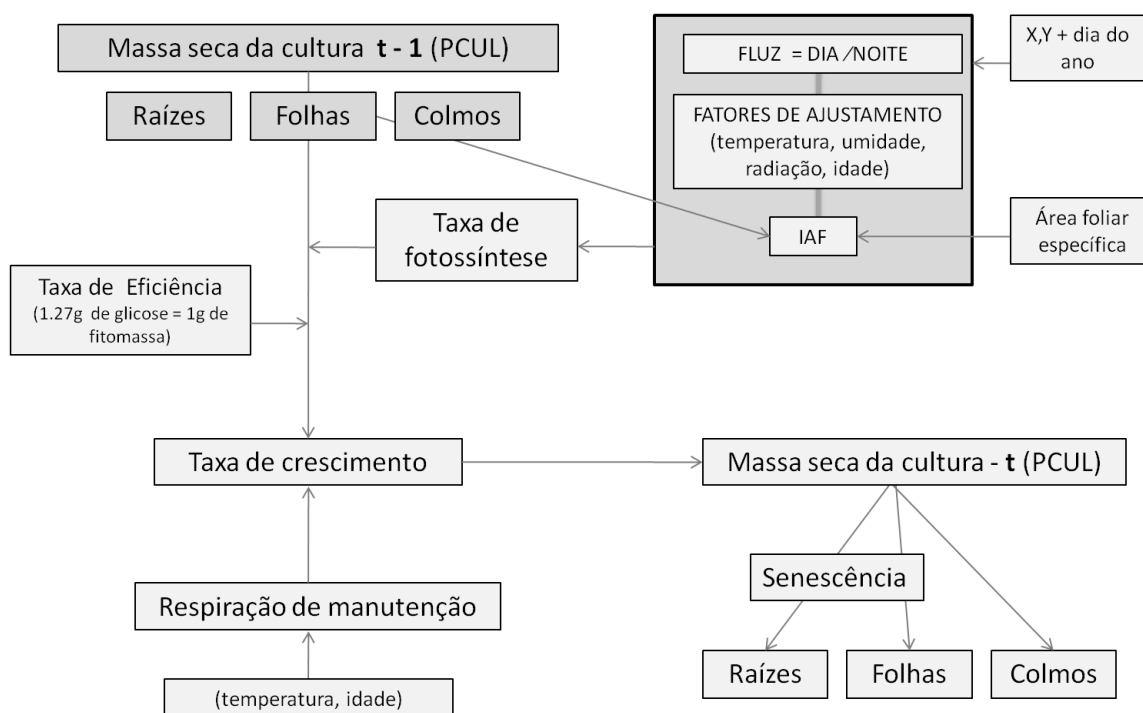


FIGURA 6 - Diagrama esquemático do modelo SIMCANA

Em função das condições diárias de radiação solar global, temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, o SIMCANA calcula as taxas de fotossíntese, respiração e crescimento da cultura, (Pereira e Machado, 1986). Por não simular os processos associados aos outros estádios fenológicos (germinação, florescimento) é necessário especificar as condições da cultura (Pereira e Machado, 1986) no primeiro dia de simulação, ou seja, definir um valor inicial de massa seca para a planta, cujo crescimento será simulado.

A matéria seca total no tempo t_{n+1} , $PCULT_{n+1}(g.m^{-2})$ é representada pela soma entre taxa de crescimento da cultura $TCCUL(g.m^{-2}.d^{-1})$ no tempo t_n e massa seca inicial $PCULT_n(g.m^{-2})$ (eq.1).

$$PCUL_{t_{n+1}} = PCUL_{t_n} + TCCUL_{t_n} \quad (1)$$

A premissa básica é de que a taxa de crescimento diária da planta $TCCUL_{t_n}$, se dá a partir da diferença entre o ganho obtido pela fotossíntese $FOTCUL(g.m^{-2}.d^{-1})$ e a perda a partir da respiração de manutenção $M*PCUL_{t_n}(eq.2)$:

$$TCCUL_{t_n} = EFIC*(FOTCUL - M * PCUL_{t_n}) \quad (2)$$

onde $EFIC$ representa a taxa de eficiência (figura 2) média da cana-de-açúcar na conversão de material fotossintetizado em matéria seca (Pereira e Machado, 1986) e M (eq.3) o coeficiente de manutenção dos processos fisiológicos:

$$M = MMAX * MTEMP * MIDADE \quad (3)$$

Para o cálculo de M (eq.3), de uma taxa máxima de respiração $MMAX$ ($g\ g^{-1}\ d^{-1}$) são abatidos o fator temperatura $MTEMP$ e o fator idade da cultura $MIDADE$, sendo que a taxa de respiração aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura e decresce com o avanço da idade da cultura.

Por sua vez, a taxa de fotossíntese $FOTCUL$ (eq.4), é calculada por:

$$FOTCUL = FOTMAX * IAF * FLUZ * Fi \quad (4)$$

Em que o valor máximo da taxa de fotossíntese $FOTMAX$ ($g.m^{-2}.d^{-1}$) para o cultivo de cana-de-açúcar é corrigido em função do índice de área foliar IAF , da disponibilidade de luz $FLUZ$ (influenciada pelo fotoperíodo) e do fator de ajustamento Fi , de forma que a taxa de fotossíntese simulada $FOTCUL$ seja compatível com as condições vigentes no dia em questão (Pereira e Machado, 1986). O fator de ajustamento Fi , representa o impacto de cinco condições ambientais e da planta (Pereira e Machado, 1986) sobre a taxa de fotossíntese (umidade relativa do ar - FUR , radiação solar global - $FRAD$, temperatura - $FTEMP$, idade da cultura - $FIDADE$, índice de área foliar - $FIAF$).

TABELA 1 – Lista de Parâmetros utilizados na modelagem

Parâmetro	Unidade	Valor
Massa seca da cultura – PCUL	$g.m^{-2}$	-
Taxa de Crescimento da cultura – TCCUL	$g.m^{-2}.d^{-1}$	Calculado pelo modelo
Taxa de Eficiência – EFIC	s.u.	0.79
Taxa Máxima de Respiração – MMAX	$(g.g^{-1}.d^{-1})$	0.007
Fator Temperatura – MTEMP	s.u.	Calculado pelo modelo
Fator Idade – MIDADE	s.u.	Calculado pelo modelo
Taxa de Fotossíntese da cultura – FOTCUL	$g.m^{-2}.d^{-1}$	Calculado pelo modelo

Taxa Máxima de Fotossíntese da Cultura – FOTMAX	g.m ⁻² .d ⁻¹	60
Fator Luz – FLUZ	s.u.	Calculado pelo modelo
Fotoperíodo – FOTOPE	Horas	Base de dados externa
Declinação	gd.	Calculado pelo modelo
Latitude local	gd.	Base de dados externa
Índice de Área Foliar – IAF	s.u.	Base de dados externa
Fator de Ajustamento – Fi	s.u.	Calculado pelo modelo
Fator Radiação Solar Global – FRAD	s.u.	Calculado pelo modelo
Fator Umidade Relativa do Ar – FUR	s.u.	Calculado pelo modelo
Fator Índice de Área Foliar – FIAF	s.u.	Calculado pelo modelo
Fator Temperatura – FTEMP	s.u.	Calculado pelo modelo
Fator Idade – FIDADE	s.u.	Calculado pelo modelo
Radiação Solar Global	Ly	Base de dados externa
Temperatura Diária Máxima	°C	Base de dados externa
Temperatura Diária Mínima	°C	Base de dados externa
Umidade Relativa do Ar	%	Base de dados externa
Idade Fisiológica da Cultura – XIDADE	s.u.	Calculado pelo modelo
Duração da Estação de Crescimento – ESTCRE	D	Base de dados externa
Taxa de Crescimento Aéreo – TCAER	g.m ⁻² .d ⁻¹	Calculado pelo modelo

Este conjunto de equações é repetido em uma base diária, para os 365 dias considerados no cultivo de ano da cana-de-açúcar, de forma que a massa total simulada para o período de crescimento corresponde ao somatório dos simulados para cada passo de tempo n (eq.5).

$$PCCUL_{TOTAL} = \sum_{n=1}^{365} PCUL_n \quad (5)$$

2.6. A produção de cana-de-açúcar: características, custos e remuneração do setor

A. Arranjos produtivos

A economia canavieira apresenta grande diversidade de arranjos e sistemas produtivos, de manejo e de logística que implicam em uma variação dos custos de produção e também na rentabilidade da atividade. A produção da cana-de-açúcar representa uma etapa da cadeia produtiva sucroalcooleira, estando integrada a outros subsistemas de fornecimento de serviços, insumos e maquinários agrícolas e de distribuição deste produto às usinas produtoras de açúcar e de álcool.

Quanto aos arranjos produtivos, existem 3 modelos principais: proprietário-produtor; arrendamento pago em caixa; arrendamento com base na produção (Bergantini, 2009). O proprietário produtor, ou fornecedor, assume todos os riscos associados a produção, encarregando-se de todos os custos e depreciações, de equipamentos e benfeitorias. Em contrapartida, recebe toda a receita relativa à produção. Geralmente, produtor e usina,

nesse caso firmam um contrato de fornecimento (Fernandes; Bellingieri, 2009) em que o proprietário fornecerá cana-de-açúcar durante determinado período ou safra. Dados da ORPLANA⁶ coletados por Sachs (2007) indicam que cerca de 25% da cana-de-açúcar recebida pelas usinas na safra 2005/2006 foi entregue por fornecedores independentes. O pagamento ao fornecedor geralmente se dá a partir do modelo CONSECANA. No caso do arrendamento pago em caixa, "o proprietário aluga sua terra por determinado período à usina, recebendo em troca, uma renda fixa anual, e esta fica responsável por todos os custos incorridos" (Fernandes; Bellingieri, p.2, 2009). No contrato de arrendamento, a remuneração se dá sobre a área efetivamente plantada pelo arrendatário (CNA, 2007). Finalmente, existe também o arrendamento com base na produção, ou sistema de parceria, sistema onde o proprietário cede o uso do imóvel rural, com participação nos lucros e prejuízos da atividade (CNA, 2007). Nesse caso, a remuneração se dá a partir da participação na produção (CNA, 2007).

Outra realidade frequente é a produção de cana-de-açúcar dentro de áreas da própria usina, representando um controle quase total das usinas sobre a cadeia produtiva do setor, ou verticalização da produção (Bergantini, 2009). Para as usinas, a verticalização é benéfica, uma vez que permite que o cronograma de moagem da cana-de-açúcar seja respeitado, o que pode evitar prejuízos de ociosidade. No que diz respeito à entrega da cana, os contratos de fornecimento determinam que esta deve se dar durante todo o período de moagem da usina compradora (CONSECANA-SP, 2006) conforme cronograma pré-estabelecido. A logística da entrega da cana-de-açúcar pode ser um tema delicado, uma vez que ela deve ser contínua, imediata após a colheita (para evitar perda de qualidade do produto com o tempo) e deve ocorrer num raio em média de no máximo 50 quilômetros de distância da usina, devido aos altos custos de transporte (CNA, 2007; Bergantini, 2009).

B. Custos de produção

Os custos de produção são entendidos como a soma de todos os gastos despendidos para obtenção do produto (CNA, 2009). O conhecimento dos custos de produção permite o controle e planejamento da atividade e estimativas do seu retorno econômico a curto, médio e longo prazo. No caso da cana-de-açúcar, há um desembolso inicial para formação do canavial, e posteriormente os desembolsos de manutenção do canavial, que

⁶ ORPLANA - Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil.
www.orplana.com.br

pode durar até 8 cortes (em média 5) antes da reforma. A cana-de-açúcar possui a propriedade da rebrota, contudo, a produtividade cai progressivamente a cada corte, sendo necessária a reforma do canavial.

Os custos de produção da cana-de-açúcar podem ser descritos como (CNA, 2009):

Custos operacionais efetivos (COE): incluem as operações de preparo do solo e plantio, tratos culturais da soqueira, corte carregamento e transporte (CCT), insumos e custos administrativos. Para que a atividade seja rentável no curto prazo, é necessário que as receitas superem o custo operacional efetivo.

Custos operacionais totais (COT): Acrescenta aos custos operacionais efetivos, os custos atribuídos à depreciações de benfeitorias, máquinas e equipamentos. Os custos operacionais totais são utilizados para avaliação da capacidade do produtor de reposição de equipamentos. Caso a receita obtida pelo produtor se mantenha superior a estes custos por vários anos, é possível concluir que a atividade é sustentável em longo prazo.

Custos totais (CT): Acrescenta ao custo operacional total o custo de oportunidade da terra e o custo de oportunidade do capital. Caso a receita obtida pelo produtor se mantenha superior a estes custos por vários anos, é possível concluir que a atividade é sustentável em longo prazo e gerou lucro econômico.

A figura 7 mostra a distribuição dos custos de produção da cana-de-açúcar para o ano 2009, em São Paulo, etapa de fundação ou implantação do canavial.

Distribuição dos Custos de Produção - Fundação

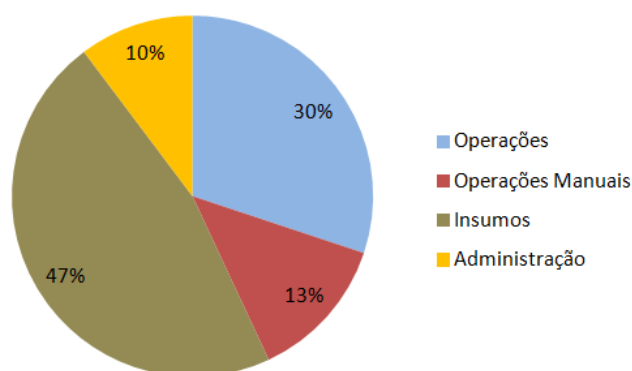


FIGURA 7 - Distribuição dos custos de produção de cana-de-açúcar - Fundação.

Fonte: Agriannual - AgraFNP, 2010.

Nesta etapa, os custos com insumos (fertilizantes, calcário, dessecante, herbicidas, inseticidas, nematicidas, maturadores e mudas) representam a maior fonte de gastos, 47% do total. Em seguida, os custos com operações (confecção dos terraços, dessecação

para plantio, eliminador de soqueiras, conservação de carreadores, manutenção de estradas, subsolagem, calagem ou gesso, gradagem, sulcação e adubação, distribuição da torta de filtro, cobrição, quebra, plantio, pulverização e transporte interno de insumos) representaram ao todo 30% dos gastos. Em seguida, as operações manuais (locação terraços, amostragem de solo, fiscal de campo, carpa química, carpa manual, plantio, auditoria de plantio, combate a formiga), usualmente medidas em homem/dia representaram 13% dos gastos totais. Finalmente, os gastos administrativos representaram 10% do total dos custos de fundação.

Após a implantação do canavial a distribuição dos custos se altera para as fases seguintes. A figura 8 mostra a distribuição dos custos de produção da cana-de-açúcar para o ano 2009, em São Paulo, primeiro corte da cana-de-açúcar. Agora, os custos com operações representam 49% dos gastos totais. É importante ressaltar, que destes 49%, 86% representam custos com as operações Corte, Carregamento e Transporte. Em seguida, os custos com depreciação da fundação com 24%, são o segundo maior gasto nesta fase. Em terceiro lugar, os insumos representam 15% dos gastos, bem menos do que na fase de fundação e as operações manuais 1% .

Distribuição dos custos de produção - 1º Corte

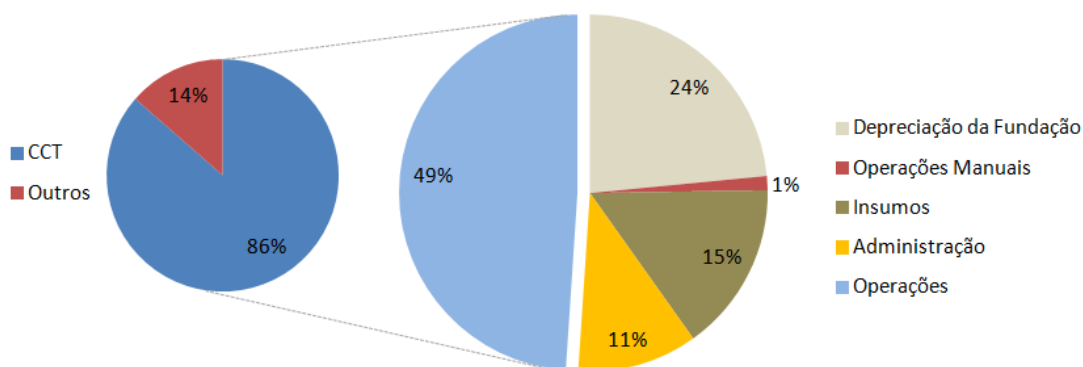


FIGURA 8 - Distribuição dos custos de produção de cana-de-açúcar para o 1º Corte.
Fonte: Agriannual - AgraFNP, 2010.

C. Remuneração do Setor

O atual sistema de remuneração da cana-de-açúcar é recente, tendo sido implementado a partir de 1999. Anteriormente a 1982 estava vigente o antigo sistema de pagamento (Figura 9) no qual a cana era apenas pesada ao chegar na usina, não se levando em conta a sua qualidade. Apenas a partir de 1982, com o Ato 25 do DOU, se estabeleceu que, a partir do ano safra 1983-1984 todas as usinas e destilarias com mais de três anos de

funcionamento teriam que pagar a cana aos fornecedores pelo teor de sacarose - PCTS (Sachs, 2007). Nesse sistema eram realizadas análises de qualidade da cana-de-açúcar no momento da entrega, se o produto tivesse qualidade superior ou inferior ao padrão estadual (no caso de São Paulo, por exemplo, era de 122.57 kg sacarose por tonelada de cana-de-açúcar o equivalente a Pol% Cana de 12.257%, e a pureza de caldo igual a 83.87%) seria pago um acréscimo ou retirado um decréscimo em relação ao preço da tonelada da cana estabelecido pelo governo. A partir de 1997, no contexto de desregulamentação do setor, teve início a articulação pelo estabelecimento de um novo sistema de pagamento pela cana-de-açúcar, também baseado na sua qualidade.

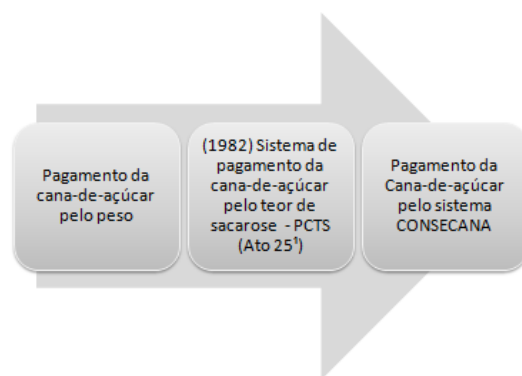


FIGURA 9 - Evolução dos sistemas de remuneração da cana-de-açúcar no Brasil.

No caso de São Paulo, o primeiro passo foi a criação do CONSECANA⁷, "um conselho paritário, composto por representantes dos produtores rurais de cana-de-açúcar e representantes da indústria" (CNA, p.11, 2007). O conselho foi responsável pela elaboração de um novo sistema de pagamento, baseado na qualidade da cana-de-açúcar entregue pelos fornecedores (Sachs, 2007). O pagamento é realizado com base no conteúdo de ATR (Açúcar Total Recuperável), presente em cada tonelada de cana-de-açúcar (CNA, 2007):

Por exemplo, o produtor que entregar 100 toneladas de cana-de-açúcar, com qualidade em ATR de 150 Kg/t, multiplicará 100 t. x 150 Kg/t = 15.000 Kg de ATR. Supondo-se que o valor do Kg do ATR é de R\$ 0,26/ Kg, teremos; 15.000 Kg x R\$ 0,26/Kg, resultando: R\$ 3.900,00. (CNA, p.11, 2007).

O valor do kg de ATR é definido valor do ATR é obtido em função dos preços líquidos do açúcar branco destinado ao mercado interno e externo, do açúcar VHP destinado ao mercado externo, do álcool anidro e hidratado (combustível e industrial) comercializados

⁷ CONSECANA - Conselho dos produtores de Cana-de-açúcar e Álcool.

no mercado doméstico e internacional. É determinado, também, pelo *mix* de produção de cada unidade industrial, ou seja, a quantidade produzida de açúcar e álcool, e pela participação da matéria-prima nos custos de produção do açúcar e do álcool (Sachs, 2007).

CAPÍTULO 3. ÁREA EM ESTUDO

A modelagem da produtividade e rentabilidade foi realizada para o Brasil, tendo sido excluídos os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, por inaptidão climática. Para atribuição de valores de custos e preços o país foi dividido em três macrorregiões. A divisão consiste em uma adaptação da proposta de regionalização apresentada pelo estudo da Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2009) para cálculo de custos de produção da cana-de-açúcar, açúcar e álcool. A primeira (Figura 10), denominada região de Expansão, é composta por áreas em que vem ocorrendo (ou preferenciais para) a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, e atividades associadas ao setor (incluindo os Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Sul do Maranhão, Triângulo Mineiro, Oeste da Bahia e Oeste Paulista), caracterizando-se geralmente pela produção associada a usinas de grande porte e emprego de tecnologias de ponta no processo produtivo.

A segunda região, denominada Centro-Sul Tradicional (Figura 10), inclui o Paraná, Rio de Janeiro, e o restante do Estado de São Paulo e, consiste nas áreas em que o cultivo já estava consolidado anteriormente à recente expansão do setor.

Já a terceira e maior região, aqui denominada de Norte-Nordeste (Figura 10), reúne os Estados da região Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe), Norte (Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Tocantins, Acre), em que o índice de utilização de tecnologias é inferior e os custos de produção são elevados, em função da baixa produtividade e custos de transporte de insumos. Recentemente, diante do contexto de crescimento do setor sucroalcooleiro, mecanismos de planejamento (Manzatto *et al*, 2009) estão sendo criados para evitar a sua expansão para o bioma Amazônia. O Zoneamento Agroecológico da Cana-De-Açúcar, (Manzatto *et al*, 2009) delimitou áreas passíveis de expansão pelo cultivo, em função de critérios ecológicos, de conservação e de aptidão agrícola, e, definiu que toda a extensão do Bioma Amazônia e do Bioma Pantanal (Figura 10) deve ser excluída das políticas de expansão do setor sucroalcooleiro.

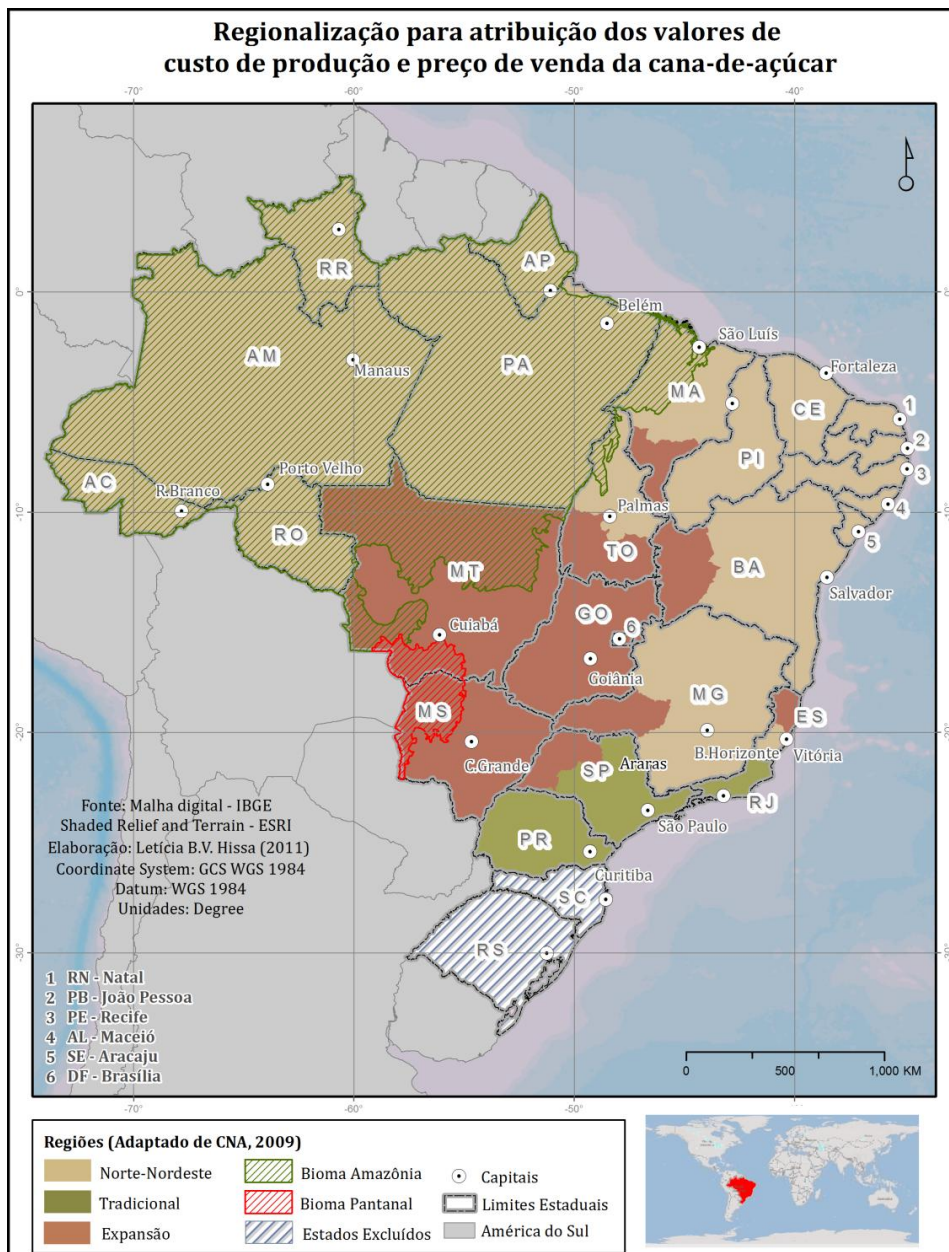


FIGURA 10 - Regionalização da área em estudo para as análises de rentabilidade

Também foram incluídos na região Norte-Nordeste os departamentos de Madre de Dios no Peru e Pando na Bolívia, que juntamente com o Acre compõe a região de fronteira trinacional MAP (Figura 11) na Amazônia Sul Ocidental. A Região MAP, foi incluída na modelagem, para avaliação do potencial do cultivo na região. Recentemente, a área se tornou palco de importantes transformações em infra-estrutura de energia e transportes (Vera-Diaz, 2007) e possui outras intervenções futuras planejadas, que trarão maior dinamismo à região, o que pode intensificar a sua ocupação e trazer impactos ambientais.

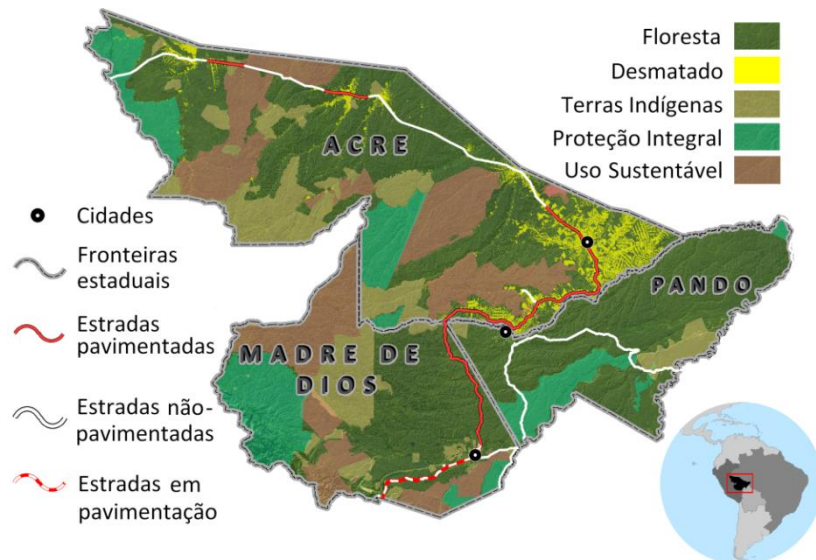


FIGURA 11 - Cobertura do Solo e Áreas Protegidas na Região MAP.
Elaboração: Letícia Hissa. Fonte: CSR/UFGM

O cultivo de cana-de-açúcar não é tradicional na Região MAP. De fato, a Amazônia não possui forte aptidão climática para este cultivo, devido à ausência de uma estação seca bem definida e da pluviosidade excessiva, que prejudicam a maturação da cana-de-açúcar, o que torna uma expansão em larga escala para o bioma improvável. Além disso, o que tem sido verificado no processo de expansão do cultivo no país é a utilização de áreas previamente ocupadas por pastagens, cana-de-açúcar ou outros cultivos (Rudorff *et al*, 2010), em oposição à derrubada de áreas de matas para este fim. Entretanto, no caso do Estado do Acre, recentemente entrou em operação uma usina de grande porte (Usina Álcool Verde) para produção em larga escala de álcool, principalmente, com o apoio de políticas públicas estaduais (Pereira, 2010). Diante do volume de incentivos associados à implantação deste empreendimento, é possível que em um futuro próximo o cultivo da cana-de-açúcar venha a assumir um papel significativo na economia do Acre, o que deve ser visto com cautela, ainda que este esteja previsto para ocorrer em áreas já previamente desmatadas no Estado (MAPA, 2011).

A estimativa da rentabilidade da cana-de-açúcar aplicada à região MAP poderia ajudar a compor o cálculo do custo de oportunidade da redução das emissões de carbono pela Redução do Desmatamento e Degradação Florestal - REDD (Nepstad *et al*, 2007), mecanismo que prevê a compensação financeira à países tropicais que reduzam emissões associadas a estes processos. Um caminho para a estimativa dos custos de implementação de programas REDD é o cálculo da rentabilidade abdicada de atividades

econômicas de relevância regional em prol da conservação florestal e de estoques de carbono (Stickler *et al*, 2009);

CAPÍTULO 4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Estimativas de Produtividade:

O SIMCANA foi adaptado para a plataforma de modelagem ambiental Dinamica EGO (Soares-Filho *et al*, 2009), software que permite a construção de modelos, desde o mais simples modelo espacial estático até modelos dinâmicos complexos, os quais podem envolver iterações aninhadas, retroalimentações dinâmicas, abordagem multiregiões, manipulação e combinação algébrica de dados em vários formatos, tais como mapas, tabelas, matrizes e constantes, processos de decisão para bifurcação e união de fluxos de execução, e uma série de algoritmos espaciais complexos para análise e simulação de fenômenos espaço-temporais (Soares-Filho *et al*, 2009). A implementação do SIMCANA no software Dinamica EGO⁸ permitiu a geração de mapas como saída do modelo, em formato matricial (raster), em que cada célula apresenta um valor de produtividade (ton ha⁻¹) média para a cana-de-açúcar. Para cada célula *i* da matriz o conjunto de equações que compõe o SIMCANA é aplicado, com 365 repetições sequenciais, cada uma representando um dia da simulação.

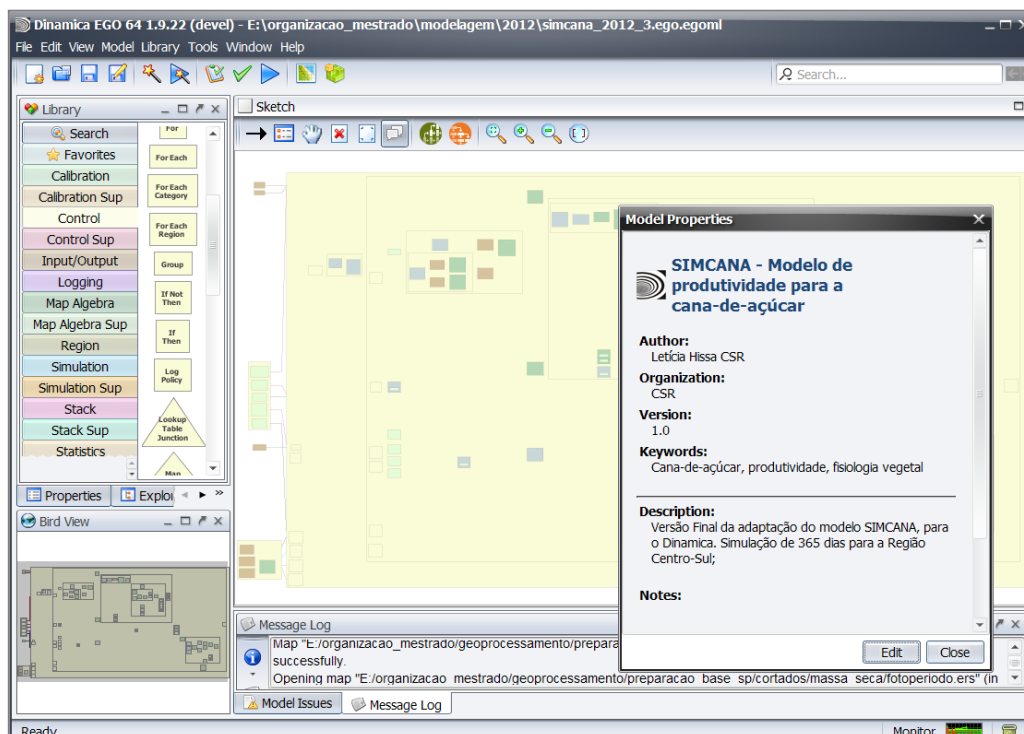


FIGURA 12 - Vista geral do modelo SIMCANA na Plataforma Dinamica EGO

⁸ Para maiores detalhes da implementação do SIMCANA no Dinamica EGO, ver seção anexo.

O acúmulo de matéria seca foi simulado para a safra do ano 2005-2006. A execução do modelo foi realizada em separado para as duas grandes regiões produtoras (Centro Sul e Norte-Nordeste; Figura 13) que dividem o Brasil, de acordo com o calendário de operações agrícolas para o cultivo de cana-de-açúcar (Figura 13).

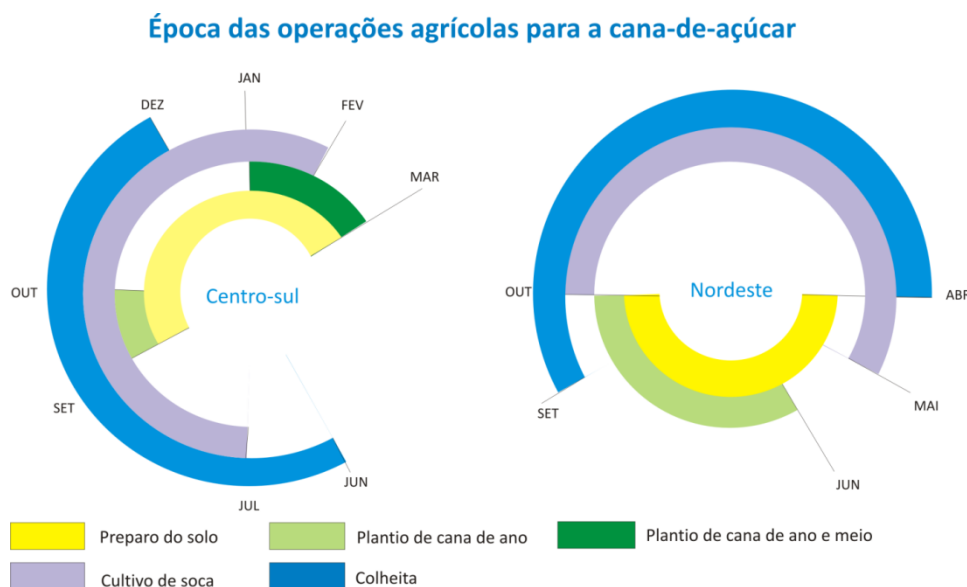


FIGURA 13 - Época das operações agrícolas para a cana-de-açúcar
Fonte: Marchiori (2004).

Para a região Centro-Sul a simulação compreendeu o período entre setembro de 2005 a setembro de 2006, enquanto para região Norte-Nordeste, compreendeu o período entre junho de 2005 a junho de 2006. Para ambas as regiões simulou-se o cultivo baseado em plantio de cana de ano, que no modelo é definido no parâmetro estação de crescimento ESTCRE (Tabela 1), estabelecido para a simulação como de 365 dias. O ano safra 2005-2006 foi escolhido em função da base de dados climáticos que não possuía informações disponíveis para datas após 2006.

Conforme mencionado anteriormente, o modelo não simula o processo de germinação da cultura, tendo sido necessário definir as condições iniciais de massa seca da planta para a primeira iteração do modelo. Estabeleceu-se que: massa seca total inicial $PCULT_1 = 15 \text{ (g.m}^{-2}\text{)}$. Além disso, o modelo simula o acúmulo de matéria seca pela cana-de-açúcar, e não a massa total da planta. Dessa forma, após a estimativa de matéria seca, este valor foi convertido para massa total, ou produtividade. Considerou-se que a matéria seca representa 25% da massa total.

Base de dados

Para as simulações foi elaborada uma base de dados espaciais (Tabela 2) de acordo com as demandas do modelo, em formato raster (Tabela 2).

Tabela 2. Dados espaciais utilizados

Informação	Resolução Espacial Original	Resolução Temporal	Fonte
Radiação Solar Global	0.4 gd ⁹	5 dias	Modelo GL2 - CPTEC-INPE
Temperatura Máxima (Tmax)	0.5 gd	30 dias	ClimaticResearch Unit - CRU
Temperatura Mínima (Tmin)	0.5 gd	30 dias	ClimaticResearch Unit-CRU
Pressão de Vapor do Ar (Vpar)	0.5 gd	30 dias	ClimaticResearch Unit - CRU

Fonte: Ceballos, 2004; Mitchell, 2005.

Todos os dados foram reamostrados para uma resolução espacial de 0.5 graus decimais, que foi determinada para o modelo de acordo com a qualidade dos dados disponíveis. Como o modelo opera em base diária e a resolução temporal dos dados não era compatível com esta demanda (Tabela 2), a solução encontrada foi a repetição das médias mensais para os dias de abrangência do mês.

A umidade relativa do ar, um dos dados necessários para a correção da taxa de fotossíntese FOTCUL, foi calculada através da equação 6, devido à indisponibilidade desta informação no formato necessário:

$$UR=100*(VPar*VPsat-1) \quad (6)$$

em que a umidade relativa do ar UR (%), representa a razão entre a pressão de vapor do ar Vpar (hpa) e a pressão de saturação do vapor do ar Vpsat (hpa). O dado Vpar estava disponível em formato raster (Tabela 2), enquanto o Vpsat foi calculado pela equação 7:

$$VPsat = 0.611 * \exp[(17.27 * temp)/(temp + 237.3)] \quad (7)$$

4.2. Estimativas de Rentabilidade:

Para o cálculo da rentabilidade, o estudo se baseou em três fatores: a produtividade potencial do cultivo ($\text{ton ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) para o ano safra 2005-2006, os custos de produção ao fornecedor de cana-de-açúcar ($\text{R}\$.\text{ton}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) para o período 2007-2008 e o preço pago ao produtor ($\text{R}\$.\text{kg ATR}^{-1}$) para o período 2007-2008 pelo produto. Os valores de

⁹ gd = grau decimal

conteúdo médio de ATR (Açúcar Total Recuperável) por tonelada de cana-de-açúcar, custos e preços utilizados foram retirados do relatório apresentado pela CNA (CNA, 2009).

A. Produtividade

Para a produtividade, foi utilizado o mapa de produtividade potencial ($\text{ton ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) simulado para o ano 2005-2006. Os valores simulados de produção para o cultivo da cana-de-açúcar foram multiplicados *pixel a pixel*, pelos valores de referência de conteúdo médio de ATR, por Estado, apresentados na tabela 3 e figura 14. Com isso, obteve-se um mapa de produtividade do cultivo em termos de ATR ($\text{Kg ATR}\cdot\text{ha}^{-1}$) já que o conteúdo de açúcar do produto é a referência para remuneração da cana-de-açúcar. Os Estados que apresentam maior conteúdo de ATR por tonelada de cana-de-açúcar pertencem à Região Centro-sul, com uma média de 141.7 kg por tonelada, enquanto a Região Norte-Nordeste apresenta uma média de 133.8 kg por tonelada.

TABELA 3 - Rendimento de ATR em kg por tonelada de cana-açúcar na safra 2007-2008 por Estado e Região.

Estado e Região	Kg ATR/ ton cana
São Paulo	142.3
Paraná	137.9
Minas Gerais	143.4
Mato Grosso do Sul	138.7
Goiás	145.6
Mato Grosso	138.5
Rio de Janeiro	128.1
Espírito Santo	138.2
Centro-Sul	141.7
Alagoas	137.6
Pernambuco	133.2
Paraíba	122.9
Rio Grande do Norte	130
Bahia	131.2
Maranhão	137.9
Piauí	133.4
Sergipe	129.7
Ceará	117.4
Amazonas	105
Tocantins	130.0
Norte-Nordeste	133.8
Brasil	140.7

Fonte: CONAB, 2008 *apud* Moreira, 2008.

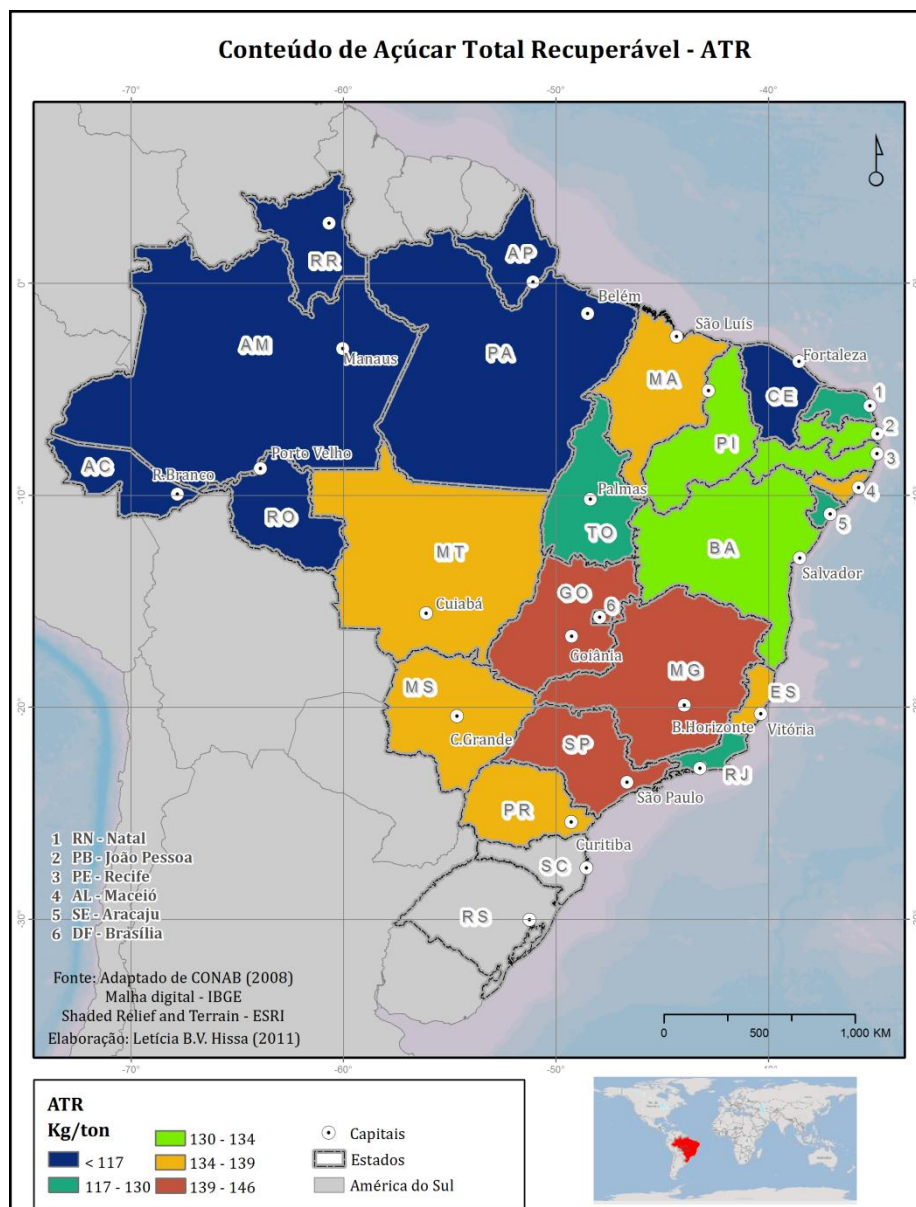


FIGURA 14 - Espacialização e adaptação dos valores de ATR para o Brasil.
 Fonte: Adaptado de CONAB (2008) *apud* Moreira, 2008;

B. Custos

Optou-se pela utilização dos dados publicados no relatório apresentado pela CNA (CNA, 2009) (Tabela 4), pela metodologia homogênea de levantamento de informações sobre custos para as três regiões representativas do cenário de produção da cana-de-açúcar no país. O relatório traz informações sobre dois tipos de custos: padrão e eficiente. Os custos padrão representam os valores médios de mercado verificados por região, enquanto os custos eficientes representam custos ideais, ou seja, os menores

valores de custos verificados em pesquisa de campo (CNA, 2009). Ambos foram utilizados, para geração de cenário de rentabilidade real e máxima para o produtor.

TABELA 4. Custos de produção operacional (COE, COT e CT) Padrão e Eficiente ao fornecedor de cana-de-açúcar (R\$.ton⁻¹ano⁻¹) para as regiões Tradicional, Expansão e Norte-Nordeste (2007-2008).

Região	Tradicional		Expansão		Norte-Nordeste	
	Padrão	Eficiente	Padrão	Eficiente	Padrão	Eficiente
<i>Mecanização</i>	14.40	12.27	14.95	13.73	13.71	13.05
<i>Mão de obra</i>	6.87	6.11	8.84	8.39	17.03	16.87
<i>Insumos</i>	10.22	9.33	9.68	9.04	14.57	12.86
<i>Arrendamentos</i>	2.27	2.27	2.18	2.18	1.17	1.17
<i>Despesas administrativas</i>	5.40	4.81	2.76	2.70	5.66	4.97
Custo operacional Efetivo (COE)	39.16	34.80	38.41	36.04	52.14	48.92
<i>Depreciações</i>	3.03	2.96	1.39	1.34	2.49	2.36
Custo operacional Total (COT)	42.19	37.77	39.81	37.38	54.63	51.28
<i>Remuneração da Terra</i>	4.22	4.22	2.84	2.84	3.63	3.63
<i>Remuneração do Capital</i>	1.69	1.61	1.01	0.95	1.57	1.45
Custo total (CT)	48.11	43.60	43.66	41.17	59.82	56.35

Fonte: CNA, 2009.

As despesas descritas acima foram consideradas no cálculo do custo médio anual de produção (R\$ ton⁻¹ano⁻¹). Os custos das operações de transporte da cana-de-açúcar foram separados do total, e calculados a parte, através de uma função de custo de transporte acumulado. Considerou-se a distância euclidiana entre cada pixel do *grid* de células de produtividade e a localização da rede de usinas de processamento, e o custo de transporte em reais por tonelada de cana-de-açúcar transportada. Os custos de transporte - ou frete - utilizados foram extraídos e adaptados de Rangel *et al* (2008) e estão representados no quadro 4, seguinte.

QUADRO 4. Custos (R\$ ton⁻¹) com operações de Transporte (CCT)

Distância	R\$	Distância	R\$	Distância	R\$	Distância	R\$
1-5	2,20	21-25	4,78	41-45	6,57	61-65	8,63
6-10	2,77	26-30	5,19	46-50	7,04	66-70	9,11
11-15	3,75	31-35	5,72	51-55	7,39	71-75	9,44
16-20	4,33	36-40	6,12	56-60	8,00	76-80	9,76

Fonte: Rangel, 2008.

A figura 15, apresenta o resultado do cálculo do custo de transporte da tonelada de cana-de-açúcar, em função da distância das usinas. Aplicando os valores do quadro 4, às distâncias de cada pixel do *grid* em relação às usinas, obteve-se um valor máximo de

frete por tonelada a ser pago de R\$ 32.2 e mínimo de R\$ 0.52. Os altos custos de frete justificam a localização dos canaviais a uma distância máxima de 50-100 km da usina de processamento.

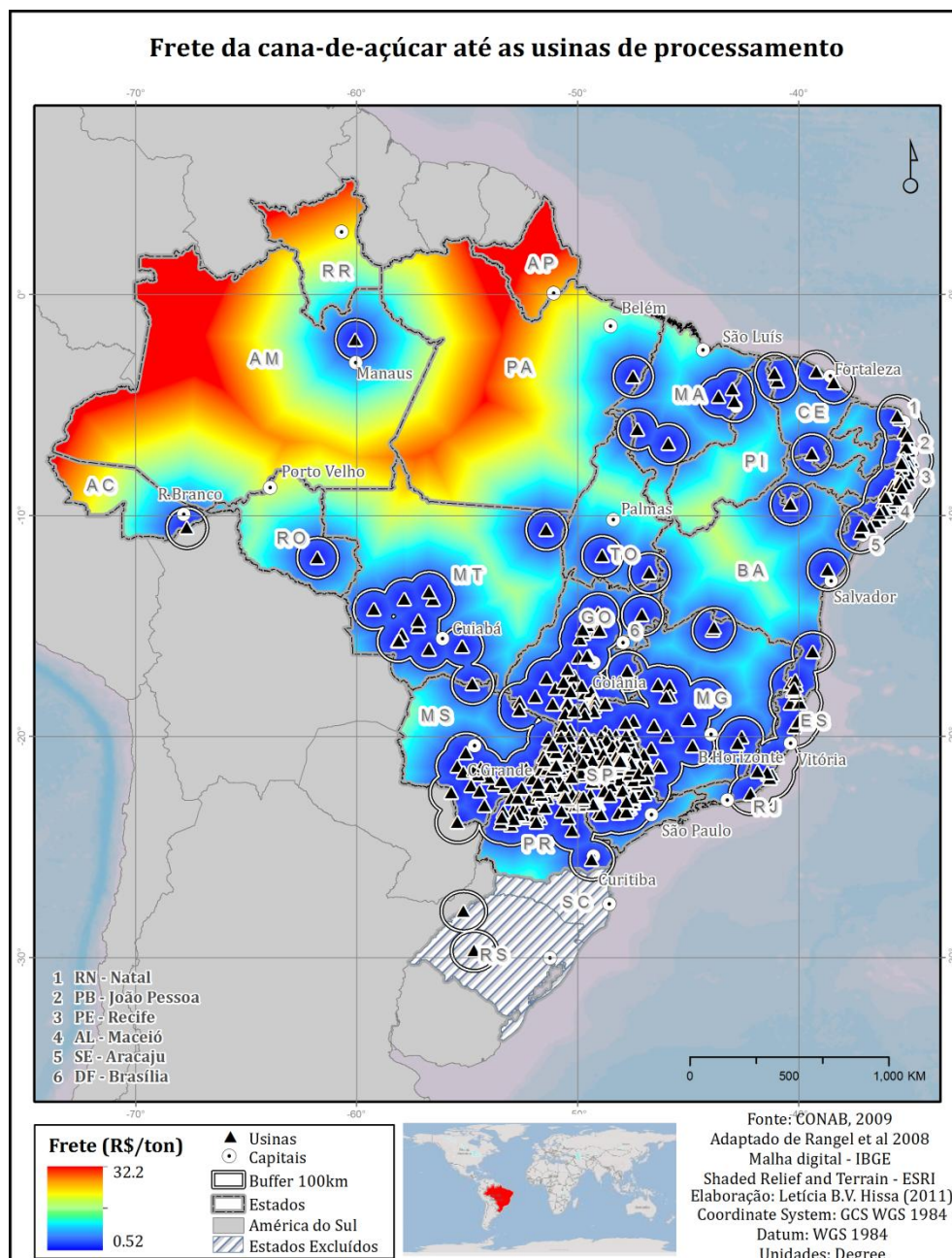


FIGURA 15 - Frete da cana-de-açúcar até a Usina de processamento mais próxima
 Fonte: CONAB 2009; Adaptado de Rangel *et al*, 2008.

Dessa forma, os valores considerados para elaboração do mapa de custos foram (tabela 4):

$$\text{Custos} = \text{CT} + \text{CTr} \quad (8)$$

CT= Custos totais;

CTr= Custos de Transporte;

TABELA 5 - Custos Totais (CT) considerados, Padrão e Eficiente ao fornecedor de cana-de-açúcar (R\$ ton⁻¹ano⁻¹) para as regiões Tradicional, Expansão e Nordeste (2007-2008)

Região	Tradicional		Expansão		Norte-Nordeste e MAP	
	Padrão	Eficiente	Padrão	Eficiente	Padrão	Eficiente
Custos	30.87	26.36	26.68	24.49	37.02	33.55

Fonte: Adaptado de CNA, 2009.

As informações sobre custos (Tabela 5) foram associadas à base georreferenciada municipal do IBGE¹⁰ do ano de 2005, atribuindo-se os valores de acordo com as regiões Centro-Sul Tradicional, Expansão e Norte-Nordeste. O mapa resultante foi então somado ao mapa de custos de transporte. O resultado foi multiplicado com o mapa de produtividade potencial da cana-de-açúcar em (ton.ha⁻¹ano⁻¹), obtendo-se como resultado um mapa de custos de produção em (R\$ ha⁻¹ano⁻¹).

C. Preços

Conforme colocado no Capítulo 2, a remuneração pela produção vendida às usinas se dá pelo conteúdo de açúcar por tonelada de cana-de-açúcar, de acordo com metodologia determinada pelo Conselho Açúcar Total Recuperável, ou ATR de Produtores de Cana-de-açúcar (CONSECANA) de cada Estado. Neste caso, o cálculo do preço médio da cana-de-açúcar é realizado de acordo com quantidade em Kg de ATR contida em cada tonelada de cana-de-açúcar (CNA, 2007). Já cálculo do preço do ATR é resultado das vendas de açúcar e de álcool no mercado interno e externo da região de abrangência do CONSECANA estadual (CNA, 2007).

TABELA 6. Preços de ATR (R\$.kg ATR⁻¹) utilizados

Região	Preço
Tradicional	0,2443
Expansão	0,2443
Norte-Nordeste	0,2722

Fonte: CNA, 2009.

¹⁰ Malha Municipal Digital Brasileira. 2005. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TERRIT>. Último acesso em 12 dez. 2010.

Rentabilidade

A rentabilidade ($\text{R\$ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) do produtor (para custos eficientes e padrão) foi então calculada a partir do seguinte cruzamento de mapas (Figura 16):

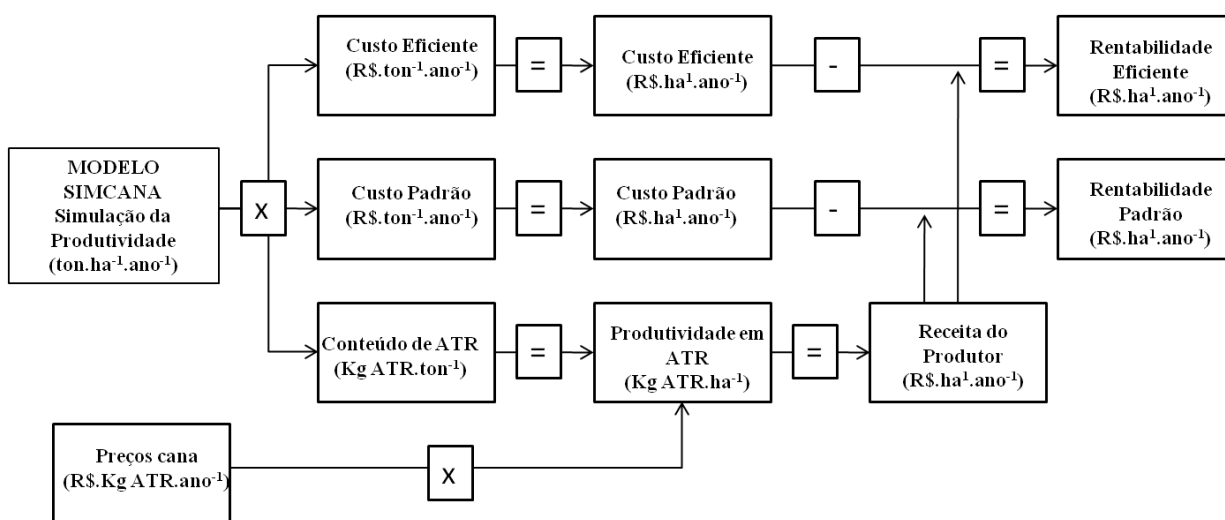


FIGURA 16 - Diagrama das operações envolvidas no cálculo da rentabilidade ($\text{R\$ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) do produtor de cana-de-açúcar

Em resumo, o mapa de produtividade da cana-de-açúcar simulado foi multiplicado, pelos mapas de custos por unidade de peso ($\text{R\$ ton}^{-1}\text{ano}^{-1}$) para obtenção de um mapa de custos de produção por hectare, de acordo com a produção simulada por unidade de área. Para obtenção do conteúdo de ATR por hectare, os dados estaduais de ATR médio foram também cruzados com o mapa de produtividade simulada, o resultado, um mapa de produtividade de ATR em $\text{kg ATR}^{-1}\text{ha}^{-1}$, foram cruzados com os preços pagos por quilograma de ATR, obtendo-se um mapa com a receita obtida por pixel a partir da produção. Destes valores de Receita foram então subtraídos os valores de custos para a obtenção da Rentabilidade, para custos eficientes e padrão. Todas as análises foram realizadas através da plataforma de modelagem ambiental Dinamica EGO (Soares-Filho *et al*, 2009).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultados da implementação do SIMCANA

Os resultados da modelagem traduzem a resposta do cultivo da cana-de-açúcar às condições climáticas diárias vigentes e à localização geográfica em termos de acúmulo de matéria seca durante a estação de crescimento. O modelo foi capaz de replicar o comportamento do crescimento da cana-de-açúcar de forma semelhante à apresentada por Pereira e Machado (1986). A figura 17 abaixo mostra a evolução da simulação do Fator Umidade Relativa (17a), Fator Temperatura (17b), Fator Radiação (17c), Coeficiente de Manutenção (17d), Taxa de Fotossíntese (17e), IAF (17f) Acúmulo de Massa Seca Aérea (17g) para a cidade de Araras (SP). Os gráficos (17a-c) indicam o peso (0-1) que as variáveis temperatura, radiação e umidade tiveram ao longo da simulação.

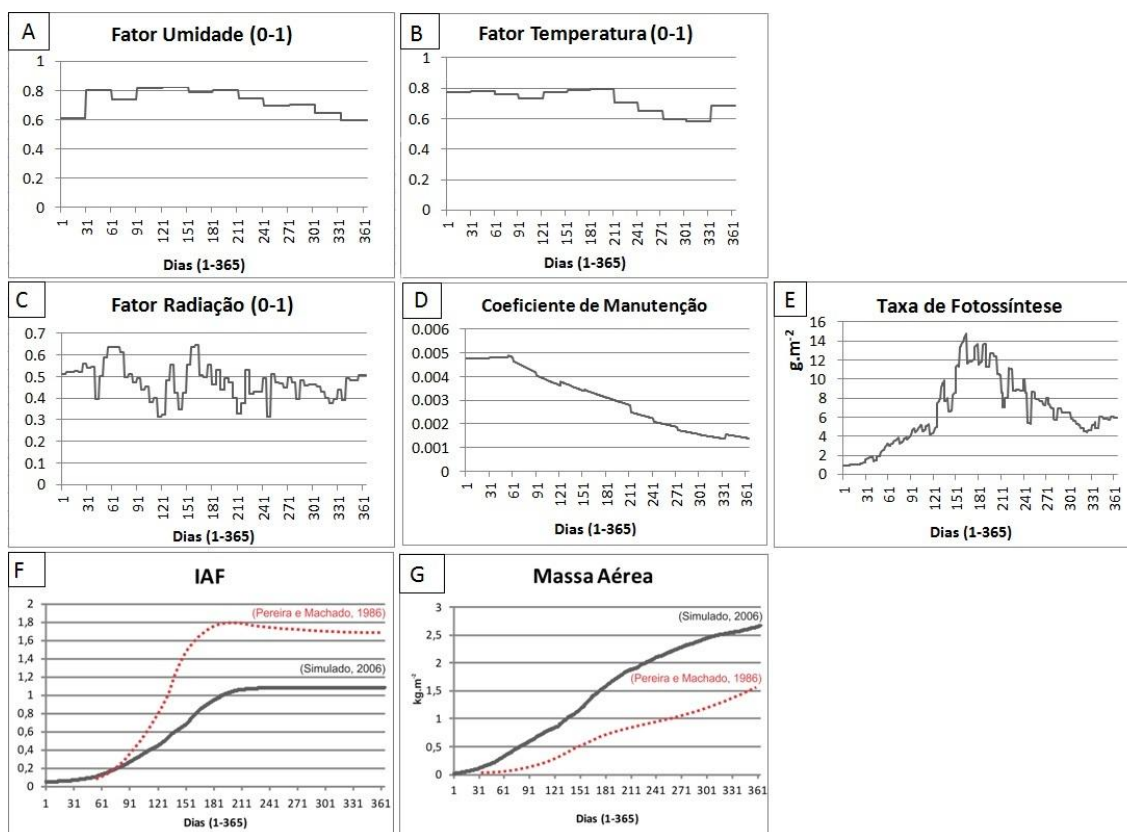


FIGURA 17 - a) Fator Umidade Relativa (FUR); **b)** Fator Temperatura (FTEMP); **c)** Fator Radiação (FRAD); **d)** Coeficiente de Manutenção (M); **e)** Taxa de Fotossíntese (FOTCUL); **f)** Índice de Área Foliar (IAF); **g)** Acúmulo de Massa Aérea simulados para 365 dias em Araras-SP.

Durante os meses de inverno (dias 1-30 e 200-365 da simulação) ocorre a redução do coeficiente do Fator Umidade e Fator Temperatura. Já o Fator Radiação se mostrou oscilante ao longo de todo o período, mas com picos nos meses de novembro e fevereiro da simulação. O Coeficiente de Manutenção (17d) - que é função da temperatura e idade fisiológica da planta -, apresenta uma curva decrescente do início ao fim da simulação, indicando que conforme o crescimento da planta avança no tempo, menos energia é despendida com a sua manutenção. A Taxa de Fotossíntese (17e) também apresentou comportamento esperado, com crescimento exponencial até a metade do ciclo, seguido de um comportamento descendente, indicando desaceleração do metabolismo e do acúmulo de matéria seca na segunda metade do período simulado.

Foi realizada uma comparação (Figuras 17f e 17g) entre os resultados obtidos para Araras-SP para o ano 2005-2006, com os resultados obtidos por Pereira e Machado (1986) para a mesma localidade, para o Índice de Área Foliar e Massa Aérea. O IAF máximo atingido na simulação de Pereira e Machado foi de 1,8 enquanto para 2005-2006, apresentou IAF máximo de 1,2 uma diferença de 34%. Contudo, o comportamento da curva apresentou aspecto semelhante. Já a Matéria Seca Aérea, apresentou um máximo de 1.5 g/m²/dia na simulação de Pereira e Machado (1986), enquanto na simulação de 2005-2006, apresentou um máximo de 2.7 g/m²/dia, uma diferença de 45%, e, novamente, um comportamento semelhante pode ser observado entre as duas curvas. As diferenças nos valores podem estar associadas ao fato de que, apesar de ambas as curvas se referirem à mesma localidade (Araras-SP), o comportamento do clima certamente foi diferente para essas duas datas, separadas por 30 anos. Além disso, o conjunto de dados que alimenta as duas simulações é diferente. Pereira e Machado utilizaram como *inputs* para sua simulação dados com resolução temporária diária e medidos com muito mais acurácia do que os utilizados na presente análise (que além de representarem resolução espacial de ~50km, possuíam uma resolução temporal mensal para os dados de umidade relativa e temperatura e de cinco dias para os dados de radiação).

A figura 18 mostra uma comparação dos resultados para alguns dos principais centros produtores de cana-de-açúcar de São Paulo com dados de Rendimento do IBGE (IBGE, 2006). Tomando como base os valores de Rendimento do IBGE, em todos os casos, a simulação superestima a produtividade, em 17% para Araras, 21% para Piracicaba, 34% para Ribeirão Preto e 32% para São José do Rio Preto.

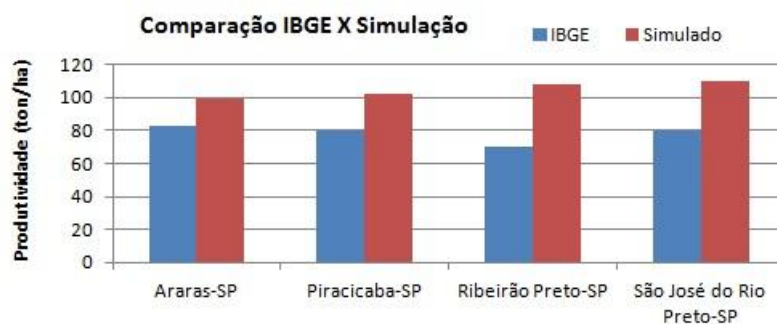


FIGURA 18 - Comparação entre produtividade simulada e rendimento da cana-de-açúcar (IBGE), para o ano 2006, para quatro centros produtores de São Paulo.

A tabela 7 e figuras 19 e 20 mostram os resultados em termos de produtividade, após a conversão da matéria seca para produtividade da cana-de-açúcar. Para a região Centro-Sul, o modelo simulou uma faixa de produtividade entre 86 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ e 130 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ (figura 19). Os Estados que apresentaram maior e menor produtividade potencial para as regiões Centro-Sul foram Mato Grosso (MT) e Paraná (PR) respectivamente com uma produtividade média simulada de 122 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ e 96 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 7).

TABELA 7. Produtividade média simulada para os Estados da região Centro-Sul

Estado	Prod (Ton.ha ⁻¹)
Mato Grosso	122
Goiás	112
Mato Grosso do Sul	109
Espírito Santo	110
Rio de Janeiro	107
Minas Gerais	108
Paraná	96
São Paulo	103
Acre	94
Alagoas	53
Amapá	108
Amazonas	108
Bahia	38
Ceará	69
Maranhão	86
Pará	114
Paraíba	59
Pernambuco	43
Piauí	52
Rio Grande do Norte	81
Roraima	75
Rondônia	83
Sergipe	56
Tocantins	76

Fonte: Dados da pesquisa

Para a região Norte-Nordeste, os Estados que apresentaram maior e menor produtividade simulada foram Pará (PA) e Bahia (BA), com respectivamente 114 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ e 38 ton. ha⁻¹ ano⁻¹. Entretanto, as médias subestimam os valores de produtividade para a Região Nordeste, uma vez que consideram toda a extensão dos Estados, inclusive de regiões não produtoras de cana-de-açúcar do polígono da seca (Figura 20).

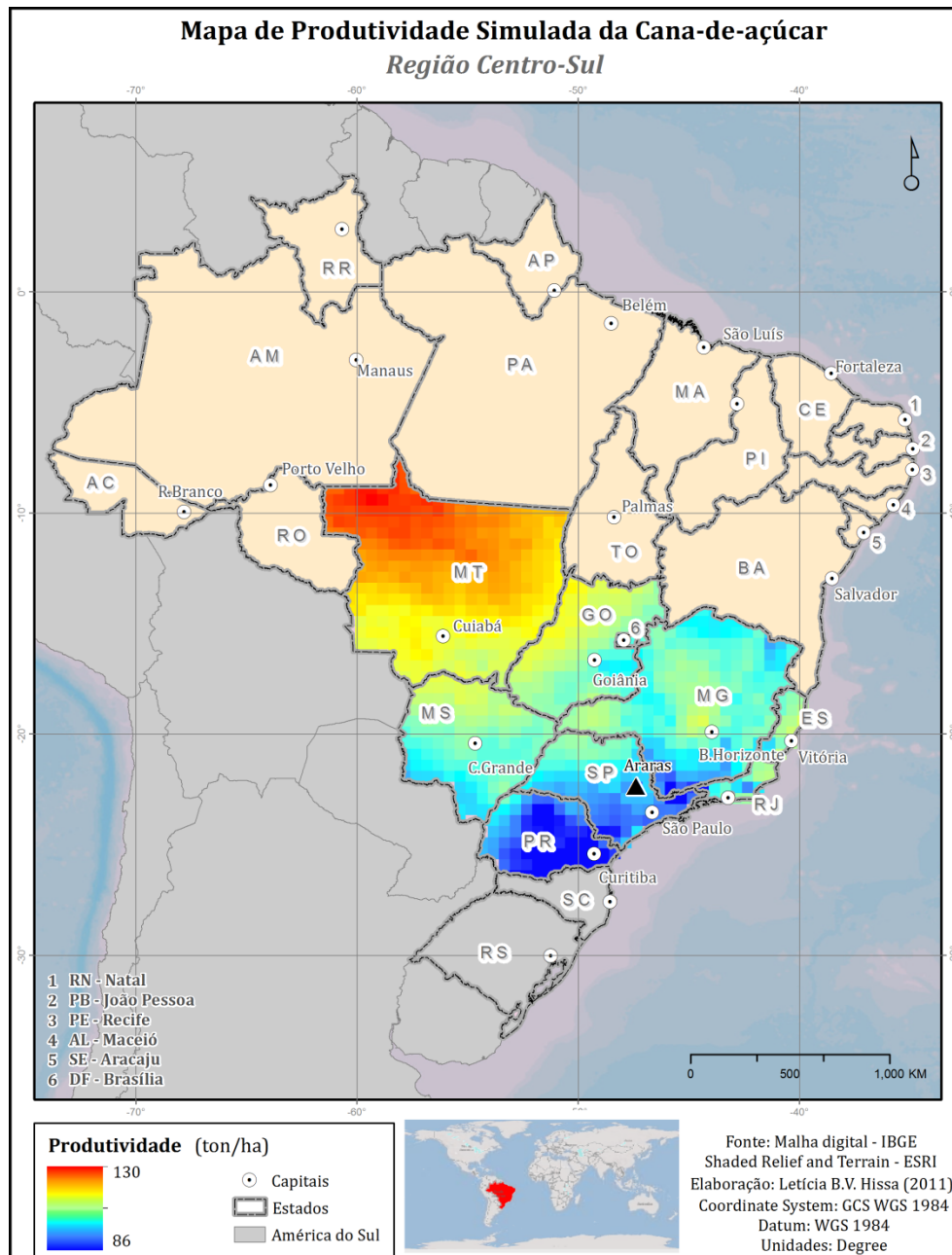


FIGURA 19 - Mapa de produtividade simulada para a região Centro-Sul - 2006

Aplicado para uma simulação em escala nacional, o SIMCANA superestimou a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente para a Região Norte e para o Estado de

Mato Grosso, que apresentaram produtividade superior à do Estado de São Paulo e Paraná, tradicionais produtores. Os resultados mostram que o modelo é bastante sensível à variação da temperatura e umidade, penalizando áreas pouco úmidas como o Nordeste Semi-Árido e frias como o sul do Paraná e de São Paulo com produtividades mais baixas.

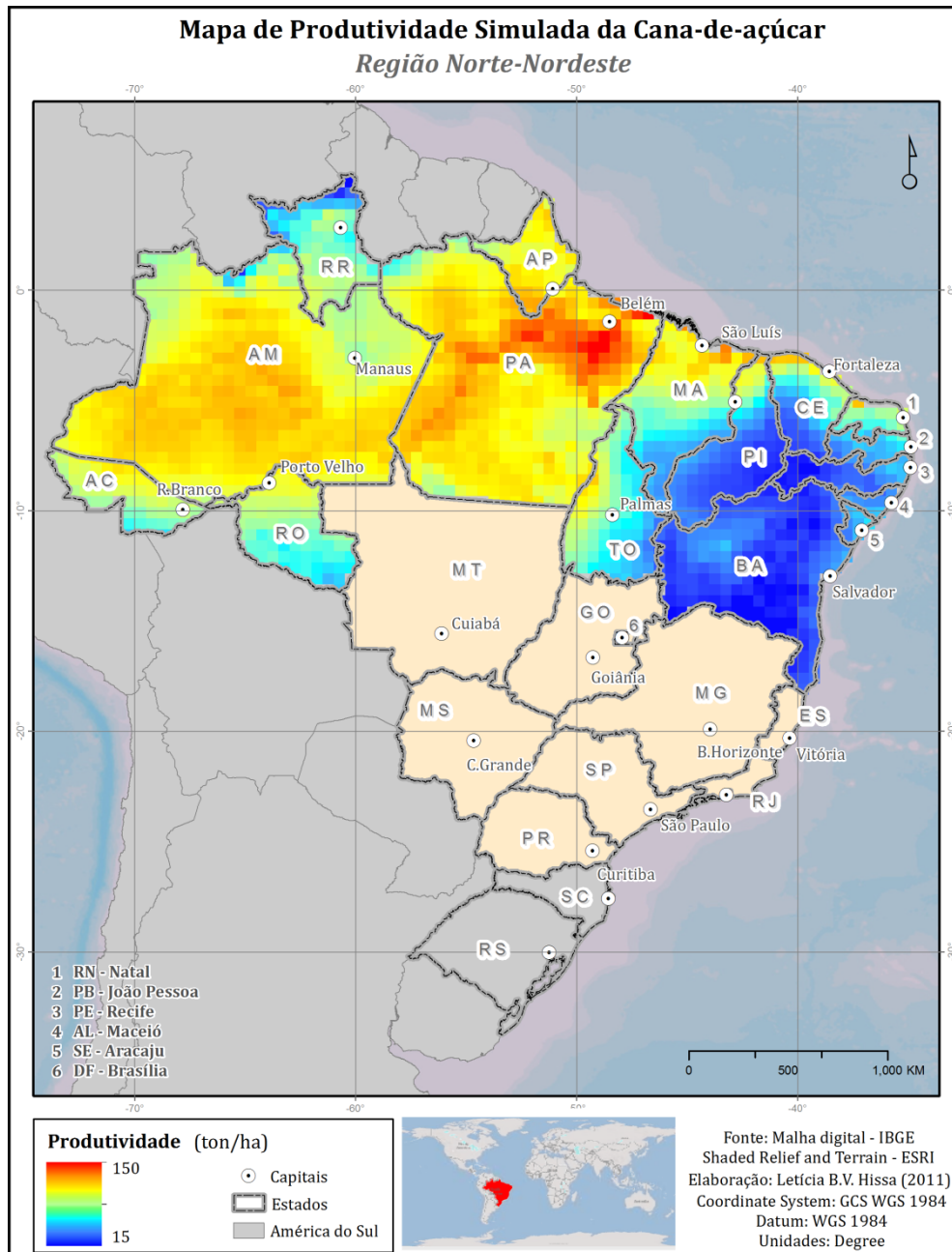


FIGURA 20 - Mapa de produtividade simulada para a região Norte-Nordeste - 2006

Por outro lado, áreas com temperaturas elevadas e alta umidade como a Amazônia apresentaram uma produtividade elevada, como o estado do Pará, que atinge valores potenciais de até 150 ton ha^{-1} . Contudo, quando foi elaborado, o SIMCANA não avaliou

o impacto da precipitação e dos solos sobre a produtividade. Conforme já foi colocado, a cana-de-açúcar necessita de uma estação seca ao final do ciclo, para que a maturação ocorra e haja acúmulo de sacarose. Dessa forma, áreas sem restrição hídrica por ao menos alguns meses do ano se classificam como inaptas ao cultivo, por produzirem cana-de-açúcar de baixa qualidade em conteúdo de açúcar. Apesar de não representar essa relação no modelo, ao cruzar o mapa de produção de cana-de-açúcar em ton ha⁻¹, com o mapa de conteúdo de ATR (Figura 14), inserimos a variável qualidade da cana-de-açúcar na modelagem, uma vez que o conteúdo médio de açúcar para os Estados da Região Norte-Nordeste é inferior ao dos Estados da Região Centro-Sul.

5.2. Estimativas de Rentabilidade

A distribuição da rentabilidade simulada variou em função da produtividade (Figuras 19-20), região de ocorrência (Figura 10), conteúdo de ATR (Figura 14), custo de produção total (Tabela 5), frete da cana-de-açúcar (Figura 15) e preços pagos por quilograma de ATR (Tabela 6). A combinação de todos esses fatores resultou nos mapas das Figuras 21 e 22, que representam cenários de custos de produção padrão e eficientes.

A Macrorregião Norte-Nordeste apresentou retorno negativo (em rosa nas figuras) em quase toda a sua extensão para os cenários de custos padrão e eficientes, indicando que diante dos parâmetros e valores adotados, o desenvolvimento da atividade canavieira não compensa para esta Região. Os resultados mostram que apesar da elevada produtividade simulada na Amazônia, os valores baixos de ATR, a ausência de usinas ou sua distância (tornando os fretes restritivos) e os custos elevados de produção fazem com que os preços praticados não ultrapassem os gastos desembolsados com a produção, principalmente considerando-se os custos padrão. A Região MAP também não apresentou nenhum retorno econômico para a atividade, de acordo com a simulação para os cenários. Essa análise econômica fortalece o argumento que defende que a expansão em larga escala do cultivo de cana-de-açúcar para a Amazônia é improvável, e que não será responsável pela conversão direta de florestas (Nassar *et al.*, 2011).

Para o cenário de custos padrão, apenas a porção central e norte de Minas Gerais apresentaram valores positivos. Já para o cenário de custos eficientes, os valores positivos para esse estado se expandiram consideravelmente e uma pequena porção do

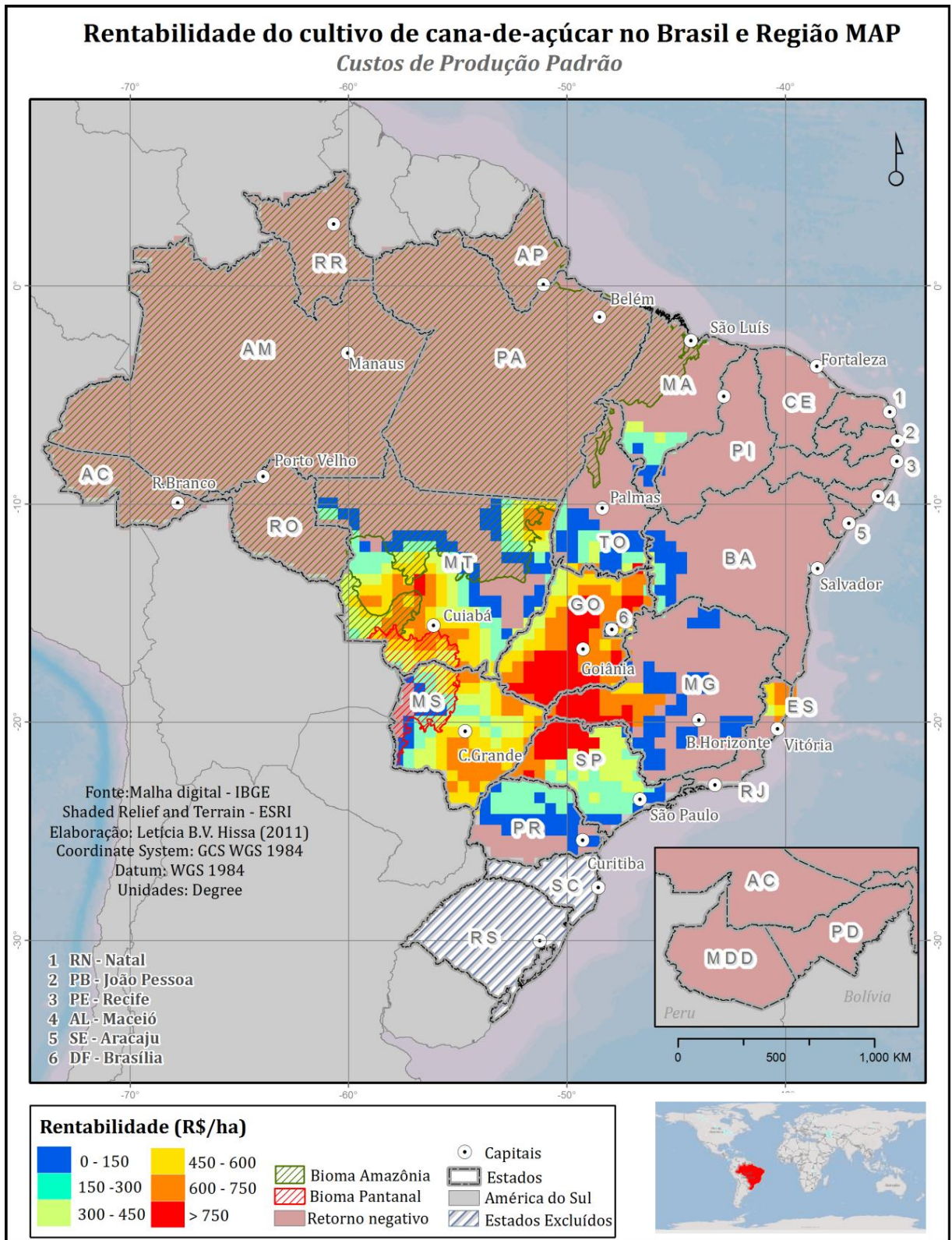


FIGURA 21 - Rentabilidade simulada para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e Região MAP - Custos de Produção Padrão.

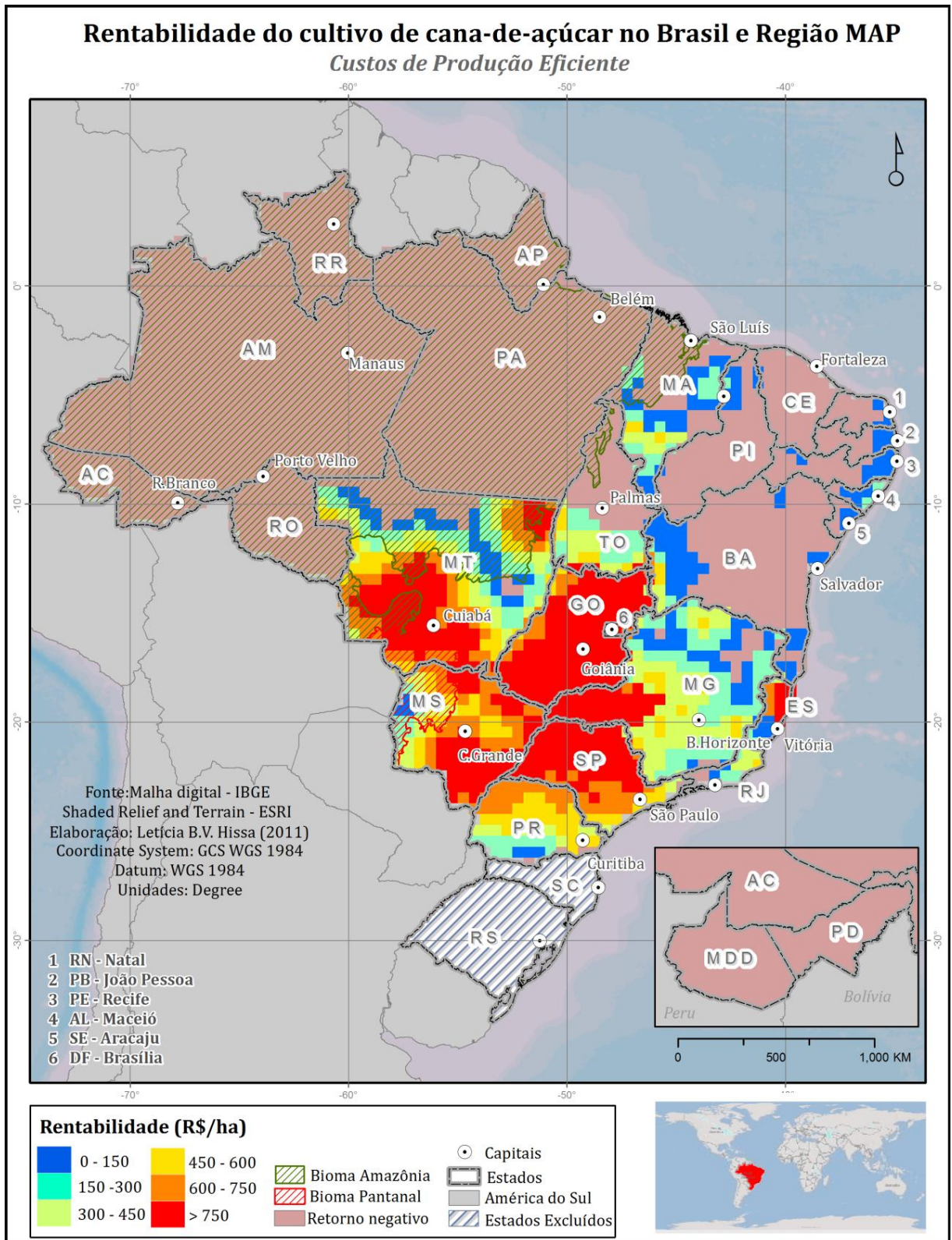


FIGURA 22 - Rentabilidade simulada para o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e Região MAP - Custo de Produção Eficiente.

litoral do Nordeste e algumas porções do leste e oeste do Maranhão apresentaram rentabilidades positivas, - mas que na maioria das áreas não ultrapassaram R\$300/ha (Figura 22) -, em função de valores de ATR mais elevados e da presença de uma malha de usinas mais densa (Figura 15), uma vez que a atividade está presente na região desde o período colonial.

A Macrorregião Tradicional, apresentou um bom desempenho devido aos custos de produção, conteúdo elevado de ATR, mas especialmente à presença de um grande número de usinas. Os resultados mostraram alta sensibilidade à variação de custos de produção, entre cenários padrão e eficiente (Figura 23). O estado do Rio de Janeiro, que apresentou o pior desempenho entre os Estados da Região Tradicional (Tabela 8), por exemplo, apresentou retorno negativo para o cenário de custos padrão, mas apresentou rentabilidade positiva para o cenário eficiente, numa média de R\$/ha 276. A rentabilidade média para a Região Tradicional foi de aproximadamente R\$/ha 200 e R\$/ha 550 para os custos padrão e eficientes respectivamente (Figura 23).

TABELA 8 - Rentabilidade Mínima, Máxima e Média por Estado para Custos Padrão e Eficientes.

Estados	Mín. Padrão	Máx. Padrão	Média Padrão	Mín. Eficiente	Máx. Eficiente	Média Eficiente
Tocantins	33.37	845.45	194.39	165.46	1092.42	385.59
Maranhão	1.88	397.68	203.95	3.78	567.89	188.24
Piauí	7.70	7.70	7.70	27.68	197.50	84.79
Rio Grande do Norte	-	-	-	3.69	66.56	29.63
Paraíba	-	-	-	18.93	80.51	46.14
Pernambuco	-	-	-	5.27	120.36	57.28
Alagoas	-	-	-	19.25	181.10	123.41
Sergipe	-	-	-	12.42	67.72	35.20
Bahia	0.22	397.45	99.53	10.53	638.72	130.16
Minas Gerais	0.78	867.45	353.11	7.18	1114.85	382.72
Espírito Santo	432.86	639.42	568.15	60.92	889.26	543.61
Rio de Janeiro	-	-	-	95.64	479.78	276.91
São Paulo	3.85	801.53	418.57	314.61	1043.94	794.10
Paraná	9.73	228.05	133.79	134.42	690.67	469.97
Mato Grosso do Sul	5.86	724.92	421.29	41.90	964.42	635.79
Mato Grosso	1.66	751.53	377.03	5.70	1020.98	533.84
Goiás	178.76	928.61	686.17	188.27	1176.00	926.25
DF	542.45	616.27	579.36	778.88	855.62	817.25

Fonte: Dados da Pesquisa

*Foram considerados na média e mínimos apenas os valores positivos de rentabilidade.

A Tabela 9 apresenta uma comparação entre valores de arrendamento para localidades do estado de São Paulo e rentabilidades simuladas (Tabela 9) como critério para

avaliação dos resultados, concentrados nas regiões de Expansão e Tradicional. Com exceção de Araçatuba, Assis e São José do Rio Preto, os valores de rentabilidade anual estimados foram inferiores à renda obtida pelo arrendamento da terra. As diferenças podem ser explicadas pelas estimativas conservadoras de produtividade do cultivo, simuladas para este Estado. Contudo, na comparação com os resultados obtidos considerando os custos eficientes, os valores de rentabilidade foram superiores ao arrendamento em todos os casos. Esta comparação sugere que, além da produtividade subestimada, talvez a produção no caso do Estado de São Paulo seja mais eficiente do que o padrão de mercado considerado para este estudo. Entretanto, devido à baixa disponibilidade de informações econômicas sobre o agronegócio a incorporação de dados representativos à modelagem se torna tarefa difícil.

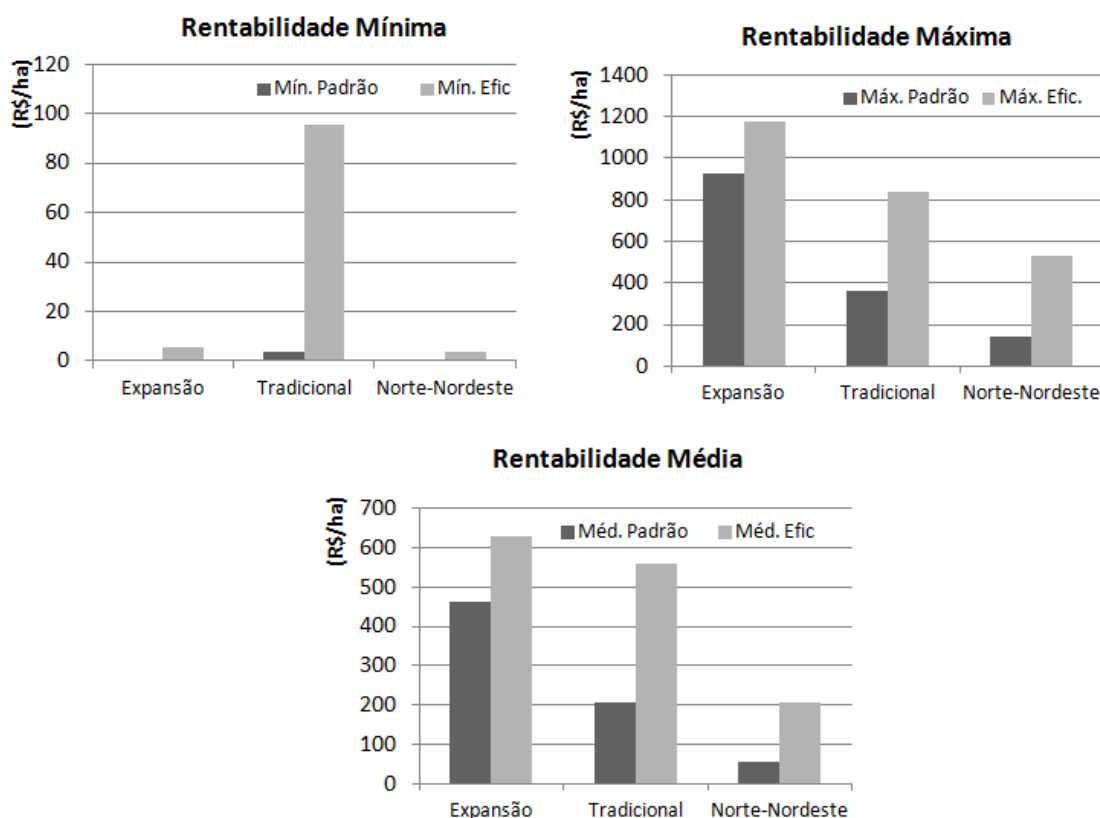


FIGURA 23 - Rentabilidades mínima, máxima e média apresentadas pelas Regiões de Expansão, Tradicional e Norte-Nordeste para cenários de custo padrão e eficiente.

Finalmente, a Macrorregião de Expansão mostrou um comportamento diferente das regiões anteriores. As estimativas apresentaram um retorno econômico positivo para quase toda a sua extensão, tanto para o cenário de custos de produção padrão como para o de custos de produção eficientes. Para esta região, também foram obtidos os valores

máximos de rentabilidade para toda a área simulada (Tabela 8; Figura 23). A combinação favorável dos fatores proximidade de usinas, custos de produção inferiores, alto conteúdo de ATR e alta produtividade simulada tornaram a atividade mais rentável. O Estado de Goiás apresentou as maiores rentabilidades, para os cenários de custos padrão e eficiente, ultrapassando mil R\$/ha nesse último caso. Esta foi a única Região em que todos os estados apresentaram rentabilidades positivas para a simulação. A rentabilidade média para a Região de Expansão foi de aproximadamente R\$/ha 450 e R\$/ha 620 para os custos padrão e eficientes respectivamente (Figura 23).

A elevada rentabilidade estimada fortalece a preocupação com o Bioma Cerrado, que já teve mais de 40% de sua cobertura vegetal convertida em outros usos, e que ainda apresenta taxa anual de desmatamento de 4 mil km² ao ano (Ferreira *et al*, 2011). A expansão do setor sucroalcooleiro já representa ameaça à conservação do Cerrado, que possui apenas 2.7% de sua área protegida por Unidades de Conservação. É grande a probabilidade de que o Cerrado acomode a expansão prevista pelo MAPA de área plantada de cana-de-açúcar. Esta ameaça coloca em cheque a capacidade do governo de cumprir os compromissos de redução do desmatamento e emissões de GEE no bioma firmados no PNMC (BRASIL, 2009). De fato, a Figura 24, mostra que os *hotspots* de desmatamento no Cerrado se concentram nas áreas citadas por Goldemberg (2008) como preferenciais para expansão do cultivo de cana-de-açúcar (Oeste da Bahia, Sul do Maranhão).

TABELA 9 - Valores estimados de rentabilidade pelo arrendamento de terra para produção de cana-de-açúcar

Data	Arrendamento (R\$/ha/ano)	Local	Rentabilidade Estimada (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		Região
			Eficiente	Padrão	
2007	449.4	Araçatuba/SP	1006	767	Expansão
2007	624.3	Presidente Prudente/SP	960	730	Expansão
2007	696.6	S.J.do Rio Preto/SP	1027	787	Expansão
2007	449.4	Assis/SP	779	314	Tradicional
2007	449.4	Itapetininga/SP	738	288	Tradicional
2007	510.8	Bauru/SP	811	336	Tradicional
2007	524.3	Marília/SP	776	303	Tradicional
2007	541.6	Piracicaba/SP	769	311	Tradicional
2007	572.6	Campinas/SP	767	302	Tradicional
2007	619.1	Araraquara/SP	813	333	Tradicional

Fonte: Preços sobre contratos de arrendamentos – SCOOT Consultoria.

A Região de Expansão, também apresenta uma área de interseção com o Bioma Amazônia, próxima à divisa com o Cerrado, na região de fronteira agrícola no Estado do Mato Grosso, que merece atenção. A área apresenta elevada rentabilidade potencial para o cultivo de cana e, como mostra a Figura 24, também está próxima de uma das regiões que apresenta maior densidade de desmatamento no Cerrado, sugerindo que a pressão para a expansão agrícola combinada com a fragilidade nos mecanismos de prevenção do desmatamento em nível local poderiam tornar a região especialmente suscetível a este processo.

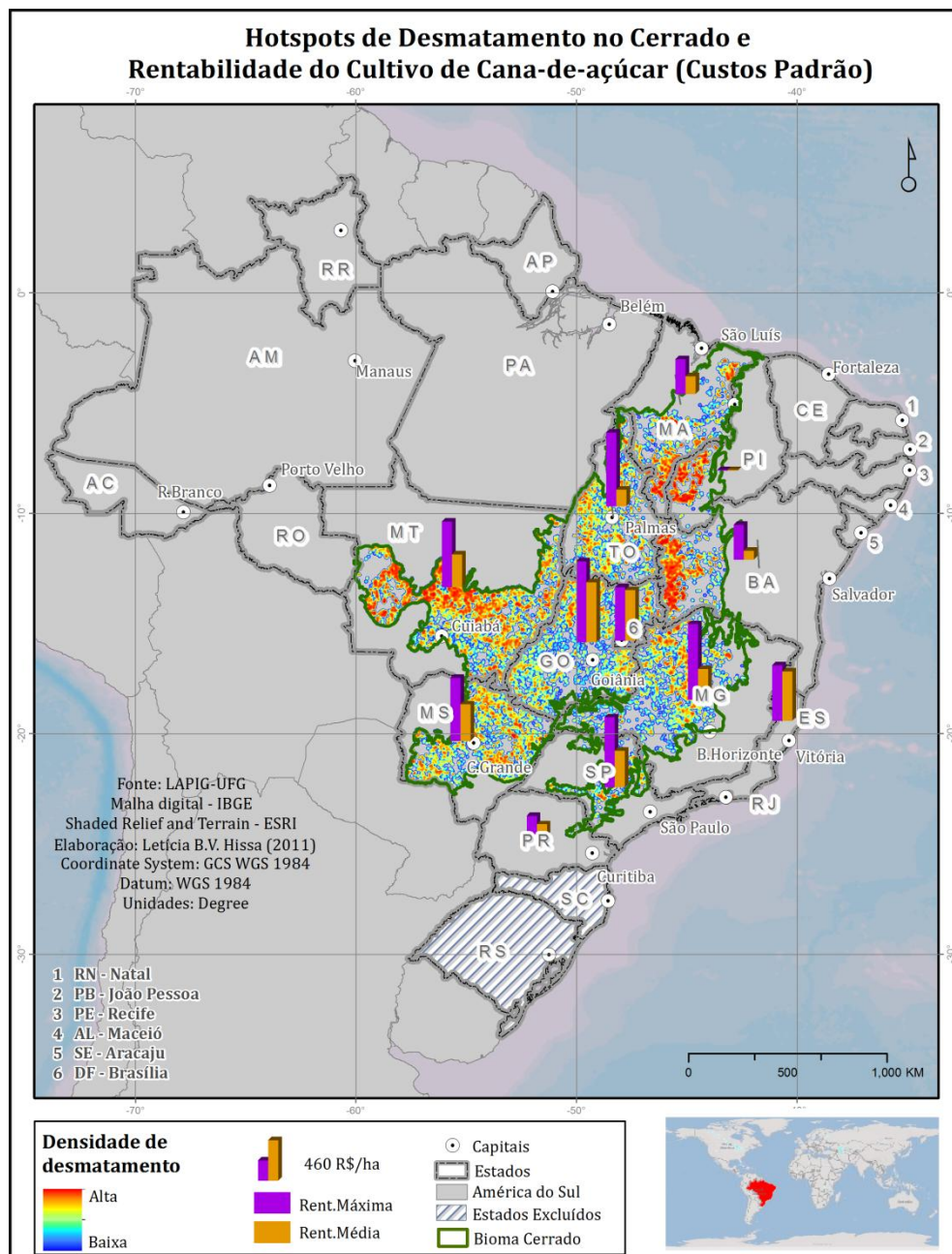


FIGURA 24 - Hotspots de desmatamento no Bioma Cerrado e Rentabilidade do Cultivo de Cana-de-açúcar (Custos Padrão)

Além disso, ainda que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar não ocorra diretamente sobre remanescentes florestais no Cerrado ou na Amazônia, uma outra questão merece reflexão. O avanço do cultivo sobre outros usos, em áreas já abertas pode provocar o desmatamento através de mudanças indiretas do uso da terra. A medida que a demanda por subprodutos da cana-de-açúcar aumenta, cresce também a pressão por mais terras para cultivo. Áreas ocupadas, por exemplo, por pastagens são adquiridas nesse processo para alocar novas plantações de cana-de-açúcar, e, a pecuária pode ser deslocada para áreas de fronteira agrícola através, muitas vezes, da abertura de novas frentes de desmatamento (Lapola *et al*, 2010). Arima *et al* (2011) avaliaram este processo para a dinâmica recente da soja, objetivando investigar o sucesso da Moratória. Os resultados indicaram que apesar da expansão da soja não ter sido diretamente responsável pela remoção de cobertura florestal na Amazônia nos últimos anos, a sua expansão na porção central e sudeste do Brasil seria responsável por mudanças indiretas de uso da terra, através do deslocamento da pecuária para região de fronteira agrícola.

Diante do exposto, políticas devem ser postas em prática, visando ordenar o processo de expansão dos cultivos, que competem por terras na região mais central do Brasil, com objetivo de controlar os possíveis impactos ambientais que podem decorrer desta dinâmica. O Zoneamento da cana-de-açúcar (Manzatto *et al*, 2009), por exemplo, determinou critérios ambientais restritivos à expansão da cana-de-açúcar. Conforme já mencionado, os Biomas Pantanal e Amazônia estão excluídos de uma possível expansão. A Figura 25 mostra, além desse critério, outros possíveis norteadores para a expansão do cultivo. As áreas em verde destacam terras que apresentam características desfavoráveis, tais como: presença de áreas protegidas, remanescentes vegetais, declividades restritivas (acima de 12%), áreas urbanas e áreas já ocupadas pelo cultivo de cana-de-açúcar. Por outro lado, transparecem as áreas que já foram convertidas para usos agrícolas e que hoje representam pastagens ou outros cultivos. Entre estas áreas, é possível afirmar, grosso modo, que, seriam favoráveis à expansão da cana-de-açúcar aquelas terras já convertidas, com usos mais improdutivos (por exemplo, pastagens subutilizadas) e que apresentarem as maiores rentabilidades. Regiões alvo seriam, portanto, o Triângulo Mineiro, Sul de Goiás e Oeste Paulista. Entretanto, essas políticas devem ser acompanhadas também, de um esforço para evitar as já mencionadas mudanças indiretas de uso da terra. Soares-Filho *et al* (2012) sugerem que deve ser aplicado o uso racional do território, através, por exemplo da intensificação da pecuária

nas regiões que se mostrarem aptas a este processo, reservando, desse modo, terras para expansão de cultivos agrícolas, como a cana-de-açúcar.

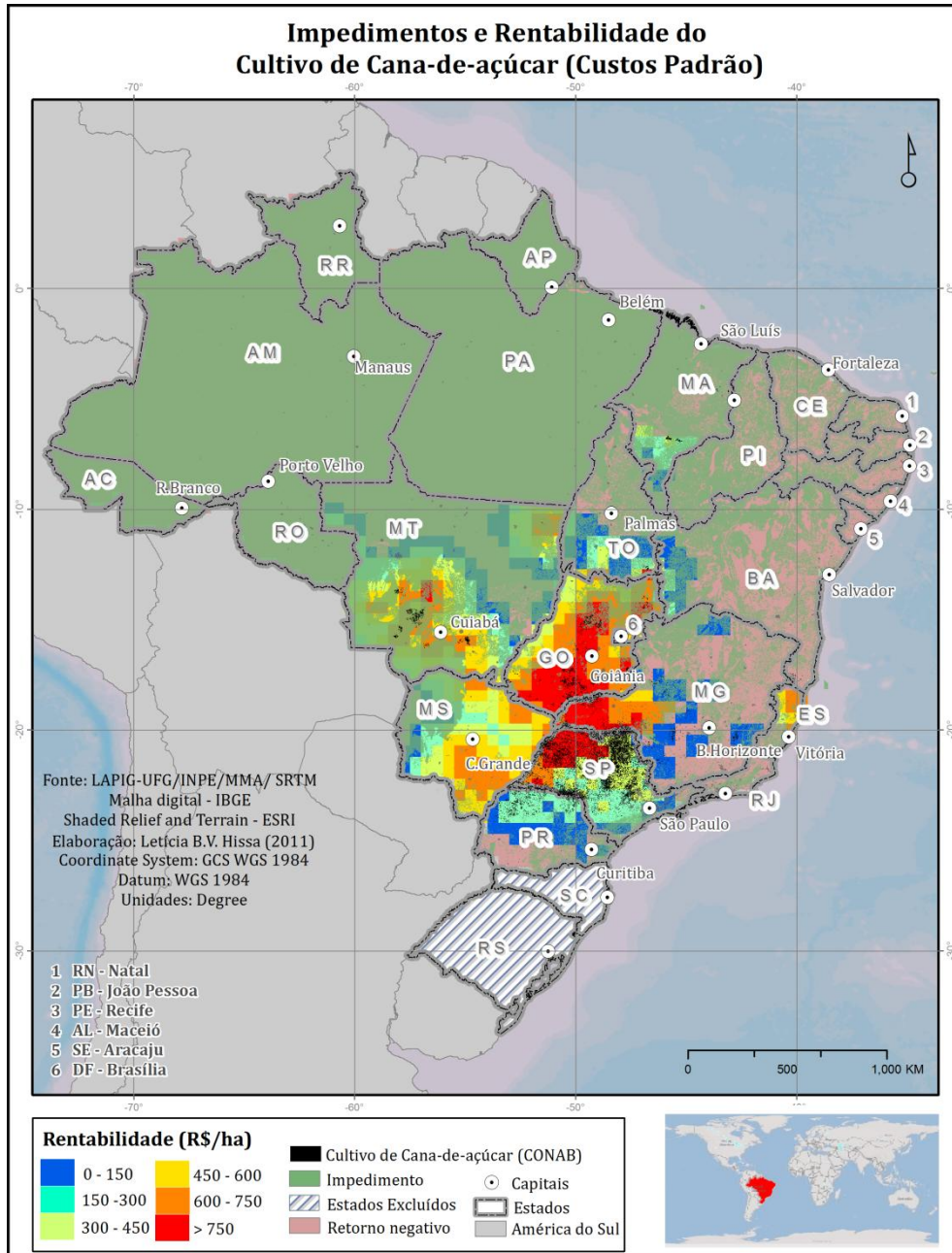


FIGURA 25 - Impedimentos à expansão da cana-de-açúcar e rentabilidade do cultivo

Considerações Finais

No que se refere ao modelo de simulação da produtividade, originalmente este foi calibrado para Araras e validado para Piracicaba no Estado de São Paulo (Pereira e Machado, 1986), não tendo sido aplicado para outras regiões. Portanto, inconsistências em valores e no padrão da distribuição geográfica do acúmulo de matéria seca eram esperadas ao se expandir a simulação para todo o Brasil. No futuro, novos testes devem ser realizados, para obtenção de estimativas de outros anos safra e confirmação da capacidade do modelo de simulação da produtividade do cultivo. Além disso, os resultados não retratam variáveis que podem ser importantes na explicação da variação da produtividade entre localidades. Por exemplo, o modelo não inclui a influência das técnicas de manejo, utilização de insumos, tipos de solos, topografia, possível ocorrência de pragas e infestações, melhoramento genético de variedades da espécie. Estes fatores, especialmente os avanços em tecnologias e em pesquisas genéticas trouxeram ganhos expressivos em produtividade nos últimos 30 anos, e podem explicar os valores subestimados de produtividade simulados para Estados tradicionais no cultivo de cana-de-açúcar, como Paraná e São Paulo. Ainda assim, o modelo se mostra como uma ferramenta potencial para seleção de áreas em função do potencial climático e estimativas de produtividade, podendo ser utilizado para verificação do impacto de variações futuras na temperatura sobre a produtividade potencial, a partir da utilização de bases de dados de cenários de mudanças climáticas.

O cruzamento das informações de custos e preços com estimativas de produtividade potencial permitiu identificar de forma espacialmente explícita áreas onde a rentabilidade para o cultivo de cana-de-açúcar para o produtor seria menor ou maior, sendo que de acordo com o conjunto de dados utilizados, a região mais rentável para o cultivo é a de Expansão, e, com menor rentabilidade potencial, a Norte-Nordeste e MAP. O desempenho inferior da região Norte-Nordeste e MAP, já era esperado, devido à baixa qualidade da cana-de-açúcar em termos de conteúdo de ATR e custos e preços menos favoráveis. Para esta última região, a sustentabilidade da atividade depende de melhorias nos índices de produtividade ou redução de custos de produção, que na comparação com as demais regiões são mais elevados. Entretanto, é importante ressaltar que os resultados apresentados aqui consistem em um retrato, fiel aos dados utilizados como *inputs*. Caso a Região sofra transformações, com a implantação das condições

necessárias à atividade sucroalcooleira, o panorama pode se transformar, e o cultivo pode se tornar rentável.

As análises de rentabilidade, no futuro devem ser aprimoradas com a repartição das macrorregiões em escalas de análise mais detalhadas, com a coleta de dados de preço e custos, por exemplo, para microrregiões ou municípios. Outra alteração prevista é a inserção de séries temporais, para avaliação da evolução da rentabilidade do cultivo de cana-de-açúcar. Apesar das deficiências, o modelo aqui proposto consiste em uma ferramenta flexível, com potencial para inserir novas variáveis e analisar outros cenários pertinentes de forma prática.

Referências Bibliográficas

AgraFNP. Agrifinal 2010 - **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: AgraFNP, 2010.

Amaral, E. Aptidão dos solos do Acre para a cana-de-açúcar. **EMBRAPA - Comunicado técnico**, n.143,p.1-6, 2006.

Arima, E. Y., P. Richards, R. Walker, M. M. Caldas. 2011. “Statistical confirmation of indirect land use changes in the Brazilian Amazon”. **Environmental Research Letters** 6. doi:10.1088/1748-9326/6/2/024010.

Bateman, I.; Lovett, A.A.; Brainard, J.S. **Applied environmental economics: a GIS approach to cost-benefit analysis**. New York: Cambridge University Press, 2005.

Bergantini, M. F. **Análise de rentabilidade e Risco na produção de cana-de-açúcar na Região Norte do Estado de São Paulo sob diferentes arranjos contratuais**. (Dissertação de Mestrado). Unesp Botucatu. 2009.

BRASIL. 2009. Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm.

Ceballos, J.C.; Bottino, M. J.; Souza, J.M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOESE imagery. **J. Geophys. Res**, v. 109. 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil, situação observada em novembro de 2007**. Brasília, 2008.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Cana-de-açúcar: orientações para o setor canavieiro**. Brasil; Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: CNA/SENAR, 2007.

CNA. Marques P.V. (Coord.) **Custos da produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil**. Piracicaba: Universidade de São Paulo. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária no Brasil – CNA.194 p. 2009.

Collichio, E. **Zoneamento edafo-climático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado de Tocantins**. 2008. (Doutorado em Ecologia Aplicada). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.

CONSECANA-SP. **Manual de Instruções**. Piracicaba: CONSECANA, 2006 5.ed.

Costa, M. **Distribuição e crescimento radiculares em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares de solos com características distintas**. 2005 (Tese de doutorado em

Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.

Cuadra, S.V.; Costa, M.H.; Kucharik, C.J.; Rocha, H.R.; Tatsch, J.D.; Inman-Barber, G.; Rocha, R.P.; Leite, C.C.; Cabral, O.M.R. A biophysical model of sugarcane growth. **Global Change Biology**, v.4,n.1, p.36-48, jan. 2012.

Doorembos, J.; Kassan, A.H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). Roma: FAO, 1994. 212 p.

Everingham, Y.L.; Inman-Barber, N.G. Thonburn, P.J.; McNeill, T.J. A Bayesian Modelling Approach for Long Lead Sugarcane Yield Forecasts for the Australian Sugar Industry. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.58, 2007.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Human Energy Requirements**, Report. 2005

FAO - Food and Agriculture Organization. **Faostat**, 2010. Disponível em: <faostat.fao.org>. Último acesso em 18 de jan. 2011.

Fausto, B. **História do Brasil**. São Paulo: Edusp, 1996.

Fernandes, A.C.L.; Bellingieri, J. Modelos de venda de cana-de-açúcar: comparação entre contratos de fornecimento e arrendamento. Revista EPeQ/Fafibe, v.1., 2009.

Ferreira, N.C.; Ferreira, L.G.; Ferreira, M.E.; Bustamante, M.; J. Ometto. Assessing deforestation related carbon emission in the Brazilian savanna based on moderate resolution imagery. **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, IGARSS (IEEE International, Vancouver), pp. 748–51, 2011.

Godoy, A.A. **Modelagem de processos de acumulação de biomassa e de açúcar de açúcar da cana-de-açúcar via sistemas nebulosos**. 2007. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

Goldemberg, J.; Coelho, S.T.; Guardabassi, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, v.36, p. 2086-2097, 2008.

Gouvêa, J.R.F. **Mudanças Climáticas e a expectativa de impactos na cultura de cana-de-açúcar na Região de Piracicaba-SP**. (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PAM: Produção Agrícola Municipal**, 2010. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>.

Inman-Barber, N.G. A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. **S. Afr. J. Plant Soil**, v. 8, p.93-99, 1991.

Laar, Fl. Pi. Van, Goudrian, J. & Keulen, Fl. Van. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. Quantitative Approaches in System Analysis. **Dept of thermo. Prod. Ecol.Wageningen**, v.14, 1997.

Lapola, D.M.; Priess, J.A.; Bondeau, A. Modeling the land requirements and potential productivity of sugarcane and jatropha in Brazil and India using the LPJmL dynamic global vegetation model. **Biomass and Bioenergy**, v.33, p.1087-1095, 2009.

Lapola, D. M., R. Schaldach, J. Alcamo, A. Bondeau, J. Koch, C. Koelking, and J. A. Priess. 2010. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the National Academy of Sciences** v.107 p.3388–93.

Manzatto, C.V.; Assad, E.D.; Bacca, J.F.M.; Zaroni, M.J.; Pereira, S.E.M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2008/2009 a 2019/2020**. Brasília, 2010. Disponível em www.agricultura.gov.br.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria 92/2011**. 24 de março de 2011.

Marchiori, L.F.S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 275 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

Marin, F.R.; Lopes-Assad, M.L.; Assad, E.D.; Vian, C.E.; Santos, M.C. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 43, p. 1449-1455, 2008.

Mitchell, T.D.; Jones, P.D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **Int. J. Climatol.**, v.25, p.693–712, 2005.

Moreira, M.M.R. **Análise prospectiva do padrão de expansão do setor sucroenergético do brasileiro: uma aplicação de modelos probabilísticos com dados georreferenciados**. 2008. (Dissertação em Mestrado em Economia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

Nass, L.L.; Pereira, P.P.A.; Ellis, D. Biofuels in Brazil: an overview. **Crop. Sci.** v.47, p.2228-2237, 2007.

Nassar, A. M. ; Rudorff, B F T. ; Antoniazzi, L. B. ; Aguiar, D. A. ; Bacchi, M. R. P. ; Adami, M. . Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: Zuurbier, P.; Van De Vooren, J.. (Org.). **Sugarcane**

ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. 1ed. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008, v. 1, p. 63-93.

Nassif, D.S.F. Parametrização do modelo DSSAT-CANEGRO para as cultivares brasileiras de cana-de-açúcar. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.** *Belo Horizonte, 2009.*

Nepstad, D.C.; Soares-Filho, B.S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H.O.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S. **The costs and benefits of Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon.** Disponível em <http://www.whrc.org/policy/pdf/cop13/WHRC_Amazon_REDD.pdf>

O'Leary, G.J. A review of three sugarcane simulation models in their prediction of sucrose yield **Proc. S. Afr. Sug. Technol.**, v.73, p.33-34, 1999.

Pereira, A.R.; Machado, E.C. Um simulador dinâmico do crescimento da cana-de-açúcar. **Bragantia** v.45, p.107-122, 1986.

Pereira, M.F.V. A inserção recente da cana-de-açúcar no sudoeste da Amazônia: novos indícios da instabilidade do território em Rondônia e Acre. **Interações**, 11, n.2. 2010.

Rangel, J.J.A.; Francisco, L.E.S. Modelo de Simulação para o Sistema de Corte, Carregamento e Transporte de Cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro. In: **V Circuito de Iniciação Científica do CEFET - Campos**, 2008.

Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat Data. **Remote Sensing**, 2010, n.2, p.1057-1076.

Sachs, R.C.C. Remuneração da tonelada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v.37, n.2, fev. 2007.

Santos, J.M. **Caracterização fisiológica e influência da época de plantio no florescimento de cultivares de cana-de-açúcar.** 2007 (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2007.

Santos, A.A.; Pereira, E.C.G.; Andrade, L.H.C. A agroindústria canavieira e o ambiente: novos cenários econômicos que influenciaram o setor em Alagoas. **Economia Política do Desenvolvimento.** Maceió, v.1, n.6, p.111-131, jan-abr, 2009. Disponível em: <www.seer.ufal.br/index.php/rped/article/viewFile/132/122>.

Silva, F.C.; Bergamasco, A.F. **Levantamento de modelos matemáticos aplicados à cana-de-açúcar.** EMBRAPA, Campinas. 2001.

Sitch, S.; Smith, B.; Prentice, I.C.; Arneth, A.; Bondeau, A.; Cramer, W. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. **Global Change Biology**, 2003 v. 9 n.2, p.161-85.

Soares-filho, B S., Rodrigues, H., Costa, W.. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Disponível em <www.csr.ufmg.br/dinamica>. 2009. ISBN: 978-85-910119-0-2.

Soares-Filho, B.S.; Lima, L.S.; Bowman, M.; Hissa, L. V. **Challenges for Low-Carbon Agriculture and Forest Conservation in Brazil**. Inter-American Development Bank Environmental Safeguards Unit (VPS/ESG) TECHNICAL NOTES. 2012.

Stickler, C.; Nepstad, D.; Coe, M.; Macgrath, D.; Rodrigues, H.; Davidson, E.; Soares-Filho, B. The potential ecological costs and co-benefits of REDD: a critical review and case study. **Global Change Biology**, v.15, n.12, p.2803-2824, 2009.

Suguitani, C. **Entendendo a produção de cana-de-açúcar: avaliação do Modelo Mosaic**. 2006. (Tese de Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

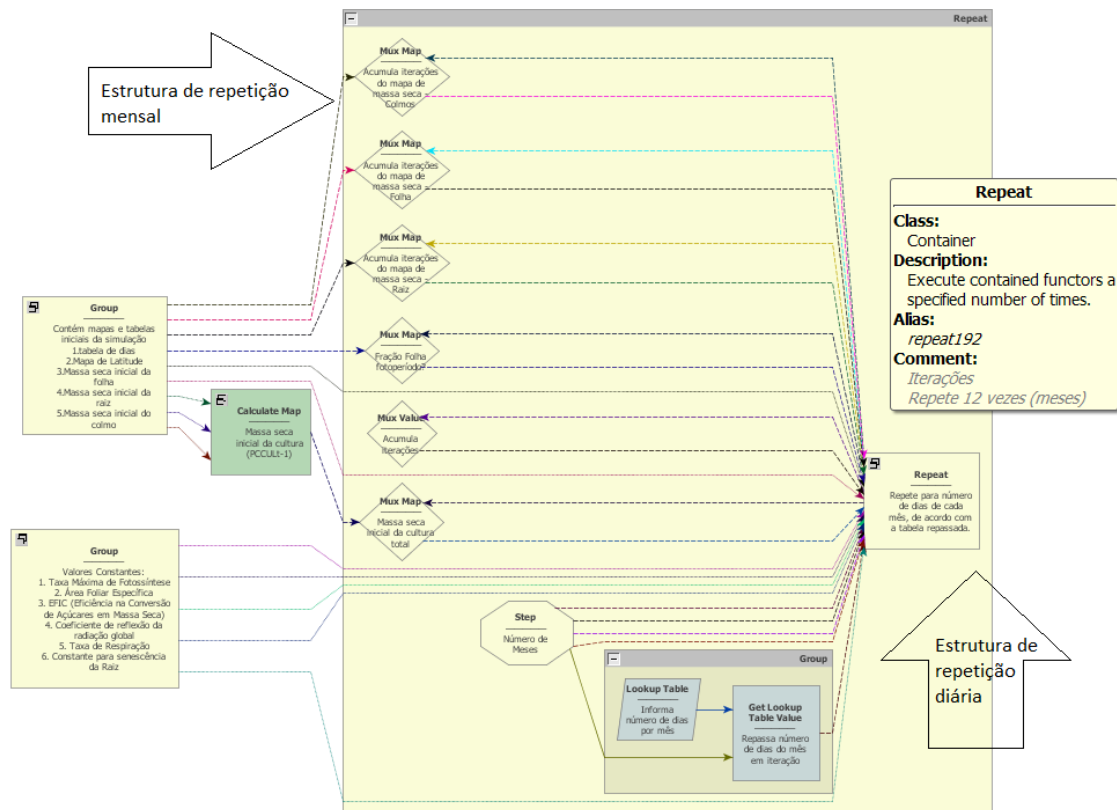
Teramoto, E.R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

UNICA - União da Indústria da Cana-De-Açúcar. **Produção de cana-de-açúcar no Brasil** (1990/1991 a 2008/2009). Disponível em <www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> Último acesso em 20 de jun. 2010.

Vera-Diaz, M.C. Efeitos de projetos de infra-estrutura de energia e transportes sobre a expansão de soja na bacia do rio Madeira. **Conservação Estratégica. Série Técnica**, v.7, 2007.

ANEXO 1. Implementação do SIMACANA no Dinamica EGO:

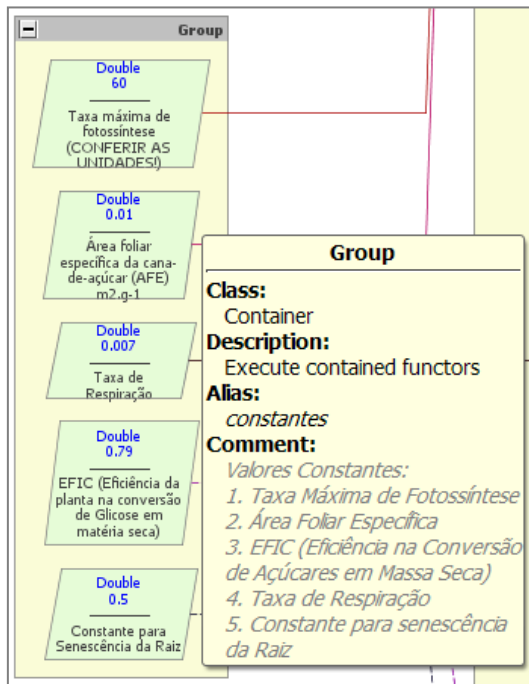
A. Estruturas de repetição



Para simular as repetições que simulam o balanço de carbono diário da cana-de-açúcar, foram utilizados 2 *functors* de repetição Repeat, um para iterações de cada dia do mês e outro para iterar cada mês do ano. Os *functors* Step, Lookup Table Value e Get Lookup Table Value repassam o número de dias por mês ao *functor* Repeat.

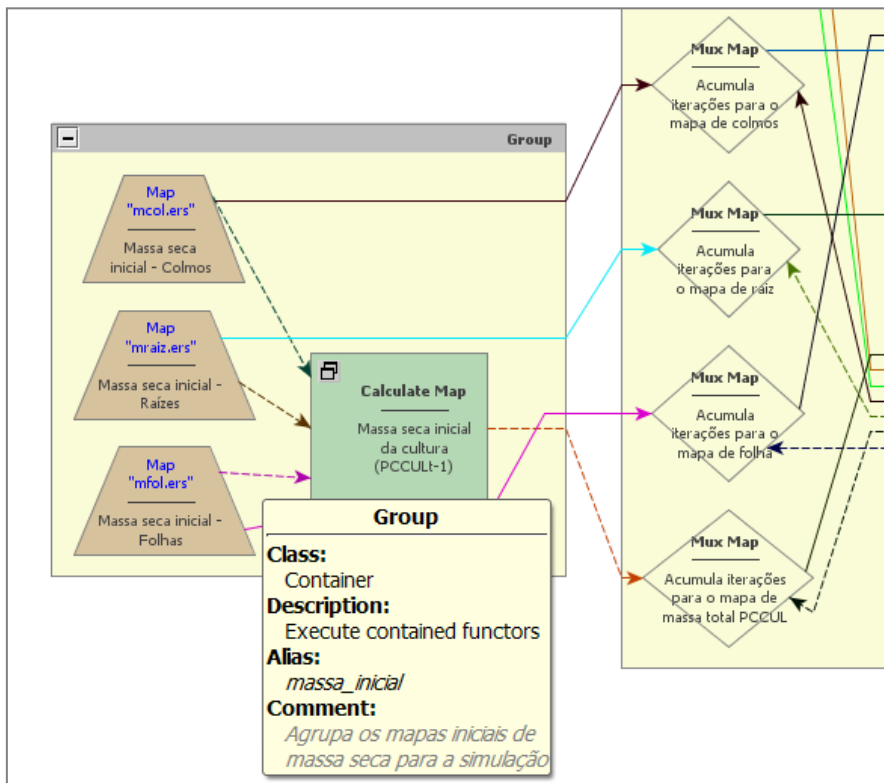
B. Entradas (inputs) :

b.1. Taxas Constantes



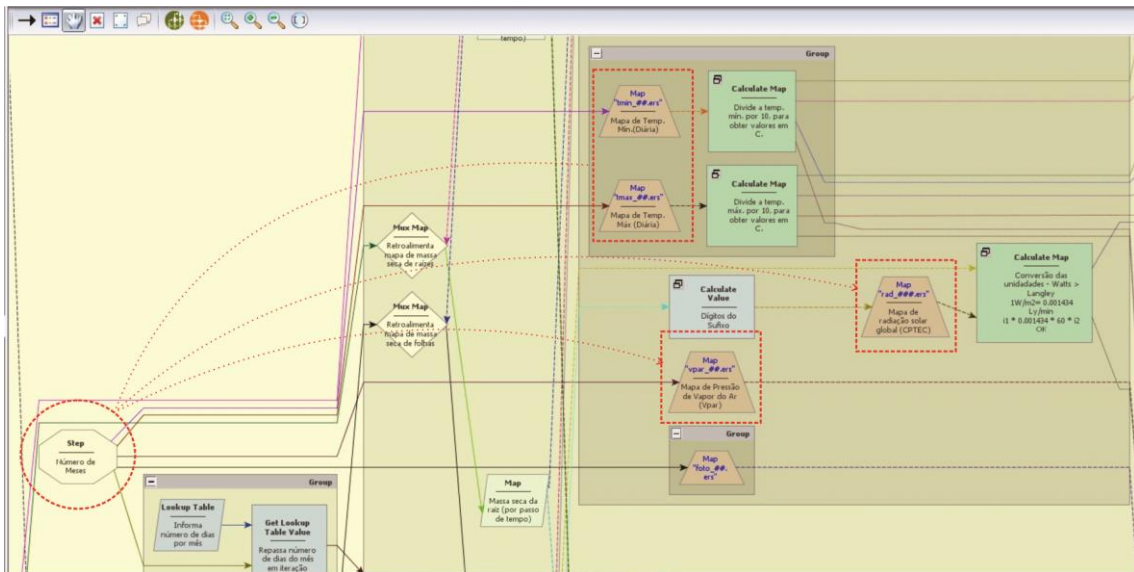
As constantes do modelo, que não variam ao longo da simulação e que são utilizados nas operações matemáticas, foram inseridas no modelo através dos *functors double*, e agrupadas em container do tipo *group*.

b.2. Massa seca inicial



A massa seca inicial do modelo foi definida com um valor *Ad Hoc* inicial de 15g/m² (5 g/m² para folhas, g/m² para colmos e g/m² para raízes). Estes valores foram inseridos através de mapas com *functors* do tipo *Load map*. Como é possível observar ao lado, *functors* do tipo *Mux Map* foram utilizados para acumular a cada iteração (ou passo de tempo diário) a massa seca simulada por órgão da planta.

b.3. Mapas das bases de dados

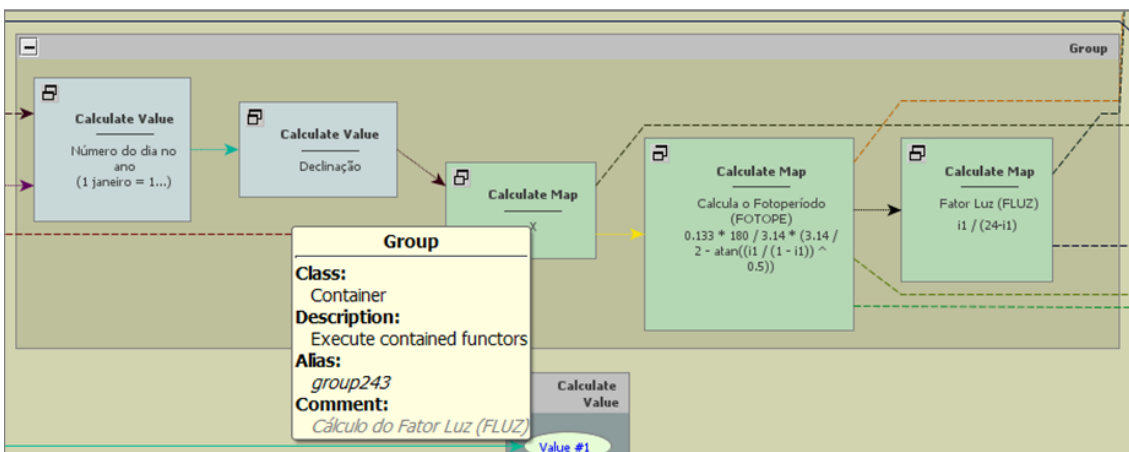


As bases de dados externas, que serviram de entrada para o modelo (Temperatura, Pressão de Vapor, Radiação, e que possuíam valores mensais foram inseridas ao modelo por meio de sufixos associados à cada mês. A cada iteração mensal (Step mensal), um novo mapa era introduzido ao modelo.

C. Expressões:

c.1. Fatores de ajustamento

Fator Luz (FLUZ):




As equações referentes ao Fator Luz foram agrupadas num container do tipo *group*, *functors* do tipo Calculate Value foram inseridos para cálculo do calendário juliano e declinação da terra. Já *functors* do tipo Calculate Map foram utilizados para cálculo de x , do Fotoperíodo e do Fator Luz. Estas operações são repetidas 365 vezes, representando cada dia.


ANEXO II. Comprovante de Submissão e Aceite em Evento Internacional

Comprovante de Submissão




Abstract submission  Entrada x



 **PLAN2012** Jen.wang@elsevier.com por_oxfordabstracts.com
para mim 

20/09/11 



 inglês  > português  [Traduzir mensagem](#)

[Desativar para: inglês](#) x

Dear author,

Thank you for submitting your abstract entitled "Yield and rent potential for sugarcane crops: a spatial modelling assessment for São Paulo, Brazil". Your reference number for this submission is 3743.

All abstracts will be reviewed after 16th September 2011 submission deadline and you will be informed by November 2011 whether or not your abstract has been accepted for presentation. Please remember to quote the conference name and the reference number in any communication with us.

With best wishes,
Jenny Wang

Publishing Content Coordinator, Elsevier | [Planet Under Pressure 2012](#) | 26-29 March, London, UK

Comprovante de Aceite

ABSTRACT REFERENCE NUMBER: 3743

Dear Mrs. HISSA,

Planet Under Pressure 2012
25th – 29th March 2012, Excel London, UK

Thank you for submitting a paper to Planet Under Pressure 2012. We are delighted to inform you that your abstract, entitled 'Yield and rent potential for sugarcane crops: a spatial modelling assessment for São Paulo, Brazil', has been accepted as a poster presentation. Note that, if you requested an oral presentation but the session convenors did not have space for this, we are still offering you poster space. Please advise us if you do not wish to take up this invitation.

Title:	Yield and rent potential for sugarcane crops: a spatial modelling assessment for São Paulo, Brazil
Authors:	HISSA L.B.V., SOARES-FILHO B.S.
Session:	0446-1-A-Food Systems
Presenting Author(s)[1]:	L.B.V. HISSA (1) presenting

Please check the above details of your presentation carefully as all conference material will be printed with this information. The name of the presenting author or authors will be indicated in the conference material by using the following symbol ¹. If you require any corrections to be made please inform us as soon as possible by email to: pupreview@elsevier.com

All authors will be notified of the timing of their session in due course. Details on the day your presentation is scheduled can be found in the sessions listing on the conference website: <http://www.planetunderpressure2012.net/sessions.asp>
In a few cases your submission may have been moved to a session other than the one to which you submitted it, where it was felt it might fit better or was requested by a convenor.

It is a condition of abstract acceptance that you or a nominated presenting author(s) registers for the conference by the **author registration deadline of Friday 25th November**. Please register online at: <http://www.planetunderpressure2012.net/registrationInfo.asp>

The abstracts of all unregistered presenting authors will be removed from the programme after this date. Should the addressee above not be the nominated presenting author or authors, please inform me of the name and email address of the presenter immediately: pupreview@elsevier.com

All authors will be responsible for their own travel and accommodation expenses. Unfortunately the conference organisers do not have funds available to support the attendance of individual delegates. The conference organisers have secured limited funding to assist colleagues from the Developing World to attend the conference. Those authors who have already applied for financial assistance (the deadline for which has now passed) will be notified of the result of the selection process in the next few days.

Accommodation

Accommodation for the conference can be booked via the conference website: <http://www.planetunderpressure2012.net/accommodation.asp>

Please do not hesitate to contact me if you have any queries and I look forward to receiving your completed registration.

Yours sincerely,

Planet Under Pressure Secretariat
on behalf of the Scientific Organising Committee