

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**POTENCIAL DA COGERAÇÃO DAS USINAS SUCRALCOOLEIRAS DO MATO
GROSSO DO SUL**

Autora: Marli da Silva Garcia
Orientadora: Prof.^a Dra Marney Pascoli Cereda
Co-orientador: Prof. Dr. Olivier François Vilpoux

Campo Grande – Mato Grosso do Sul
Outubro - 2016

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

POTENCIAL DA COGERAÇÃO DAS USINAS SUCRALCOOLEIRAS DO MATO GROSSO DO SUL

Autora: Marli da Silva Garcia
Orientadora: Prof.^a Dra Marney Pascoli Cereda
Coorientador: Prof. Dr. Olivier Francois Vilpoux

“Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA, no Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da Universidade Católica Dom Bosco - Área de concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva Aplicada ao Agronegócio e Produção Sustentável ou Saúde, Ambiente e Sustentabilidade”

Campo Grande – Mato Grosso do Sul
Outubro – 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca da Universidade Católica Dom Bosco – UCDB, Campo Grande, MS, Brasil)

G216p Garcia, Marli da Silva

Potencial da cogeração das Usinas Sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul / Marli da Silva Garcia; orientação Marney Pascoli Cereda; coorientação Olivier François Vilpoux – 2016.
134 f.

Tese (doutorado em ciências ambientais e sustentabilidade agropecuária) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2016.

Inclui bibliografias.

1. Energia elétrica . 2. Cana-de-açúcar. 3. Biomassa 4. Bagaço de cana
I. Cereda, Marney Pascoli II. Vilpoux, Olivier François III. Título

CDD: Ed. 22 – 662.88



Potencial da Cogeração das Usinas Sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul

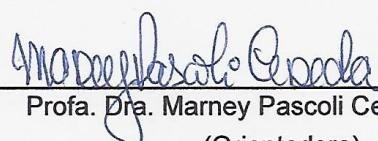
Autor(a): Marli da Silva Garcia

Orientadora: Profa. Dra. Marney Pascoli Cereda

Coorientador: Prof. Dr. Olivier François Vilpoux

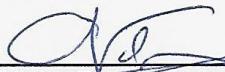
TITULAÇÃO: Doutora em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecúaria
Área de Concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva.

APROVADA em 05 de outubro de 2016.



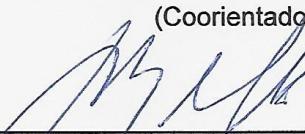
Profa. Dra. Marney Pascoli Cereda - UCDB

(Orientadora)

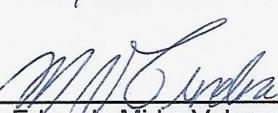


Prof. Dr. Olivier François Vilpoux - UCDB

(Coorientador)



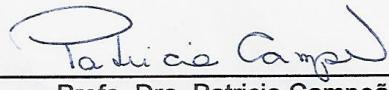
Prof. Dr. Sérgio Luiz Monteiro Salles Filho - UNICAMP



Prof. Dr. Eduardo Mirko Valenzuela Turdera - UFGD



Profa. Dra. Silvia Morales de Queiroz Caleman - UFMS



Profa. Dra. Patricia Campeão - UFMS

MISSÃO SALESIANA DE MATO GROSSO - UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - CEP: 79117-900 - CAMPO GRANDE - MS - BRASIL
CNPJ/MF: 03.226.149/0015-87 - Fone: 55 67 3312-3300 - Fax: 55 67 3312-3301 - www.ucdb.br

Os grandes sonhos nos dão força para superarmos os pequenos e grandes obstáculos.

Padre Léo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que sou e tenho. Pois sei senhor que a sua graça se fez e faz presente em todos os momentos da minha vida.

Ao meu esposo Cicero Gomes e meus filhos Marjorie, Henrique e Thábata pelo apoio, paciência e compreensão na minha ausência.

A minha amada amiga, irmã de coração Maria Aparecida Farias Nogueira que foi companhia fiel no doutorado, desde o brindar de uma conquista até o secar de uma lágrima.

Esta tese contou com contribuição da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul - FUNDECT.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	01
OBJETIVOS.....	04
Objetivo geral.....	04
Objetivos específicos.....	04
REVISÃO DE LITERATURA.....	05
CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	05
Processo da transformação da cana-de-açúcar em produtos e subprodutos.....	08
COGERAÇÃO NAS UNIDADES SUCRALCOOLEIRAS.....	12
MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	16
Sistema Interligado Nacional – SIN.....	19
AGRONEGÓCIO E ENERGIA ELÉTRICA NO MATO GROSSO DO SUL.....	26
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO I (corresponde ao artigo 01).....	39
INTRODUÇÃO.....	41
METODOLOGIA.....	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
Energia elétrica injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN) e necessidades energéticas do Mato Grosso do Sul no período de 2014/15.....	47
Potencial de geração de energia elétrica por área plantada com cana-de-açúcar no estado do Mato grosso do Sul.....	48
Potencial de geração de energia elétrica por capacidade instalada das unidades sucralcooleiras.....	49
Potencial de geração de energia elétrica avaliada a partir do bagaço como resíduo industrial.....	53
Potencial de geração de energia elétrica avaliada pelo palhiço como resíduo de campo.....	55
CONCLUSÕES.....	57
REFERENCIAS	59
CAPÍTULO II (corresponde ao artigo 02).....	63
INTRODUÇÃO.....	64
MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	67
Características do setor elétrico brasileiro.....	70
Matriz energética do Mato Grosso Do Sul.....	73
Energia Elétrica da cana-de-açúcar.....	76
IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA.....	79
METODOLOGIA.....	82
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	83
Áreas geográficas da produção de energia elétrica e grãos no Mato Grosso do Sul.....	83
Uso de energia elétrica para irrigação no Mato Grosso do Sul.....	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS.....	89

CAPÍTULO III (corresponde ao artigo 03).....	94
INTRODUÇÃO.....	95
ECONOMIA DOS CUSTOS DE TRANSAÇÃO – ECT.....	99
ARRANJOS INSTITUCIONAIS NO SETOR ELÉTRICO.....	103
Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro.....	104
Ambiente de Contratação Regulada (ACR).....	105
Ambiente de Contratação Livre (ACL).....	108
Mercado de Curto Prazo.....	109
METODOLOGIA DA PESQUISA.....	111
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	112
Energia Elétrica da Biomassa Cana-de-Açúcar no Mato Grosso do Sul.....	112
Arranjos Institucionais de Comercialização de Energia de Cana-de-Açúcar.....	114
Caracterização das transações de energia elétrica pelas unidades sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul.....	118
Incertezas na comercialização de energia elétrica proveniente da biomassa Cana-de-Açúcar.....	121
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
REFERÊNCIAS.....	126
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
APÊNDICE	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Áreas com cana-de-açúcar e localização das usinas sucroalcooleira do Mato Grosso do Sul.....	07
Figura 02 – Diagrama do ciclo Rankine em processo de cogeração do setor sucroalcooleiro brasileiro.....	13
Figura 03 – Empreendimento em operação, de acordo com a capacidade instalada por fonte geradora.....	16
Figura 04 – Energia injetada no Sistema Interligado Nacional pelas principais fontes, no período de 2012 a 2015	18
Figura 05 - Geração de energia elétrica das UTE verificada pelo SIN no período de 2012/2015 em GWh..	19
Figura 06 - Representação do Sistema Interligado Nacional em 2015.....	20
Figura 07: Hierarquia da gestão do setor elétrico brasileiro.....	22
CAPÍTULO II - corresponde ao artigo 02	
Figura 01 - Representação do Sistema Interligado Nacional em 2015.....	72
Figura 02 - Participação por classe de consumo (GWh) e numero de consumidores, em 2014.	75
Figura 03 - Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil, em 2014.	80
Figura 04 - Localização das unidades produtores de energia e da produção de soja, no estado do Mato Grosso do Sul, em 2015.	84
CAPÍTULO III - corresponde ao artigo 03	
Figura 01 – Relações entre os sistemas de governança, ou arranjos institucionais, e as características das transações.	Erro! Indicador não definido.
Figura 02 - Estrutura do setor de energia elétrica do Brasil.	105
Figura 03 - Medição dos montantes produzidos/consumidos por cada agente e as diferenças entre a energia produzida e realmente consumida.	109
Figura 04 - Energia elétrica comercializada pelas usinas de cana-de-açúcar do Mato Grosso do Sul, entre as safras 2005/2006 e estimativa da safra 2015/16.	113
Figura 05 – Variação do preço de comercialização da energia elétrica, conforme os resultados dos leilões no ACR e o preço médio anual do PLD do Sudeste/Centro-Oeste, em R\$ / MWh, no período de 2006 a 2015.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Produção da safra de cana-de-açúcar de 2014/15, comparada com safra anterior, no Mato Grosso do Sul	0 Erro! Indicador não definido.
Tabela 02 - Limites de emissão aceitos para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor, a partir da combustão de bagaço de cana-de-açúcar.	14
Tabela 03 - Extensão das linhas de transmissão do Sistema Elétrico Nacional em 2013	Erro! Indicador não definido.
Tabela 04 - Empreendimentos em operação no Mato Grosso do Sul por potência instalada e em total produzido (kW), em 2014.	28
Tabela 05 - Usinas termoelétricas do Mato Grosso do Sul com capacidade instalada por fonte, em 2014.	28
Tabela 06 – Geração de energia elétrica por tipo de usina no estado em 2014.	29
CAPÍTULO I - corresponde ao artigo 01	
Tabela 1 – Energia elétrica produzida pelas usinas termoelétricas de biomassa do Mato Grosso do Sul no período de 2014/15.....	48
Tabela 2 – Localização, capacidade instalada, ano de instalação, pressão das caldeiras e energia injetada no SIN no ano de 2014, de unidades sucroalcooleiras em atividade no Mato Grosso do Sul na safra de 2014/15.....	50
Tabela 3 – Potencial estimado de cogeração de energia elétrica, tendo por base a capacidade instalada de moagem das unidades sucroalcooleiras para processar cana-de-açúcar.	52
Tabela 4 – Potencial estimado de cogeração de energia elétrica, tendo por base a quantidade de bagaço possível de ser recuperado a partir da capacidade instalada de moagem das unidades sucroalcooleiras para processar cana-de-açúcar.....	53
Tabela 5 - Potencial estimado de cogeração de energia elétrica, tendo por base a área plantada e a capacidade instalada.	56
CAPÍTULO II - corresponde ao artigo 02	
Tabela 01 - Empreendimentos geradores de energia elétrica em operação no Brasil, em 2016.	68
Tabela 02 - Empreendimentos em operação, potência outorgada e produzida (kW) no Brasil, em julho de 2016.....	69
Tabela 03 - Dimensão e potencia dos tipos de linhas de transmissão de energia elétrica no Sistema Elétrico Brasileiro, em 2015.	72
Tabela 04 - Consumo de energia elétrica no Brasil em GWh por classe, entre 2014 e 2015.	73
Tabela 05 - Empreendimentos em operação no Mato Grosso do Sul por potência instalada, em kW e em total produzido, em 2014.....	74
Tabela 06 - Usinas termoelétricas do Mato Grosso do Sul e capacidade de geração, em julho 2016.....	74
Tabela 07 – Usinas em atividades no Mato Grosso do Sul, localização, capacidade instalada e identificação das que comercializam energia elétrica, safra de 2015/16.	78

Tabela 08 – Os países com maiores áreas irrigados no mundo (milhões de hectare) e as áreas colhidas de soja e milho e sua respectiva produção em 2015.....	80
CAPÍTULO III - corresponde ao artigo 03	
Tabela 01 – Transações realizadas pelas termoelétricas sucroalcooleira do Mato Grosso do Sul de 2004 a 2015.....	114
Tabela 02 – Modalidades dos contratos realizados pelas usinas do setor sucroalcooleiro.....	117
Tabela 03 - Capacidade instalada das caldeiras nas unidades termoelétricas sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul.....	119
Tabela 04 - Custo médio dos investimentos para produção e exportação de energia elétrica, com capacidade de 48 MWh.	122

LISTA DE ABREVIATURAS

ACL – Ambiente de Contratação Livre
 ACR – Ambiente Contratação Regulado
 AGEPAN - Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos do Mato Grosso do Sul
 AGESUL - Agencia Estadual de Gestão de Empreendimentos
 ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica
 bar - unidade de pressão
 BEN – Balanço Energético Nacional
 BEMS - Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul
 BIG - Banco de Informações de Geração
 BIOSUL – Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul
 BRIC - (Brasil, Rússia, Índia e China).
 CCEAL - Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre
 CCEAR - Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
 CCECE - Contratos de Comercialização de Energia Convencional Especial
 CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
 CCEI - Contratos de Comercialização de Energia Incentivada
 CGH – Central Geradora Hidrelétrica
 CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
 CNA - Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil
 CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
 CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
 DIT - Demais Instalações da Transmissão
 ECT – Economia dos Custos de Transação
 EOL – Energia Eólica
 EPE - Empresa de Pesquisa Energética
 ESS - Encargos de Serviços do Sistema
 FAO - *Food and Agriculture Organization*
 GD – Geração Distribuída
 GEE - Gases de Efeito Estufa
 GEGIS - Grupo de Estudos em Gestão Industrial do Setor Sucroalcooleiro
 GWh - Gigawatt-hora
 hab – habitantes
 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
 IEA - *International Energy Agency*
 IEO - *International Energy Outlook*
 IPCA - Índice de Preços ao Consumidor Amplo
 IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
 kW/h - Quilowatt-hora
 LEE - Leilão de Energia Existente
 LEN – Leilões de Energia Nova
 LER - Leilões de Energia de Reserva
 MAPA - Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
 MCP - Mercado de Curto Prazo

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME - Ministério de Minas e Energia
MWh - Megawatt-hora
NEI - Nova Economia Institucional
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PIB – Produto Interno Bruto
PIBH/MS - Plano de Irrigação nas Bacias Hidrográficas do Mato Grosso do Sul
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SCDE - Sistema de Coleta de Dados de Energia
SIGA WEB - Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio
SIN – Sistema Interligado Nacional
SLCS - Sistema de Limpeza de Cana a Seco
tc - tonelada de cana
tep - toneladas equivalentes de petróleo
TUSD - Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição
TUST - Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos
tv – tonelada de vapor
UHE – Usina Hidrelétrica
UNICA - União da Indústria da cana-de-açúcar
UTE – Unidade Termoelétrica
UTN – Usina Termoelétrica Nuclear

RESUMO

Mato Grosso do Sul conta com 22 unidades sucroalcooleiras em atividade, das quais 12 que produzem etanol e açúcar e 10 destilarias, que produzem somente etanol. Todas essas unidades geram eletricidade para uso próprio, suficiente para processar açúcar e destilar etanol. Usam o bagaço gerado na própria unidade como combustível. Como terceiro produto, 12 produzem energia elétrica excedente a partir de unidades termoelétricas anexas, que comercializam no Sistema Interligado Nacional (SIN). O estado produz energia elétrica a partir de uma matriz semelhante à nacional, com maior porcentual obtido em hidroelétricas. Do total gerado é descontado o consumo do estado, e o excedente é injetado no SIN. Considerando a baixa concentração populacional do estado, destacou-se o fato de que, mesmo com seu Produto Interno Bruto baseado em atividades do agronegócio, o consumo da classe rural foi o que apresentou menor consumo, entre as quatro classes de consumidores. Esse fato sugere que as atividades do agronegócio do estado não exploram de forma significativa as tecnologias que dependem de energia elétrica. A pesquisa teve como objetivo geral estabelecer e analisar o potencial da produção de energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul e, comprovado o potencial, investigar a possibilidade de uso de energia elétrica de cogeração para impulsionar o agronegócio. A capacidade instalada das unidades sucroalcooleiras do estado é suficiente para moer e processar toda a cana plantada da safra. Apenas o bagaço a com 50% de umidade permitiria gerar energia elétrica suficiente para suprir a energia que foi retirada do SIN no mesmo período. Como o bagaço gerado já tem condições de suprir o estado, o palhiço permanece apenas como combustível potencial, o que explica porque uma usina usou a mistura de 30% de palhiço com 15% umidade com bagaço de 50% de umidade, limite técnico das caldeiras disponíveis. Isto ocorre porque restam a ser solucionados problemas com a coleta, transporte e uso do palhiço no sistema de geração de energia. Ainda, no período de 2013 a 2015 a geração de energia de bagaço esteve abaixo do potencial calculado, mesmo quando o preço da energia elétrica permaneceu atraente. Na questão de uso da energia elétrica gerada do bagaço, a irrigação dos cultivos de soja e milho seria uma opção, pois a maioria das unidades sucroalcooleiras está localizada na região de Dourados, onde se concentram as unidades sucroalcooleiras. No entanto, os subsídios praticados sobre os preços de energia elétrica impedem essa opção. Outro resultado mostrou que para a comercialização da energia elétrica da cana-de-açúcar as empresas recorrem a contratos bilaterais de longo prazo, realizados no Ambiente de Contratação Regulado e, para uma delas, no Ambiente de Contratação Livre. Essas opções oferecem as garantias necessárias, uma vez que as unidades sucroalcooleiras devem fazer grandes investimentos para gerar e comercializar energia. Além dos contratos de longo prazo, todas elas recorrem também ao mercado de curto prazo (spot) para aproveitar o Preço da Liquidação das Diferenças (PLD) quando o preço pago pelo MWh é atrativo. De forma geral conclui-se que o potencial estabelecido para a biomassa da cana-de-açúcar poderá tornar o estado autossuficiente em energia.

elétrica renovável, o que justifica que sejam recomendadas políticas públicas para melhor aproveitamento dessa biomassa.

Palavras-chaves: Cana-de-açúcar, Energia elétrica, Biomassa, Bagaço, Palhiço.

INTRODUÇÃO

O sistema energético mundial enfrenta desafios no abastecimento de energia elétrica, necessária para o desenvolvimento econômico e ao mesmo tempo, mitigar os impactos ambientais. De acordo com a *Organisation for Economic Co-operation and Development* e *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2015) o Brasil, com um PIB de mais de US\$ 2 trilhões em 2013, se destaca como maior produtor mundial de cana-de-açúcar.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015) a área nacional cultivada com cana-de-açúcar é de pouco mais de nove milhões de hectares. A estimativa de produção da safra 2015/16 de cana-de-açúcar foi de 660 milhões de toneladas, a produção de açúcar foi estimada em 35 milhões de toneladas e a produção do etanol ultrapassa 29 milhões de litros. O estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 52% da área plantada nacional, enquanto que o do Mato Grosso do Sul, com 7,5%, é o quarto maior produtor nacional, com parque agroindustrial formado com vinte e duas unidades sucroalcooleiras ativas.

No primeiro semestre de 2015 a matriz elétrica brasileira apresentou predominância de geração hidrelétrica, com 62% da produção nacional, mas mostrou fragilidade com alteração de padrões de chuvas influenciada pelas mudanças climáticas. Essa situação mostrou que um país não pode depender essencialmente do regime de chuvas para seu fornecimento em energia, razão pela qual deve se preparar para depender menos da disponibilidade hídrica, porém sem comprometer o meio ambiente.

No Brasil dentre as fontes alternativas de combustível para gerar energia elétrica, destacam duas fontes renováveis, a biomassa cana-de-açúcar presente em 394 termoelétricas outorgadas com potencia instaladas de 10.756 kW e o licor negro com 17 termoelétricas outorgadas e potencia instalada de 1.978.136 kW. Ambas representam 32% da potencia instalada das termoelétricas nacional (ANEEL, 2016).

As agroindústrias que processam cana-de-açúcar e celulose são autossuficientes em energia, com a possibilidade de produzir energia elétrica excedente para comercialização.

A disponibilidade da biomassa cana-de-açúcar e a importância da energia elétrica renovável levam ao questionamento sobre a possibilidade do estado do Mato Grosso do Sul aproveitar a cana-de-açúcar como uma parte significativa de sua matriz energética. De acordo com a Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul (BIOSUL, 2015) a capacidade instalada do parque industrial sucroalcooleiro do estado permite processar 60 milhões de toneladas por safra, com 22 unidades sucroalcooleiras em atividade. Destas unidades, 12 podem cogerar excedentes de forma a exportar energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essas unidades estão em sua maioria no território da grande Dourados, onde estão implantadas 13 das 22 unidades sucroalcooleiras, inseridas em uma região de cultivo de soja e milho.

Conforme a CONAB (2016a) a área cultivada com cana-de-açúcar no estado colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16 foi de 677 mil hectares. No caso da soja, principal cultura do Mato Grosso do Sul, foram plantados 2,43 milhões de hectares na safra 2015/16, contra 1,63 milhões de hectares de milho de segunda safra, plantada após a colheita da soja, também foram plantados 20 mil hectares com o milho de primeira safra (CONAB, 2016b).

A hipótese de uso da biomassa cana-de-açúcar (bagaço e palha) como combustível na produção de energia elétrica conduz ao objetivo da pesquisa, que foi estabelecer e analisar o potencial do Mato Grosso do Sul na produção de energia elétrica a partir da biomassa cana-de-açúcar, com a possibilidade de uso dessa energia para impulsionar o agronegócio.

Uma vez que a energia elétrica pode ser comercializada sob-regras estabelecidas, considerou-se também importante analisar as transações comerciais existentes na comercialização da energia da cana-de-açúcar, que pode apresentar-se na forma de um mix de arranjos para minimizar os riscos e incertezas. Nestes arranjos as usinas podem vender energia no Ambiente de Contratação Regulado (ACR), no Ambiente de Contratação Livre (ACL) e no mercado *spot*, que permite comercializar o excedente de produção.

A relevância da pesquisa se baseia na importância da disponibilidade de energia elétrica renovável, com Geração Distribuída - GD para o estado do Mato

Grosso do Sul, com a possibilidade de uso da energia da cana-de-açúcar para impulsionar o desenvolvimento e uso de tecnologias agropecuárias. Justifica-se essa proposta pelo baixo consumo da classe consumidora rural, que em 2014 utilizou apenas 10% da energia elétrica consumida pelo estado e pela importância que tem o agronegócio para a econômica sul-mato-grossense. As áreas com cana-de-açúcar estão inseridas dentre as áreas que cultivam grãos, o que favorece a implantação de tecnologias que aproveitem essa energia elétrica, de forma estratégica para a modernização e competitividade do agronegócio, como irrigação, industrialização dos grãos, carnes, leite, frutas, legumes entre outros. Outro fator importante é que por serem as unidades sucroalcooleiras distribuídas por várias regiões do estado, a geração de emprego e renda para os municípios poderá propiciar o desenvolvimento local.

OBJETIVOS

Objetivo geral

- O objetivo geral da pesquisa foi estabelecer o potencial do Mato Grosso do Sul na produção de energia elétrica da biomassa da cana-de-açúcar, suas formas de comercialização e as aplicações da energia elétrica para impulsionar o agronegócio.

Objetivos específicos

- Estabelecer e analisar o potencial da produção de energia elétrica originária da cana-de-açúcar do Mato Grosso do Sul;
- Caracterizar a matriz energética do Mato Grosso do Sul e analisar o potencial de uso da energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar na irrigação de cultivos agrícolas, a partir da Geração Distribuída (GD).
- Identificar os arranjos institucionais das transações comerciais da energia elétrica originária da cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul e a influencia das politicas publicas.

REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão adotou-se a denominação de unidades sucroalcooleiras em substituição ao termo usinas, porque embora se trate de um termo bastante usado, não contempla a complexidade de uma biorrefinaria, que de fato corresponde ao termo mais encontrado em engenharia química.

As unidades sucroalcooleiras têm como características a produção de açúcar e etanol, com destilarias anexas, mas existem as que processam e destilam apenas etanol e são denominadas destilarias autônomas. Mais rara é a ocorrência das usinas que produzem somente açúcar. Como no Mato Grosso do Sul existem usinas com destilarias anexas e empresas como destilarias autônomas, adotou-se para esse estudo o termo geral de unidades sucroalcooleiras. Quanto ao termo sucroenergético, adotado na mídia, não é bem aceito entre os especialistas, por considerarem que representa redundância uma vez que tanto o etanol como o açúcar são alimentos energéticos. Caso fosse necessário ajustar a denominação para um terceiro produto, no caso da energia elétrica seria melhor usar apenas o termo unidades bioenergéticas.

A revisão consta dos seguintes subitens: cana-de-açúcar no Brasil, cogeração nas unidades sucroalcooleiras, matriz energética brasileira e por fim, as características do Mato Grosso do Sul, com foco no consumo de energia elétrica.

CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A indústria de cana-de-açúcar tem contribuído historicamente com a economia brasileira, pois o açúcar foi o principal produto brasileiro por mais de dois séculos (NEVES, TROMBIN e CONSOLI, 2010).

Nos últimos 40 anos, o setor sucroalcooleiro diversificou a produção, com açúcar, etanol e mais recentemente a bioeletricidade. As unidades sucroalcooleiras inovaram em tecnologias e se preocuparam mais com as questões sociais e

ambientais, melhorando a qualidade de vida dos trabalhadores, racionalizando o uso da terra, da água e preservando o ecossistema (NEVES, TROMBIN e CONSOLI, 2010). Apesar de terem ocorrido grandes avanços no setor, ainda há muito a ser estudado. Segundo Clauser et al. (2016) além do açúcar, etanol e bioeletricidade, numerosos outros produtos podem ser obtidos a partir do bagaço e da palha, como os produtos muito valorizados obtidos de materiais lignocelulósicos. Para Giuliano et al. (2014) a otimização e integração desses processos permitem a identificação dos caminhos mais promissores para aumentar a rentabilidade de biocombustíveis e bioproductos.

O cultivo da cana-de-açúcar foi implantado no nordeste brasileiro, mas depois se espalhou para os outros estados. De acordo com a CONAB (2015), São Paulo é o líder, com mais de 50% da produção, o Mato Grosso do Sul, com 7,4% da produção nacional, é o quarto maior produtor de cana-de-açúcar e o quinto em numero de usinas, com produção média de 68 toneladas por hectares na safra 2014/15.

A cana-de-açúcar é cultivada principalmente no Brasil, mas seu cultivo é praticado em vários países, tais como, Cuba, Nicarágua, Indonésia, Tailândia, Índia, Austrália, Ilhas Maurícias e Zimbabwe (GRISI, YUSTA, DUFO-LÓPEZ, 2012).

O Brasil ocupa o segundo lugar na produção de etanol, atrás dos Estados Unidos que utilizam o milho como matéria-prima, enquanto o Brasil produz etanol com da cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar é mais competitiva e gera menos Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente porque a energia utilizada nas unidades sucroalcooleiras é produzida com o próprio bagaço (FURTADO et al., 2011).

A presença do Pantanal sul-mato-grossense restringe a expansão da cana-de-açúcar porque o protocolo agroambiental proíbe sua implantação nessa região. Dos cerca de 160.000 km² localizados no centro do continente sul-americano, aproximadamente 85% pertencem ao Brasil (138.183 km²), dos quais 48.865 km² (35,36%) estão no Mato Grosso e 89.318 km² (64,64%) no Mato Grosso do Sul.

Com parte do território sul-mato-grossense interditado, as unidades sucroalcooleiras estão mais concentradas na região centro-sul. A concentração nessa região explica-se pela disponibilidade de áreas, qualidade do solo e às condições climáticas que proporcionam maiores rendimentos, embora unidades sucroalcooleiras possam ser encontradas também nas regiões sul, oeste e norte do estado (Figura 01). A cultura da cana-de-açúcar está mais concentrada na região da

Grande Dourados, onde recebeu maiores investimentos após 2005.

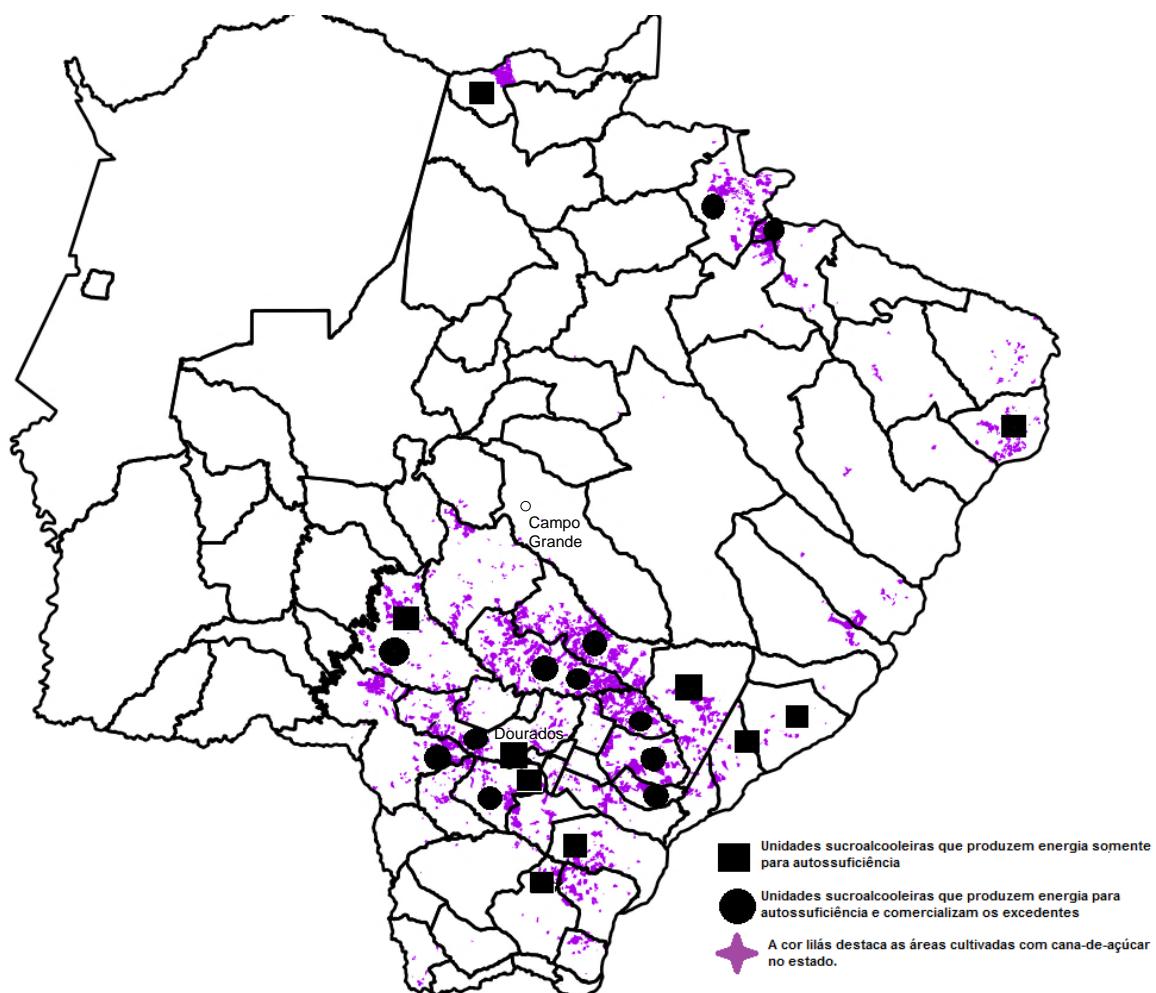


Figura 01 - Áreas com cana-de-açúcar e localização das usinas sucroalcooleira do Mato Grosso do Sul.

Fonte: Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio (SIGAWEB, 2015).

Com esse cenário, o Mato Grosso do Sul na safra 2014/2015, obteve os resultados apresentados na Tabela 01, divulgada pela Associação dos Produtores de Bioenergia (BIOSUL, 2015).

Tabela 01 - Produção da safra de cana-de-açúcar de 2014/15, comparada com safra anterior, no Mato Grosso do Sul.

Produtos	Unidade	Safra 2013/14	Safra 2014/15	Var. (%)
Produção de cana-de-açúcar	milhões de t.	41,49	43,55	4,95
Área de corte	mil ha	612	622	1,78
Rendimento agrícola	t ha ⁻¹	67,80	69,92	3,12
Açúcar	milhões de t.	1,36	1,36	-0,08
Etanol anidro	milhões de m ³	0,59	0,62	6,32
Etanol hidratado	milhões de m ³	1,64	1,83	11,57
Etanol total	milhões de m ³	2,23	2,45	10,19
Bioeletricidade	GWh	1.517	1.879	23,86

Fonte: Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul (BIOSUL, 2015).

Na safra 2014/2015 as usinas de cana-de-açúcar do Mato Grosso do Sul contribuíram com 74,72% da matéria-prima processada destinada ao etanol, contra uma média nacional de 57%, sendo a diferença destinada à produção de açúcar (CONAB, 2015). Além do etanol, as unidades sucroalcooleiras apresentam potencial de geração de energia elétrica renovável, utilizando o bagaço como combustível. A energia térmica é convertida em energia elétrica, o que permite a autossuficiência das unidades sucroalcooleiras (COSTA, 2010).

Processo da transformação da cana-de-açúcar em produtos e subprodutos.

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene. Após a colheita as socas (touceiras cortadas) brotam e os colmos podem ser colhidos uma vez por ano, por um período de cinco a sete anos. Passado esse período o campo é renovado, em razão da diminuição gradual no rendimento da cultura, o que torna a colheita economicamente inviável (AGUIAR et al., 2011).

A produção do canavial depende de mudas provindas de viveiros idôneos, em perfeito estado de sanidade, de bom preparo do solo e condições climáticas satisfatórias. Esses fatores contemplam a formação de colmos industrializáveis, com maior produção (t/ha) e retenção de açúcares (SEGATO et al., 2006).

Para a produção do etanol e do açúcar um conjunto de operações unitárias é utilizado, com equipamentos compatíveis com a capacidade instalada (HUGOT, 1970). Nestes dois processos é consumida energia produzida da queima do bagaço gerado concomitantemente com o caldo de cana.

A extração do caldo geralmente é realizada por moendas, com grande gasto de energia, mas pode ser feita por difusão, que é um sistema de extração com água quente que dispensa as moendas. As moendas são formadas por conjuntos de três a cinco rolos perfeitamente ajustados constituindo os ternos de moagem. Normalmente de quatro a seis ternos (conjuntos de rolos) são usados em uma unidade esmagadora, onde o bagaço do primeiro terno alimenta o subsequente e assim por diante. Em cada terno é adicionada água morna, denominada água de embebição, para recuperação do açúcar (DIAS et al., 2015). Para melhor eficiência é indispensável um bom preparo da cana para facilitar a extração da sacarose das fibras ou bagaço (BIZZO et al., 2014).

Quando a unidade possui destilaria anexa, o caldo pode ser destinado à produção de açúcar ou do etanol, ou dos dois produtos concomitantemente, dependendo do mercado.

Segundo Dias et al. (2015), normalmente o primeiro caldo da moenda é enviado para a produção de açúcar porque contém maior pureza de açúcar, enquanto o caldo obtido a partir da segunda moenda (chamado caldo misto) é desviado para a produção de etanol.

De acordo com Hugot (1970), para obter o açúcar da cana é necessário clarificar o caldo, o que origina a torta de filtro, que designa o conjunto de impurezas retidas no filtro rotativo. Para Mattiazzo-Prezotto e Gloria, (1990), a torta de filtro é rica em nitrogênio, cálcio e micronutrientes, tem uso difundido na fertilização do solo.

Na produção do açúcar o caldo é concentrado até o ponto de cristalização, enquanto para produzir etanol, o caldo diluído é inoculado com levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) que metaboliza os açúcares em etanol e depois é destilado. No Brasil a produção de etanol adota o modelo francês Melle Boinot (BOINOT, 1939), que consiste no tratamento e concentração do caldo, fermentação com elevada concentração de levedura e destilação fracionada.

Para a produção do açúcar, o caldo de cana obtido na primeira moenda, que contem maior concentração de sacarose é purificado, concentrado por evaporação para retirada de pelo menos 75% da água presente. Essa etapa é seguida do cozimento da massa até o ponto de cristalização, que é seguida de centrifugação, lavagem dos cristais com agua quente, centrifugação e secagem do açúcar (DIAS et al., 2015). Para qualquer matéria-prima o processo da produção de açúcar é o mesmo. Na Europa o açúcar é produzido de beterraba açucareira.

De acordo com Jiménez et al. (2004) a separação dos cristais de açúcar gera o melaço, que é um resíduo com grande concentração de açucares. Uma tonelada de cana-de-açúcar processada gera em média de 40 a 60 kg de melaço. Para Cazetta et al. (2007), devido à elevada concentração de sacarose, o melaço pode complementar o caldo da cana-de-açúcar na produção do etanol na entressafra da cultura.

No Brasil em geral o modelo usado é de complexo ou unidade sucroalcooleira (usina de açúcar com destilaria anexa) ou apenas de destilarias autônomas. Ambas usam o bagaço de cana-de-açúcar, com 50% de umidade, como combustível na produção de energia térmica e elétrica para autossuficiência da usina (HUGOT,

1970; DESHMUKH et al., 2013). Para a produção do etanol e açúcar são necessárias energias térmica, mecânica e elétrica. O consumo de energia eletromecânica para processar uma tonelada de cana-de-açúcar é de 28 kWh (ALVES et al., 2015).

O bagaço é o subproduto sólido mais importante do processamento da cana de açúcar. De acordo com Maliger et al. (2011), o bagaço seco é composto de 32 a 48% de celulose, de 23 a 32% de hemicelulose, de 19 a 24% de lignina e de 1 a 5,5% de cinzas. Para Satyanarayana et al. (2009) esses valores podem variar de acordo com a variedade e idade da cana, tipo e fertilização do solo e o sistema de colheita. Saidur et al. (2011) relatam que o teor de lignina do combustível lignocelulósico está fortemente correlacionado com o teor calórico.

De acordo com Morales-Vera, Bura e Gustafson (2016) a produção de biocombustíveis de materiais lignocelulósicos é de interesse mundial, por serem alternativas renováveis e sustentáveis. Além disso, não competem com alimentos e emitem significantemente menos Gases de Efeito Estufa quando comparados às emissões dos combustíveis fósseis.

A quantidade de bagaço gerado no processo foi estabelecida de 250 a 280 kg por tonelada de cana-de-açúcar esmagada, com teor de umidade médio de 50% (SILVA et al., 2014; NOGUEIRA e GARCIA, 2013; SOUZA-SANTOS e CHAVEZ, 2012; ALVES, 2015). O bagaço da cana-de-açúcar já foi um resíduo indesejado no Brasil, queimado de forma ineficiente por algumas usinas, ou comercializado para ração animal. De acordo com Pellegrini et al. (2010) o bagaço tinha que ser eliminado para evitar gastos desnecessários com manejo e armazenamento. Segundo o autor, a necessidade de redução dos custos aliada a valorização dos subprodutos da cana e as pressões sobre a energia elétrica no Brasil tornou o bagaço um subproduto indispensável.

A existência da cogeração de energia elétrica é uma prática rotineira nas unidades sucroalcooleiras há décadas. Essa tradição não é exclusiva do Brasil, mas de todos os países que desenvolvem essa atividade no mundo (CONAB, 2011).

A utilização do bagaço evita o armazenamento que representa uma ameaça ambiental por ser inflamável, podendo ocorrer combustão espontânea quando armazenado por longos períodos (NSAFUL et al., 2013).

A queima do bagaço gera como subproduto a cinza, que é destinada aos canaviais como fertilizante, juntamente com a torta de filtro (REBELATO et al.,

2013). Outro destino para as cinzas é a construção civil, como complemento do cimento ou substituto da areia (CORDEIRO et al., 2010).

Na fermentação do etanol de cana-de-açúcar sobra a vinhaça, também conhecida por restilo e vinhoto. Para cada litro de etanol produzido são gerados de dez a dezoito litros de vinhaça, com composição bastante variável dependendo, principalmente, da composição do mosto fermentado (SILVA et al., 2007).

De acordo com Silva, Bono e Pereira (2014) o uso da fertirrigação com vinhaça nos canaviais traz ganhos agronômicos, econômicos e sociais.

As unidades que produzem açúcar e/ou etanol podem flexibilizar a sua produção e ajustar a produção de acordo com o planejamento estratégico da agroindústria. Nesse caso a empresa pode optar pelo melhor retorno econômico (CONAB, 2015).

Por séculos a cana de açúcar foi queimada para facilitar o corte manual. As mudanças para o sistema de colheita mecanizada, sem queima prévia, só aconteceu depois que a sociedade se manifestou contra a queima da cana-de-açúcar, devido a vários problemas de saúde humana e ambientais. De acordo com Saiani e Perosa (2016) a combustão da biomassa em ambientes abertos aumenta a morbidade e a mortalidade humana por causas respiratórias. Da mesma maneira, a queima da cana-de-açúcar traz grandes transtornos ambientais e de biodiversidade.

A eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar foi oficializada com a lei n. 11.241, de 19 de setembro de 2002, eliminando o uso do fogo como método de despalha e facilitador do corte de cana-de-açúcar em áreas passíveis de mecanização, cuja declividade seja inferior a doze por cento (SÃO PAULO, 2002).

Com as mudanças ocorridas, a colheita mecanizada minimizou as emissões de particulados e gerou palhiço, que é um combustível potencial para a geração de energia elétrica excedente para comercialização.

Segundo Ripoli e Gamero (2007) uma tonelada de palhiço produz energia equivalente a entre 1,2 e 2,5 barris de petróleo, dependendo da umidade e da qualidade da biomassa, concentrando, de acordo com Smithers (2014), aproximadamente um terço da energia total disponível na cana-de-açúcar.

Apesar do potencial dessa matéria-prima, o uso complementar da palha da cana como combustível ainda não é uma realidade. Primeiro porque ao contrário do colmo, a palha tem custo para ser recolhida do campo. Os métodos de recolhimento do palhiço ainda estão em desenvolvimento. De acordo com Michelazzo e

Braunbeck (2008), no sistema integral o palhiço é colhido junto com os colmos. Nesse sistema, as colheitadeiras operam com os extratores desligados. O palhiço misturado com a cana é transportado até a usina, onde é feita a separação das impurezas vegetais e minerais pelo Sistema de Limpeza de Cana a Seco (SLCS), para separar a palha, que junto com o bagaço na mesma esteira são transportados para a caldeira ou destinados a estocagem.

Segundo Marques e Pinto (2013) se todo o palhiço for deixado no campo pode comprometer a brotação e hospedar pragas, razão pela qual o recolhimento de parte desse resíduo é oportuno. Para Hassuani et al. (2005) o ideal é recolher 50% do palhiço, o que facilita o manejo na adubação das soqueiras, favorece a brotação da cana, inibe a hospedagem de pragas e diminui os riscos com incêndios. O recolhimento parcial do palhiço, mantendo uma quantidade adequada como cobertura do solo, beneficia a produção dos canaviais, protege o solo contra a erosão e a radiação direta, aumenta a taxa de infiltração de água, reduz a evapotranspiração e melhora o controle de plantas daninhas (FRANCO et al., 2013).

COGERAÇÃO NAS UNIDADES SUCROALCOOLEIRAS

No sistema de cogeração, o bagaço é o combustível mais utilizado pelas termoelétricas sucroalcooleiras. A cogeração é conhecida como a produção simultânea de energia térmica, mecânica e elétrica, na qual uma fonte de energia primária alimenta um equipamento térmico que transforma a energia química do combustível em mecânica de eixo movida pela reação de combustão, que depois é convertida em energia elétrica por meio de geradores (COSTA e BAlestieri, 1998).

Segundo Arshad e Ahmed (2016) a cogeração ocorre em todas as unidades sucroalcooleiras dos diversos países produtores de cana-de-açúcar. Além dos tradicionais produtos açúcar e etanol, contam com o bagaço como combustível, que é renovável e impacta menos o meio ambiente. Segundo Turdera (2013) e Hofsetz e Silva, (2012), a energia elétrica renovável pode mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa.

Especialmente no Brasil a produção de energia elétrica a partir de biomassa da cana-de-açúcar, segundo Hofsetz e Silva (2012), permite injetar eletricidade na

matriz energética e aumentar a oferta de energia elétrica durante a estação seca, quando a capacidade de geração de energia hidrelétrica é mais baixa.

A tecnologia adotada na cogeração por todas as unidades sucroalcooleiras (Figura 02) é o ciclo Rankine (POTTER e SCOTT, 2006; PELLEGRINI e OLIVEIRA JUNIOR, 2011), devida a necessidade de energia térmica, mecânica e elétrica. Carvalho e Pontes (2014) complementam que essa tecnologia utiliza água como fluido de trabalho. A agua é bombeada para a caldeira, onde o combustível é queimado para liberar energia térmica que é transformada em vapor superaquecido, com temperatura e pressão elevadas. Esse vapor por sua vez passa por um processo de expansão em uma turbina, onde ocorre a conversão de parte da energia térmica em energia elétrica.

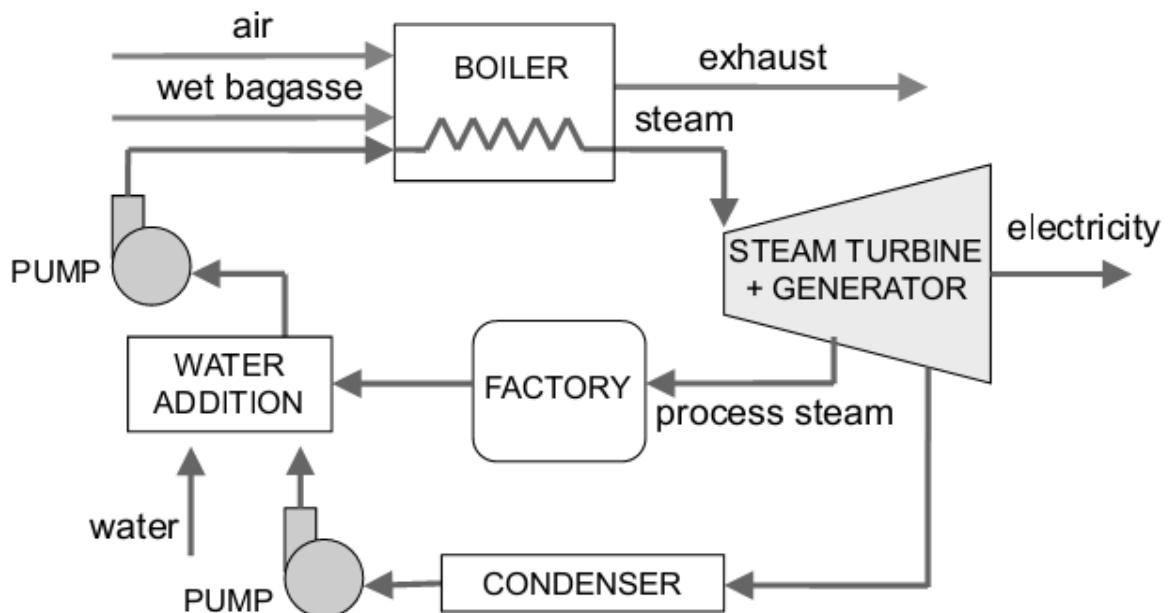


Figura 02: Diagrama do ciclo Rankine em processo de cogeração do setor sucroalcooleiro brasileiro.
Fonte: Deshmukh et al. (2013).

Venturini Filho e Addison (1990) avaliaram a viabilidade econômica da geração de eletricidade por queima do bagaço. Na época, os autores consideraram que a expectativa de escassez de energia elétrica para os próximos anos levaria a consequentes aumentos dos preços e com isso os investimentos em termoelétricas passariam a ser interessantes ao país.

O uso da biomassa da cana-de-açúcar na produção de energia elétrica é considerado sustentável, devido aos benefícios econômicos, sociais e ambientais (SILVA et. al., 2014). Do ponto de vista ambiental o cultivo de cana-de-açúcar

apresenta grande eficiência de conversão na fotossíntese. Conforme Paula et al. (2010) a produção de uma tonelada de biomassa fixa no mínimo 0,42 toneladas de carbono, o que corresponde a mitigar 1,54 toneladas de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera.

Mesmo sendo uma energia renovável, o processamento agroindustrial da cana-de-açúcar gera emissões. Na indústria ocorrem emissões de gases com a combustão do bagaço e palhiço nas caldeiras, emissão de vapores e gases nos condensadores das torres de destilação, além das que ocorrem nas dornas de fermentação (ROSA et al., 2013).

A queima do bagaço nas caldeiras das unidades sucroalcooleiras é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 382 de 26/12/2006 (BRASIL, 2006), que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Na Tabela 02 estão listados os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor, a partir da combustão de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 02 - Limites de emissão aceitos para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor, a partir da combustão de bagaço de cana-de-açúcar.

Potência térmica nominal (MW)	Material Particulado	$\text{NOx}^{(1)}$ (como NO_2)
Menor que 10	280	N.A.
Entre 10 e 75	230	350
Maior que 75	200	350

⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm^3 , em base seca e 8% de excesso de oxigênio; N.A. Não aplicável; $\text{NOx}^{(1)}$ soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2), sendo expressa como (NO_2).

Fonte: Resolução CONAMA nº 382 de 26/12/2006 (BRASIL, 2006).

Dantas et al. (2013) afirmam que as inovações tecnológicas utilizadas nos processos sucroalcooleiros proporcionam equipamentos com maior desempenho e eficiência, para melhor integrar a produção de energia. O primeiro fator a ser considerado para otimizar a cogeração é o combustível usado.

De acordo com a CONAB (2011) existe diferenciação entre geração elétrica e cogeração elétrica. No primeiro caso, a fonte de energia básica destina-se a gerar exclusivamente eletricidade. No segundo, a energia primária utilizada, no caso o bagaço da cana-de-açúcar, transforma-se, simultaneamente, em calor e energia eletromecânica.

O bagaço é o combustível mais utilizado, no sistema de cogeração para

produzir energia térmica, mecânica e elétrica para atender o consumo industrial das usinas e o excedente que é comercializado (ALVES et al., 2015). No entanto, o palhiço, que segundo Almeida (2009) possui poder calorífico maior que o bagaço, é menos explorado.

O parâmetro para avaliação de um combustível é o seu poder calorífico, que corresponde ao valor liberado pela combustão de uma quantia unitária de sua massa. Segundo Friedl, Padouvas e Varmuza (2005), o Poder Calorífico Superior (PCS) é a entalpia de combustão completa de um combustível. Para Saidur et al. (2011) o valor de aquecimento, também chamado valor calorífico da biomassa, pode ser definido pelo valor mais alto do aquecimento (PCS), que é basicamente o teor de energia expresso em base seca. Os autores lembram que o poder calorífico inferior (PCI) é calculado subtraindo-se a energia necessária para evaporar o conteúdo de umidade do combustível. A umidade dos resíduos agrícolas é muito variável e quando é conhecida possibilita estabelecer o poder calorífico útil (DOAT, 1977), que desconta a energia para secar o combustível.

Para Ripoli (2004) uma tonelada de palhiço remanescente da colheita poderia substituir 1,08 toneladas de bagaço (t/bg), tendo por base o poder calorífico como combustível para fornalhas de caldeiras. Almeida (2009) comparou a produção de vapor em caldeiras com pressão operacional de 67 bar e conseguiu 2,15 kg de vapor/ kg de bagaço e 3,05 kg de vapor/kg de palhiço.

Outro fator importante para geração de energia é a caldeira onde o combustível é queimado. Para Guimarães (2007) as caldeiras que produzem vapor a 21 bar e temperatura de 300°C precisam produzir 12,5 kg de vapor para gerar 1 kW de energia elétrica, mas uma caldeira que produza vapor a 65 bar e 520°C, necessita de apenas 5,7 kg de vapor para gerar 1 kW em razão da maior entalpia no vapor e devido à possibilidade do uso de turbinas a vapor com grande número de rodas no rotor, que permitem maior rendimento energético. Estas turbinas, normalmente do tipo turbina de reação, acionam os geradores de eletricidade e são altamente eficientes na conversão da energia contida no vapor em energia mecânica.

Na prática, os procedimentos para o aumento da geração elétrica no setor sucroalcooleiro estão atrelados ao aumento da eficiência da pressão e da temperatura das caldeiras e a implantação de turbinas de contrapressão e condensação.

O próximo item aborda a matriz energética brasileira e a importância da energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar para o Brasil.

MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

As alterações climáticas têm influenciado as fontes geradoras de energia elétrica, que compõem a matriz energética brasileira. O Brasil é dependente das hidroelétricas e os reservatórios são vulneráveis aos regimes hidrológicos.

No primeiro semestre de 2015, a matriz energética brasileira tinha 4.102 empreendimentos em operação, totalizando 145.584.531 kW de potência instalada. A fonte com maior participação (Figura 03) é a hídrica, com 62%, seguidas pelas Usinas Termo Elétricas (UTE), com 28% (ANEEL/BIG, 2015).

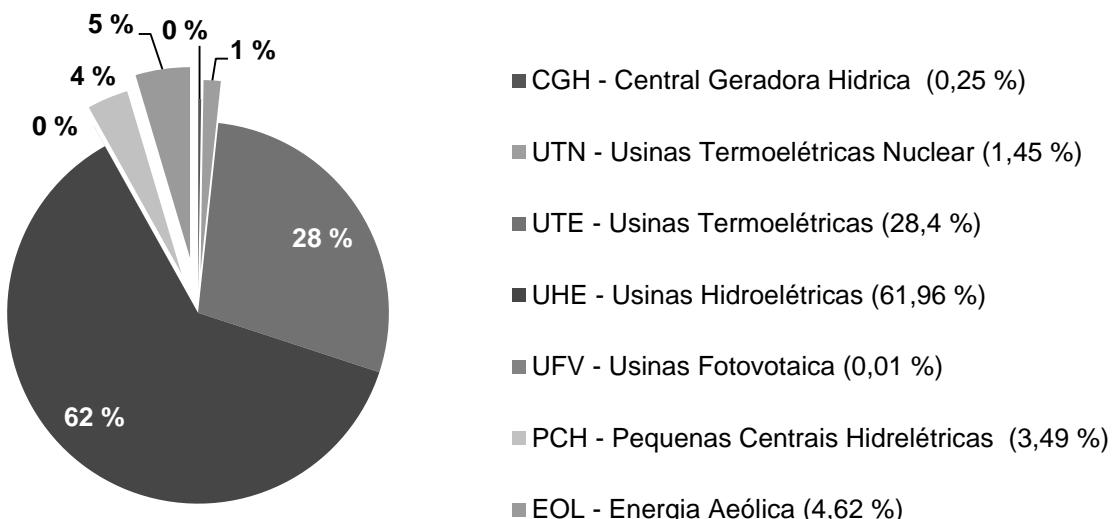


Figura 03 – Empreendimento em operação, de acordo com a capacidade instalada por fonte geradora.

Fonte (ANEEL/BIG, 2015).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia e a Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE, 2015a) a importância da hidroeletricidade na matriz brasileira deve-se ao fato de ser fonte renovável, já que utiliza a força da água como combustível, com emissões ínfimas de Gás de Efeito Estufa. Essa importância justifica-se também pela segurança temporal no provimento de energia elétrica, em função da formação de um reservatório e pelo grande potencial hidrelétrico do Brasil

(MORETTO et al., 2012).

Embora considerada uma energia limpa, a construção das barragens e a formação de imensos reservatórios causa perdas irreversíveis ao meio ambiente e à biodiversidade, o que coloca em xeque os temas da preservação de recursos naturais e da biodiversidade do país, em âmbito internacional (FRANCO et al., 2013). Além disso, já ocorreram vários conflitos que são gerados, de um lado pelo governo, que propaga o desenvolvimento sócio econômico da Nação em projetos onerosos e do outro pelos ambientalistas e as comunidades locais, que lutam pelos direitos territoriais (ZHOURI; OLIVEIRA, 2007). Com a expulsão dos povos ribeirinhos, extingue-se grande parte da sua cultura, provocada pelas perdas de grandes áreas de solos cultiváveis, área de preservação ambiental, espécies de plantas e animais, monumentos naturais e históricos (JUNK e MELLO, 1990).

Como exemplo de conflito cita-se a usina Belo Monte que está sendo construído no Rio Xingu, no estado do Pará, norte do Brasil em meio à floresta amazônica e que tem sido alvo de grandes polemicas ocasionadas por diversos fatores socioambientais. Quarenta pesquisadores de diversas universidades e institutos de pesquisa brasileiros e estrangeiros realizaram um painel com especialistas, que analisaram os aspectos sociais, culturais, econômicos, saúde, segurança, educação dos índios da região e da viabilidade técnica e econômica da usina. Após o estudo concluíram que a construção da usina era inviável, por apresentar os custos sociais e ambientais (SANTOS; HERNANDEZ, 2009).

No Brasil, a maior parte dos reservatórios são construídos e mantidos pelo setor elétrico, como forma de garantir o atendimento da demanda de energia elétrica no país. A crise hídrica que ocorreu no país de 2013 a 2015 afetou a disponibilidade de energia, exigindo o acionamento das termoelétricas a gás natural e diesel, para assegurar a oferta de eletricidade no país (GALVÃO e BERMANN, 2015).

De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015b) no período de 2012 a 2015 a energia elétrica verificada no SIN (Figura 04) e originária de fonte hídrica acusou queda na produção, com aumento significativo da produção de energia elétrica gerada pelas usinas termoelétricas.

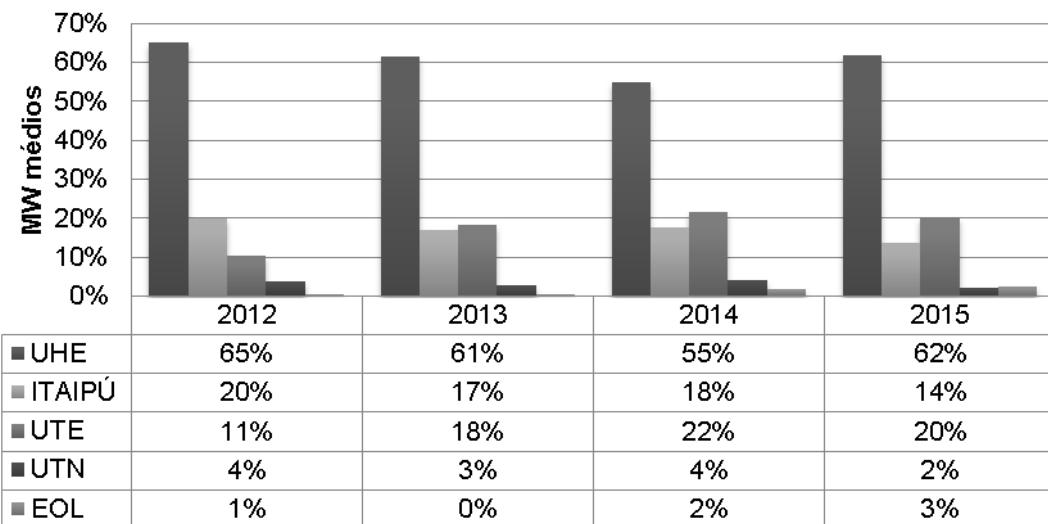


Figura 04 – Energia injetada no Sistema Interligado Nacional pelas principais fontes, no período de 2012 a 2015.

Legenda: UHE – Usina Hidroelétrica, UTE - Usina Termoelétrica, UTN Usina Termoelétrica Nuclear e EOL - Energia Eólica.

Fonte: Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS, 2015b).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), a geração de energia elétrica hidráulica apresentou uma redução de 4,5% em 2014 na comparação com o ano anterior.

De acordo com Pereira Filho (2015), o principal fator desta queda foi à ausência de chuvas, que ocasionou impactos negativos nas grandes bacias hidrográficas brasileiras, afetando o abastecimento de água potável e a geração de energia elétrica nos sistemas produtores do Sudeste e Nordeste, no quais os níveis dos reservatórios atingiram em torno de 35% do nível máximo no fim do período chuvoso de 2015.

Em 2014 a geração termelétrica aumentou em 18% em relação ao ano anterior, com 22,6% desse tipo de energia oriunda da biomassa, 39,6% de gás natural, 7,5% de nuclear, 20,7% de derivados de petróleo e 9,6% de carvão e derivados (MME/EPE/BEN, 2015b).

Em nível global há preocupação com as questões climáticas, o que tem levado a pressionar o setor elétrico a mudar suas fontes de energia elétrica por outras com menor impacto sobre o meio ambiente. A preocupação mundial com o meio ambiente reflete uma nova maneira de pensar sobre as fontes de energia menos poluentes. No Brasil, aumentou nas últimas décadas o interesse por energias renováveis como a solar, a eólica e a de biomassa. Estas fontes de energias vêm sendo usadas de forma estratégica para reduzir as emissões de gases causadores

do efeito estufa e consolidar o crescimento econômico (KHATIWADA et al., 2012). De acordo com Vassilev et al. (2010) as biomassas combustíveis, ou biocombustíveis, são produtos na forma sólida, líquida ou gasosa, gerados de recursos naturais por meio de algum tipo de processamento.

A geração de energia elétrica das Unidades Termoelétricas (UTE) verificada no SIN nos primeiros semestres de 2012 e 2015 (Figura 05) deixa claro o aumento do uso de biomassa na matriz energética brasileira neste período.

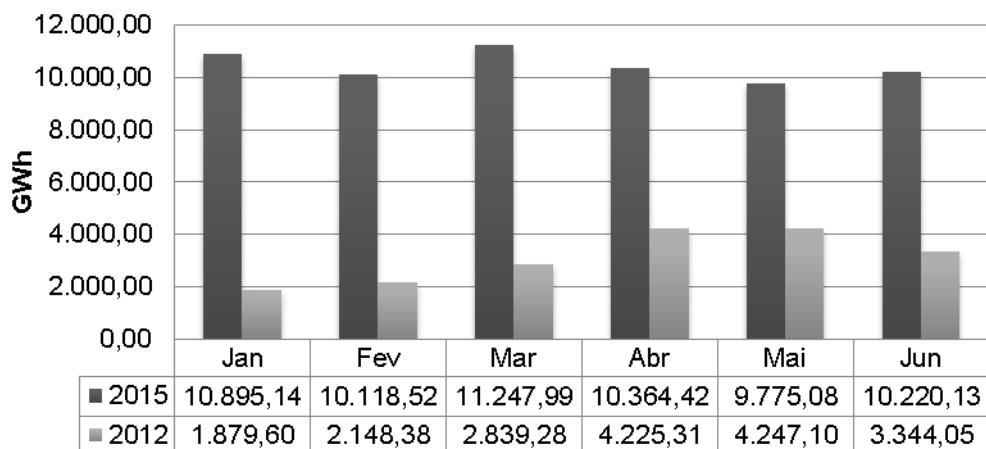


Figura 05 – Geração de energia elétrica das UTE verificada pelo SIN no período de 2012/2015 em GWh.

Fonte: Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS, 2015a).

Segundo Lago et al. (2012) existem três razões pelas quais os biocombustíveis têm sido adotados pelos países desenvolvidos: I - redução das emissões em comparação com os combustíveis fósseis; II - desenvolvimento de uma nova atividade atraente para o setor agrícola; III - redução da dependência de combustíveis fósseis importados. Os biocombustíveis também podem contribuir para outras dimensões do desenvolvimento sustentável, especialmente os aspectos socioeconômicos.

A matriz energética baseada apenas em hidroelétricas expõe o país a graves riscos de falta de eletricidade, além dos elevados custos com infraestruturas logísticas para transportar a energia até às subestações próximas das distribuidoras.

Sistema Interligado Nacional – SIN

No Brasil a produção de energia elétrica provém de fontes diversificadas e o sistema de transmissão de energia elétrica de grande porte, denominado Sistema

Interligado Nacional (SIN) é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. A operação do SIN é realizada de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que procura garantir a segurança operativa do sistema e a otimização na utilização dos recursos eletro energéticas. Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil (Figura 06) é um sistema de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas, com múltiplos proprietários (ONS, 2015).

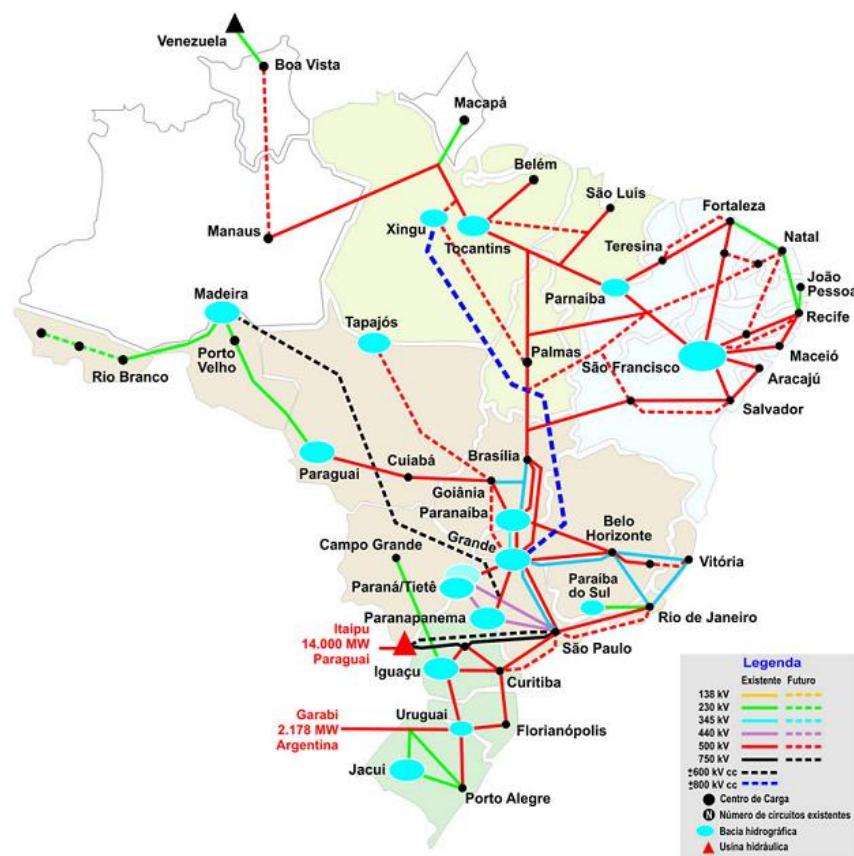


Figura 06 - Representação do Sistema Interligado Nacional em 2015.
Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015c).

De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015), o SIN é constituído por uma malha de distribuição na forma de redes e subestações das concessionárias, que alimentam as cargas dos diversos usuários de energia elétrica, tais como motores, inversores, transformadores, iluminação, e outros. Na Tabela 03 são apresentadas as linhas de transmissões em tensões e extensões do SIN.

Tabela 03 - Extensão das linhas de transmissão do Sistema Elétrico Nacional em 2013.

Tensão kV	Extensão das linhas de transmissão do SIN – km					
	2009	2010	2011	2012	2013	Var. (%) 13/12
230	41.436,8	43.184,5	45.708,7	47.893,5	49.969,0	4,33
345	9.783,6	10.060,5	10.061,9	10.223,9	10.272,3	0,47
440	6.671,2	6.670,5	6.680,7	6.728,2	6.728,2	(**)
500	33.196,3	34.356,2	35.003,4	35.726,2	39.123,1	9,51
600 CC (*)	3.224,0	3.224,0	3.224,0	3.224,0	7.992,0	147,89
750	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0	(**)

Legenda: (*) extensão dos circuitos 600 CC corresponde à extensão de cada bipolo, sendo que pode haver operação independente por polo; (**) não houve variação da extensão das linhas de transmissão.

Fonte – Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS, 2015d).

Os valores da Tabela 03 referem-se à rede básica do SIN, correspondente a instalações com tensão maior ou igual a 230 kV, acrescentadas aos ativos de conexão de usinas e interligações internacionais, ligados diretamente à rede básica (ONS, 2014).

A mudança de perfil energético com necessidade de diversificação exigiu também uma nova forma de comercialização.

A restruturação dos arranjos de comercialização do setor elétrico brasileiro teve inicio com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, sustentado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15.03.2004 (BRASIL, 2004e), e pelo Decreto nº 5.163, de 30.07.2004 (BRASIL, 2004a). O programa incentivou as fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, a fim de identificar e apropriar-se dos seus benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos. Prevê a comercialização de energia em dois ambientes, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), assim como no mercado spot.

De acordo com a lei 10.848 de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004f), a contratação deverá ser formalizada por meio de contratos bilaterais denominados:

a₁ Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado - CCEAR, celebrados entre cada concessionária ou autorizada de geração e todas as concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição.

b₁ Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL) tem suas condições de atendimento, preço e demais cláusulas de contratação livremente negociadas entre as partes. Todos os contratos celebrados no Ambiente de Contratos Livres devem ser registrados na Câmara de Comercialização de

Energia Elétrica, conforme o disposto no art. 56 do Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004 (BRASIL, 2004a).

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2015) a estrutura do setor elétrico brasileiro é hierárquica (Figura 07). O mesmo órgão atribui o papel de cada um dos componentes desta hierarquia.

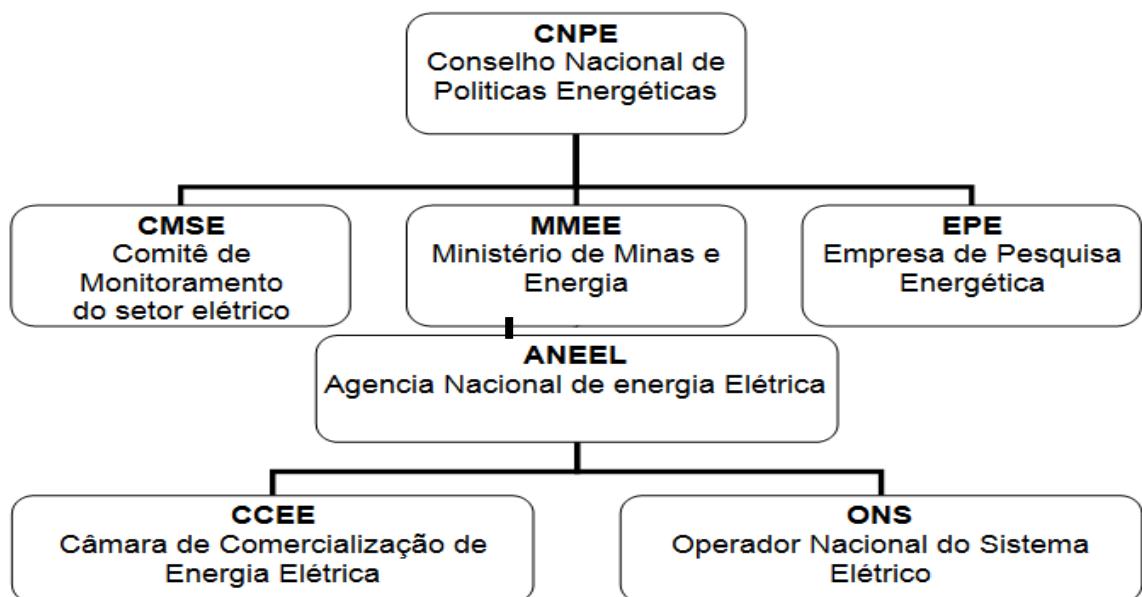


Figura 07 - Hierarquia da gestão do setor elétrico brasileiro.

Fonte: Câmara de Comercialização de Energia elétrica (CCEE, 2015).

a. **Conselho Nacional de Política Energética (CNPE):** órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República regido pela Lei nº 9.478 de agosto de 1997 (BRASIL, 1997b). Ele tem como principais atribuições à formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todo o país, incluindo as regiões mais remotas e de difícil acesso. É também responsável por revisar periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país e por estabelecer diretrizes para programas específicos, tais como uso do gás natural, do etanol, de outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear, assim como de estabelecer diretrizes para a importação e a exportação de petróleo e gás natural.

b. **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE):** coordenado pelo Ministério de Minas e Energia - MME, é regido pela Lei 10.848 de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004f). Possui a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional. Suas principais

atribuições incluem o acompanhamento do desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica, a avaliação das condições de abastecimento e de atendimento, a realização periódica de análise integrada de segurança de abastecimento e de atendimento, a identificação de dificuldades e obstáculos que afetem a regularidade e a segurança de abastecimento e expansão do setor, além da elaboração de propostas para ajustes e ações preventivas que possam restaurar a segurança no abastecimento e no atendimento elétrico.

c. **Ministério de Minas e Energia (MME):** órgão do Governo Federal responsável pela condução das políticas energéticas do país, criado pela Lei nº 3.782 em 22 de julho de 1960 (BRASIL, 1960). Suas principais obrigações incluem a formulação e efetivação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). O MME é também responsável por estabelecer o planejamento do setor energético nacional, por monitorar a segurança do suprimento do setor elétrico brasileiro e por definir ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrios conjunturais entre oferta e demanda de energia.

d. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE):** instituída pela Lei nº 10.847 em 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004e), teve sua criação regulamentada pelo Decreto nº 5.184 em 16 de agosto de 2004 (BRASIL, 2004d). Tem a finalidade de prestar serviços na área de estudos e pesquisas para subsidiar o planejamento do setor energético. Entre suas principais atribuições estão estudos de projeções da matriz energética brasileira, o planejamento integrado de recursos energéticos, o planejamento de expansão da geração e da transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazo, de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de usinas e a obtenção da licença ambiental prévia para aproveitamentos hidrelétricos e de transmissão de energia elétrica.

e. **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL):** instituída pela Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996 (BRASIL 1996), com sua constituição normatizada pelo Decreto nº 2.335 de 6 de outubro de 1997 (BRASIL, 1997a). Possui como atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Também tem a missão de zelar pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento das tarifas para os consumidores finais, sempre preservando a viabilidade

econômica e financeira dos agentes e da indústria. As alterações promovidas em 2004 estabeleceram como responsabilidade da ANEEL, direta ou indiretamente, a promoção de licitações na modalidade de leilão para a contratação de energia elétrica pelos agentes de distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN).

f. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): a ANEEL tem delegado a operacionalização dos leilões a CCEE, que é uma associação civil, de direito privado e sem fins lucrativos, constituída pela Lei Nº 10.848 de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004f) e regulamentada pelo decreto nº 5.177 de 12 de agosto de 2004 (BRASIL, 2004c). A CCEE é regulada e fiscalizada pela ANEEL, com a responsabilidade de administrar, contabilizar e liquidar os contratos de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), destacando a implantação e divulgação das regras de comercialização e dos procedimentos de comercialização, Administração do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL), medição e registro da energia verificada através do Sistema de Coleta de Dados de Energia (SCDE), registro dos contratos firmados entre os agentes da CCEE, realização de leilões de compra e venda de energia elétrica, apuração das infrações e penalidades por variações de contratação de energia, apuração do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), contabilização e liquidação das transações realizadas no mercado de curto prazo, monitoramento das condutas e ações empreendidas pelos Agentes da CCEE.

g. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): normatizado pelo Decreto Nº 5.081 de 14 de maio de 2004 (BRASIL, 2004b) para administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil. Instituição responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN). O ONS tem como objetivos principais o atendimento dos requisitos de carga, aprimorar custos e garantir confiabilidade do sistema. Outra responsabilidade da instituição é a definição das condições de acesso à malha de transmissão em alta-tensão do país.

Outro aspecto cada vez mais sério no setor energético, este em âmbito internacional, é o aumento de interferência no clima global.

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), a comunidade global tem se esforçado para mitigar os Gases de Efeito Estufa. No entanto, a *International Energy Agency, International Energy Outlook* (IEA/IEO, 2013) projeta para as próximas décadas, que os combustíveis fósseis ainda serão a

principal fonte de energia mundial, seguidos pelas fontes renováveis que deverão conhecer um crescimento anual de 2,5%, mas representando menos de 25% das necessidades globais até 2040. A mesma fonte relata que, com o aumento do PIB mundial em 3,6% ao ano, a produção mundial de energia deverá crescer 56% entre 2010 e 2040 para atender ao aumento de consumo apenas da China e da Índia.

A energia consumida nos países membros do chamado BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China) responde por 32% da demanda de energia mundial, com destaque para a China, com 2.417 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), que correspondem a 19% da demanda de energia mundial. A Rússia vem em seguida com 701 milhões de tep (6% da demanda mundial), depois a Índia com 692 milhões de tep (5%) e finalmente o Brasil com 265 milhões de tep (2%) (IEA/IEO, 2013).

Embora a China apresente a maior demanda global de energia, seu consumo *per capita* (1,81 tep/hab.) está pouco abaixo da média mundial (1,86 tep/hab.). Do mesmo modo a Índia, mesmo alcançando 5% da demanda mundial, apresenta um consumo *per capita* muito baixo (0,59 tep/hab.), enquanto a Rússia apresenta um consumo *per capita* bastante elevado (4,95 tep/hab.). O consumo brasileiro (1,36 tep/hab.) fica em posição intermediária entre os países componentes do BRIC, mas abaixo da média mundial. Para fins de comparação, os Estados Unidos, segundo maior consumidor de energia do mundo, consomem 7,15 tep/hab. (IEA/IEO, 2013).

China, Rússia, Brasil e Índia conheceram falhas e sucessos nas suas experiências de políticas energéticas. Essas experiências trouxeram preocupações com as questões do aquecimento global e incentivaram a diversificação da matriz energética com fontes energéticas renováveis sustentáveis (ZHANG et al., 2011).

A preocupação com o meio ambiente e as previsões de crescimento do consumo mundial de energia trouxeram novas expectativas sobre as fontes de energias renováveis, dentre essas, a da cana-de-açúcar (KHATIWADA et al., 2012). Desde a década de 1990, diversos países, inclusive o Brasil, despertaram para a diversificação das fontes de energia elétrica. No Brasil, a abertura para comercialização de energia elétrica da cana-de-açúcar é relativamente recente, com os arranjos institucionais vigentes para comercialização que entraram em vigor em 2004 (LUZ, 2012).

A eletricidade proveniente da biomassa cana-de-açúcar diversifica a matriz energética brasileira e contribui para garantir o abastecimento da crescente demanda por energia elétrica renovável do país (GRISI et al., 2012). Para Gomes e

Maia (2013) trata-se de uma fonte de energia abundante e viável, com a vantagem de ser uma Geração Distribuída, o que facilita a logística de distribuição. Além disso, a energia da biomassa de cana-de-açúcar é produzida no período mais seco do ano, de abril a dezembro, quando os níveis dos reservatórios das hidroelétricas ficam mais baixos.

De acordo Castro et al. (2008) a sustentabilidade econômica de um país está relacionada com sua capacidade de prover logística e energia menos poluente para o desenvolvimento de sua produção. No Brasil, a biomassa proveniente da cana-de-açúcar é a mais disponível, concentrada nas regiões Centro-Sul e Nordeste. Proporciona condições propícias a geração de energia elétrica distribuída, ou seja, as unidades geradoras próximas dos centros de cargas e das unidades de consumo (GOMES; MAIA, 2013).

Conforme Tolmasquim (2012) a quantidade de energia contratada pelo setor elétrico da cana-de-açúcar e a análise de seu potencial técnico evidenciaram uma significativa ampliação de sua capacidade, o que possibilitaria sua consolidação como uma fonte importante na matriz elétrica nacional, em consonância com as diretrizes definidas para a expansão da geração de energia elétricas de fontes renováveis.

Embora siga a estrutura centralizada do sistema brasileiro, cada estado apresenta suas particularidades, que afetam a geração, distribuição e consumo de energia elétrica.

AGRONEGÓCIO E ENERGIA ELÉTRICA NO MATO GROSSO DO SUL

No Mato Grosso do Sul a maior parte das unidades geradoras de energia hidrelétrica está localizada na região norte do estado e as fontes energéticas da biomassa de cana-de-açúcar na região centro-sul.

A economia do Mato Grosso do Sul é alicerçada no agronegócio, respaldada nas cadeias produtivas da soja, milho, cana-de-açúcar, celulose e pecuária. De acordo com Hirakuri e Lazzarotto (2014) o Mato Grosso do Sul é o quinto maior produtor de soja do país, produção essa que está entre as atividades econômicas que mais cresceram nas últimas décadas. O estado é o terceiro maior produtor de

milho e o quarto maior produtor de cana-de-açúcar do país (CONAB, 2014).

De acordo com a Federação da Agricultura e Pecuária do Mato Grosso do Sul (FAMASUL, 2015), em 2014 o Produto Interno Bruto da agropecuária sul-mato-grossense aproximou-se dos R\$ 14 bilhões. O uso e ocupação do solo em 2014 com o agronegócio estavam divididos em: 5,5% soja, 2,3% cana-de-açúcar, 1,6% eucaliptos, 56,9% pastos, 31,3% áreas remanescentes e 2,3% em outros cultivos. Essas atividades agropecuárias consolidam as exportações realizadas pelo estado.

Uma vez que o estado é estruturado em torno das cadeias produtivas do agronegócio, mola que impulsiona a economia brasileira e sul-mato-grossense, o aumento da produção dessas cadeias produtivas será de grande impacto socioeconômico. Sendo assim, os principais fatores que levam ao crescimento da produção situam-se nos investimentos para a modernização tecnológica, com implantação de equipamentos de irrigação, sementes melhoradas, racionalização do plantio e manejo do sistema de produção (CHRISTOFIDIS, 2013). De acordo com Albuquerque (2010) a energia elétrica e a água são cada vez mais utilizadas na agricultura, como insumos necessários para o aumento da produção das culturas, principalmente com irrigação por pivôs. Porém, no Mato Grosso do Sul a classe rural é a que menos consome energia elétrica.

Um problema pertinente quanto ao uso da energia elétrica das hidrelétricas é que elas são construídas distantes das metrópoles, onde o consumo de energia elétrica é maior. Além disso, para transportar essa energia são necessários grandes investimentos em redes de alta tensão, com grandes perdas de energia no transporte, devido à distância. Esse caso é devido às características territoriais brasileiras, com grandes áreas com baixa concentração populacional. No caso específico do Mato Grosso do Sul, o estado possui área territorial de 357.124,962 km², distribuída em 79 municípios. A densidade demográfica (hab./km²) estimada no ano de 2014 foi de 6,86 e a população de 2.619.657 (IBGE, 2015).

A matriz energética do Mato Grosso do Sul é composta por 69 empreendimentos em operação, com capacidade instalada de 8.717.653 kW de potência, que representam 6,47% da capacidade instalada da produção de energia elétrica brasileira (ANEEL/BIG, 2014).

Aproximadamente 80% da energia elétrica do estado são produzidas por fontes hídricas, como mostra a Tabela 04. Essas usinas hídricas de grande porte estão instaladas nas fronteiras com os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso, na

modalidade de consórcios entre os estados. A segunda maior produção de energia, quase 20% do total da energia elétrica gerada no estado, vem das Usinas Termoelétricas (UTE), num total de 28.

Tabela 04 - Empreendimentos em operação no Mato Grosso do Sul por potência instalada e em total produzido (kW), em 2014.

Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%
Central Geradora Hidroelétrica	11	5.909	0,07
Pequenas Centrais Hidrelétricas	14	215.328	2,47
Usinas Hidrelétricas	05	6.788.800	77,87
Geradora Solar – Fotovoltaica	10	32,76	0,00
Usinas Termoelétricas	28	1.707.583	19,59
Total	69	8.717.653	100

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração (ANEEL/BIG, 2014).

As unidades termoelétricas do estado com maior capacidade instalada para produção de energia elétrica são as usinas sucroalcooleiras, seguida pelas indústrias processadoras de celulose, que usam o resíduo licor negro como combustível e são autossuficientes. No estado existem duas termoelétricas movidas a gás natural, construídas pelo Operador Nacional do Sistema, que segundo Tolmasquim (2016) funcionam como um seguro nos períodos de escassez hidrológica. Elas são ativadas somente para garantir o suprimento de energia para o país.

As unidades termoelétricas do estado com maior capacidade instalada para produção de energia elétrica são as unidades sucroalcooleiras e indústrias processadoras de celulose, seguidas pelas movidas a gás natural e óleo diesel (Tabela 05).

Tabela 05 - Usinas termoelétricas do Mato Grosso do Sul com capacidade instalada por fonte, em 2014.

Empreendimentos	Quantidade	Potência	
		Instalada	Fiscalizada¹
Biomassa cana-de-açúcar	18	716.007	42%
Licor negro	02	389.200	35%
Gás natural	04	596.924	0%
Gás de alto-forno	01	3.500	0%
Óleo diesel	03	1.952	23%

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração (ANEEL/BIG, 2014).

¹ A Potência Fiscalizada é aquela que é colocada efetivamente à disposição dos consumidores.

Das 20 usinas termoelétricas que operam com biomassa no Mato Grosso do Sul, dezoito usam biomassa cana-de-açúcar e duas queimam licor negro (ANEEL/BIG, 2014). As duas usinas termoelétricas que queimam licor negro estão em Três Lagoas e processam polpa de celulose. Das termoelétricas a gás natural, duas utilizam gás importado da Bolívia.

De acordo com o Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (BEMS, 2015), em função do longo período de estiagem, as Unidade Termoelétricas alimentadas com gás importado foram acionadas no inicio de 2013 e seguiram em operação em 2014 (Tabela 06), o que justifica os 15% do total da energia gerada no estado.

Tabela 06 – Geração de energia elétrica por tipo de usina no estado em 2014.

Usinas	GWh	%
Hidroelétricas de fronteiras	14.367	66
Hidroelétricas internas	1.472	7
Bagaço de cana-de-açúcar	2.132	10
Termoelétrica a gás natural	3.189	15
Outras	484	2
Total	21.644	100

Fonte: Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (2015).

Conforme o Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (BEMS, 2015) a energia elétrica produzida no estado em 2014 foi de 21.644 GWh. De acordo com o Relatório Anual de Responsabilidade Socioambiental da distribuidora de energia elétrica Energisa (2015), que atende 74 dos 79 municípios do estado, a energia elétrica distribuída aos consumidores em 2014 foi de 5.159 GWh. O consumo distribuído entre as classes apontou o consumo residencial com 37%, o comercial com 24%, o industrial 14%, o consumo público com 14,3% e a classe rural com 10,7%, consumo considerado baixo em relação à importância do agronegócio para a economia estadual.

Os dados apresentados mostram que se a energia elétrica é importante para o desenvolvimento de uma região ou país, o modelo brasileiro de dependência das chuvas para alimentar o sistema de hidroelétricas deve ser diversificado. O uso da biomassa em usinas termoelétricas é um modelo que vem crescendo em uso em nível global.

Na sequência serão apresentados os artigos que compõem a tese, no qual, seguirão as normas da revista, que estão elencadas na apresentação dos capítulos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. . BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO - **ANEEL/BIG**. Capacidade de geração. Brasília, 2016.

_____. BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO - **ANEEL/BIG**. Capacidade de geração. Brasília, 2015.

_____. BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO - ANEEL/BIG. Capacidade de geração. Brasília, 2014.

_____, Informações Gerenciais, mar., 2016. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+-+1%C2%BA+trimestre+de+2016/b25a0697-2f30-4946-b8d5-9bac5931ce10>. Acesso em: set. 2016.

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M; MELLO, M. P. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, v.3,n.12, p. 2682-2703, 2011.

ALBUQUERQUE P. E. P.; COUTINHO A. C.; GONÇALVES P.P.; AGOSTINHO E. M. **Uso Eficiente da Água de Irrigação e da Energia Elétrica em Cultura de Milho sob Pivô Central num Plantio Comercial em Várzea da Palma, MG**. In: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-Rom

ALMEIDA, M. Utilização do palhiço da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira. São Paulo, 2009. Disponível em:<http://www.piracicabaengenharia.com.br/us/artigos_full.asp?nID=355>. Acesso em: jan., 2016.

ALVES, M.; PONCE, G. H. S. F., SILVA, M. A.; ENSINAS A. V. Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. **Energy**, v. 91, p. 751 e 757, 2015.

ARSHAD, M.; AHMED, S. Cogeneration through bagasse: A renewable strategy to meet the future energy needs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54 p. 732–737, 2016.

BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL – BEMS, ano base 2015. Disponível em: <http://www.servicos.ms.gov.br/extranet-seinfra/docs/GDE-MS/01-BEMS_2015_FINAL.pdf>. Acesso em: ago., 2016.

BIOSUL – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA DO MATO GROSSO DO SUL. Relatório de encerramento de safra 2014/2015, Campo Grande, 2015.

BIZZO W. A.; LENÇO P. C.; CARVALHO D. J.; VEIGA J. P. S. The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 589 – 603, 2014.

BOINOT F. Melle Process of Alcoholic Fermentation. Usines de melle, melle (sevres) France. **The International Sugar Journal**, 1939.

BRASIL - Decreto Nº 2.335 de 6 de outubro de 1997. **Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências**. Brasília, 1997a.

_____. Decreto Nº 5.081 de 14 de maio de 2004. **Regulamenta os arts. 13 e 14 da Lei no 9.648, de 27 de maio de 1998, e o art. 23 da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004, que tratam do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS**. Brasília mai. 2004b.

_____. Decreto Nº 5.177 de 12 de agosto de 2004. **Regulamenta os arts. 4º e 5º da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE**. Brasília ago. 2004c.

_____. Decreto Nº 5.184 de 16 de agosto de 2004. **Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE aprova seu Estatuto Social e dá outras providências**. Brasília ago. 2004d.

_____. Decreto Nº 5.163 de 30 de julho de 2004. **Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências**. Brasília, 2004a.

_____. LEI Nº 3.782 de 22 de julho de 1960. **Cria os Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia e dá outras providências**. Brasília, jul. 1960.

BRASIL. LEI Nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996. **Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências**. Brasília, dez. 1996.

_____. LEI Nº 9.478 de agosto de 1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**. Brasília, ago. 1997b.

_____. LEI Nº 10.847 de 15 de março de 2004. **Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências**. Brasília mar. 2004e.

_____. LEI Nº 10.848 de 15 de março de 2004. **Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica**. Brasília, 2004f.

_____. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Publicada no

DOU nº 1, de 2 de janeiro de 2007, seção 1, página 131-137, Brasília, 2007.
 CARVALHO, M. S.; PONTES, L. A. M. Soluções de cogeração para uma planta industrial utilizando o ciclo Brayton. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 4, n. 1, p. 53 -64, jan./dez. 2014.

CASTRO N. J. ; DANTAS G. A.; BRANDÃO R.; LEITE A. L. S. Bioeletricidade e a Indústria de Álcool e Açúcar: possibilidades e limites. **Ed. Synergia**. Rio de Janeiro, 2008.

CAZETTA, M. L.; CELLIGOI M.A.P.C.; BUZATO J. B.; SCARMINO I. S. Fermentation of molasses by Zymomonas mobilis: Effects of temperature and sugar concentration on ethanol production. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 824–2828, 2007.

CCEE - CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Setor elétrico. Com quem se relaciona. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde_atuamos/com_quem_se_relaciona?adf.ctrl-state=74jcf5ekf_241e_afrLoop=2680588853920741>. Acesso em: ago., 2015.

CHRISTOFIDIS D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Políticas Agrícolas**. Ano XXII n. 1 – Jan./Fev./Mar. 2013.

CLAUSER, N. M; GUTIÉRREZ, S.; AREA, M. C.; FELISSIA, F. E.; VALLEJOS, M. E. Small-sized biorefineries as strategy to add value to sugarcane bagasse. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 07, p. 137 – 146, 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra 2014/15, n. 2 – Segundo Levantamento, Brasília, nov., 2014.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, abr. 2015.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de cana**, v. 2 - Safra 2015/16, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-76, abril 2016a.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 4- Safra 2015/16 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-154, janeiro 2016b

_____. **A geração termoelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil**. Análise do desempenho da safra 2009-2010, Brasília, mar. de 2011.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D. e FAIRBAIRN, E. M. R. Ultrafine sugar cane bagasse ash: high potential pozzolanic material for tropical countries. **Revista IBRACON Structures and Materials**, v. 3, p. 50-67, mar., 2010.

COSTA, A. C.; PEREIRA JUNIOR N.; ARANDA, D. A. The situation of biofuels in Brazil: New generation Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 3041–3049, dez. 2010.

COSTA, M. H. A.; BAlestieri, J. A. P. **Viabilidade de sistemas de cogeração em indústria química.** In: Congresso brasileiro de engenharia e ciências térmicas, v. 1, p. 358 – 363, Rio de Janeiro, 1998.

COSTA, P. R. O.; DUARTE, F. S. A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da Fatea**, v. 3, p. 2-107, jan./dez, São Paulo, 2010.

DANTAS G. A.; LEGEY L. F. L.; MAZZONE A. Energy from sugarcane bagasse in Brazil: An assessment of the productivity and cost of different technological routes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 356 – 364, 2013.

DESHMUKH R.; JACOBSON A.; CHAMBERLIN C.; KAMMEN D. Thermal gasification or direct combustion? Comparison of advanced cogeneration systems in the sugarcane industry. **Biomass and Bioenergy**, v.55, p.163 e 174, 2013.

DIAS, M. O. S.; MACIEL FILHO, R.; MANTELATTO, P. E.; CAVALETI, O.; ROSSELL, C. E. V.; BONOMI, A.; LEAL, M. R. L. V. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 35 – 51, 2015.

DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropical. **Bois et Forêts des Tropiques**, v.172, p.33-55, Paris, 1977.

ENERGISA S/A. Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras. **Resultados 2014**. Rio de Janeiro, mar., 2015.

FAMASUL - FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO MATO GROSSO DO SUL. Disponível em: <http://famasul.com.br/assessoria_interna/pib-agropecuario-de-ms-chega-a-r-15-bilhoes-em-2015-projeta-famasul/31605/>. Acesso em: mai., 2015.

FRANCO F. C. O. . FEITOSA M. L. P. A.M. Desenvolvimento e direitos humanos. marcas de inconstitucionalidade no processo belo monte. **Revista direito GV**, v. 9, p. 093-114, São Paulo, jan./jun., 2013.

FRIEDL, A.; PADOUVAS, E.; ROTTER, H.; VARMUZA, K. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Analytica Chimica Acta**, v. 544, n. 1-2, p. 191–198, 2005.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, p. 156–166, 2011.

GALVÃO, J. ; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 43-68 mai./ago., 2015.

GIULIANO, A.; CERULLI, R.; POLETTI, M.; RAICONI, G.; BARLETTA, D. Optimization of a Multiproduct Lignocellulosic Biorefinery using a MILP Approximation. **Computer Aided Chemical Engineering**, v. 33, p. 1423-1428, 2014.

- GOMES, C. F. S.; MAIA, A. C. C. Ordenação de alternativas de biomassa utilizando o apoio multicritério à decisão. **Produção**, v. 23, n.3, p. 488-499, 2013.
- GRISI, E. F.; YUSTA, J.M.; DUFO-LÓPEZ, R. Opportunity costs for bioelectricity sales in Brazilian sucroenergetic industries. **Applied Energy**, v. 92, p. 860-867, abr., 2012.
- GUIMARÃES, O. Eletricidade vegetal. **O Sulco**, Horizontina, v. 112, n. 27, p. 6-9, 2007.
- HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: **PNUD Brasil, Centro de Tecnologia Canavieira**, p. 216, 2005.
- HIRAKURI M. H.; LAZZAROTTO J.J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Embrapa Soja**, Londrina – PR, 2014.
- HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. **Biomassa and Bioenergy**, v.46, p. 564 – 573, 2012.
- HUGOT, E. **La sucrerie de cannes**. Paris: Ed. Dunod, 989 p.,1970.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estado do Mato Grosso do Sul, 2015.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK – IEA/IEO. **Center for Strategic and International Studies**, Washington, DC, Jul. 2013.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Mudanças Climáticas: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Organização Meteorológica Mundial, Genebra, Suíça, 2014.
- JIMÉNEZ A.M.; BORJA R; MARTÍN A. A comparative kinetic evaluation of the anaerobic digestion of untreated molasses and molasses previously fermented with *Penicillium decumbens* in batch reactors. **Biochemical Engineering Journal**, v. 18, p.121-132, 2004.
- JUNK, W. J.; CUNHA, N. C. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, v. 24, p. 391-401, 2005.
- JUNK, W. J.; MELLO, J. N. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos avançados**, v. 4, n.8, p. 126-143, 1990.
- KHATIWADA D.; SEABRA J.; SILVEIRA S.; WALTER A. Power generation from sugarcane biomass. A complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil. **Energy**, v. 48, p. 241-254, dez., 2012.
- LAGO, A. C.; BONOMI, A.; CAVALETT, O.; CUNHA, M. P.; LIMA, M. A. P. Sugarcane as a carbon source: The Brazilian case. **Biomass and Bioenergy**, v. 46,

p. 5 e 12, 2012.

LUZ C. P. M. S.; GOMES L.L.; BRANDÃO L.E.T. Análise da dinâmica do mercado a termo de energia elétrica no Brasil. **Rev. brasileira de gestão de negócios**, v. 14, p. 314-334, São Paulo, jul./set., 2012.

MALIGER, V. R.; DOHERTY, W. O. S.; FROST, R. L.; MOUSAPIOUN, P. Thermal Decomposition of Bagasse: Effect of Different Sugar Cane Cultivars. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 50, n. 2, 2011.

MARQUES T. A.; PINTO L. E. V. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.680 - 685, 2013

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. e GLORIA, N.A. **Determinação das várias formas de fósforo em tortas de filtro rotativo**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, vol. 47, n.1, p. 147-161, 1990.

MICHELAZZO M. B. E BRAUNBECK O. A. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhço na colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 12, n. 5, p. 546 – 552, 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - MME/EPE. **ESTUDOS DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO**. Identificação e Classificação de Potenciais Reservatórios de Regularização no SIN. Brasília 2015a.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA/BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - MME/EPE/BEN. Relatório Síntese. Brasília: MME/EPE/BEN 2015b.

MORALES-VERA, R.; BURA, R.; GUSTAFSON, R. Handling heterogeneous hybrid poplar particle sizes for sugar production. **Biomass and Bioenergy**, v. 91, p. 126–133, agos., 2016.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDAO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente e Sociedade**, v.15, n.3, p. 141-164, 2012.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M. O mapa sucroenergético do Brasil. In: SOUZA, E. L. de; MACEDO, I. de C. (Coord.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

NOGUEIRA M. A. F. S; GARCIA M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brilhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 17, p. 3275 – 3283, dez. 2013.

NSAFUL F.; GORGENS J.F.; KNOETZE J.H. Comparison of combustion and pyrolysis for energy generation in a sugarcane mill. **Rev. Energy Conversion and Management**, n. 74 p. 524–534, 2013.

OECD/FAO ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT / FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2015), OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – (ONS, 2014). **Extensão das Linhas de Transmissão do SIN – km** – Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2013/html/07-02-Extensao-das-Linhas-de-Transmissao-do-SIN-km.html?expanddiv=07>. Acesso em: jul. 2015d.

. **Geração de Energia – Térmica Convencional.** Disponível em <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia_out.aspx?area=>>, Acesso em 13 jul. 2015a.

. **IPDO – Informativo Preliminar Diário da Operação.** Disponível em <http://www.ons.org.br/resultados_operacao/ipdo.aspx> acesso jul. de 2015b.

. **Sistema Interligado Nacional.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/integracao_sin/integracao_novas_instalacoes.aspx> acesso mai. 2015c.

PAULA, M.; PEREIRA F. A. R; ARIAS E. R. A.; SCHEEREN B. R.; SOUZA C. C.; MATA D.S. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana-de-açúcar. **Revista Ciências e Agrotecnologia**, v. 34, n.3, p. 633-640. Lavras, 2010.

PELLEGRINI, L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermo-economic and environmental analysis and optimization. **Energy**, n. 36 , p. 3704 e 3715, 2011.

PELLEGRINI, L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, S.; BURBANO J. C. Supercritical steam cycles and biomass integrated gasification combined cycles for sugarcane mills. **Energy**, n. 35, p. 1172 -1180, 2010.

PEREIRA FILHO, A. J. Análise da escassez hídrica brasileira em 2014. Dossiê Energia Elétrica. **Revista USP**, n. 104, p. 125-132, São Paulo, SP, jan./fev./março 2015.

POTTER, M.C.; SCOTT, E.P. **Termodinâmica**. Editora Thomson, 2006.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L; RODRIGUES, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. **Revista Gestão Industrial**, v. 09, n. 02, p. 392-415, PR, 2013.

RIPOLI M.L.C. e GAMERO C.A. Palhiço de cana-de-açúcar: Ensaio padronizado de recolhimento por enfardamento cilíndrico. **Revista Engelharia agrícola**. Botucatu, v. 22, n.1, p. 75-93, 2007.

RIPOLI, M. L. C. Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) Para fins energéticos. 2004. 211f. Tese (Livre-docência). Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, São Paulo, 2004.

SAIANI, C. C. S.; PEROSA, B. B. Saúde respiratória e mecanização da colheita da cana-de-açúcar nos municípios paulistas: A importância do protocolo agroambiental. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54 n.1, Brasília Jan./Mar. 2016.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ E. A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN M.S.; SAIDUR, M. S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15 p. 2262–2289, 2011.

SANTOS S. M. S. B. M; HERNANDEZ, F. M (Orgs.). **PAINEL DE ESPECIALISTAS: análise Crítica do Estudo de Impacto ambiental do aproveitamento Hidrelétrico de belo Monte**. International rivers, 2009. Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/belo_monte_pareceres_ibama_online_3.pdf>. Acesso em: jul de 2015.

SÃO PAULO. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Lei 11.241 de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. São Paulo - SP. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei%20n.11.241,%20de%2019.09.2002.htm>>. Acesso em: 19 ago. 2010.

SATYANARAYANA, K. G.; ARIZAGA, G. G. C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. **Progress in Polymer Science**, v. 34, p. 982–1021, 2009.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, ed. eletrônica e arte finalização, 415 p., 2006.

SIGAWEB - Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio. SIGAWEB. Disponível em: <http://www.sigaweb.org/ms/sistema/verMapa.php?urlMapa=http://www.sigaweb.org/siga-web/map_default.phtml?econfig=Marlieme=-58.1685116881068,-24.0685836284435,-50.9229090804468,-17.1663485558938eresetsession=GEOEXT>. Acesso em: ago. 2015.

SILVA, J. S. V.; ABDON M. M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.33, nº especial, p.1703-1711, Brasília, out. 1998.

SILVA M. A. S.; GRIEBELER N. P.; BORGES L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista brasiliense de engenharia agrícola ambiental**, v.18, n.1, p. 38-43, 2014.

SOUZA-SANTOS, M. L.; CHAVEZ, J. V. Preliminary studies on advanced power generation based on combined cycle using a single high-pressure fluidized bed boiler and consuming sugar-cane bagasse. **Fuel**, v. 95, p. 221–225, 2012.

TOLMASQUIM M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**, n. 26, p. 74, 2012.

_____. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear / Mauricio T. Tolmasquim (coord). – **Empresa de Pesquisa Energética, EPE**, p. 417, Rio de Janeiro, 2016.

TURDERA, M. Energy balance, forecasting of bioelectricity generation and greenhouse gas emission balance in the ethanol production at sugarcane mills in the state of Mato Grosso do Sul. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19 p. 582–588, 2013.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEV, A. C. G. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, p. 913 – 933, 2010.

VENTURINI FILHO, W.G.; ADDISON, F. C.; Geração de eletricidade em usina sucro-alcooleira - viabilidade econômica. **Revista do Usineiro**, v. 4, n. 20, p. 8 - 14, São Paulo, set./out., 1990.

ZHANG H.; LI L.; CAO J.; ZHAO M.; WU O. Comparison of renewable energy policy evolution among the BRICs. **Rev. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.15 p. 4904 – 4909, 2011.

ZHOURI, A; OLIVEIRA, R. Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Ambiente e Sociedade**, v. X, n. 2, p. 119-135 dez., 2007.

CAPÍTULO I

Objetivo específico atendido:

Estabelecer e analisar o potencial da produção de energia elétrica originária da cana-de-açúcar do Mato Grosso do Sul.

Corresponde ao primeiro artigo ajustado ao modelo da revista *Biomass and Bioenergy*

POTENCIAL DO SETOR SUCROALCOOLEIRO PARA ATENDER A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA: CASO DO MATO GROSSO DO SUL

Marli da Silva Garcia

Olivier F. Vilpoux

²Ericson Marino

Marney Pascoli Cereda

RESUMO

Este artigo avalia o potencial do Mato Grosso do Sul em atender a demanda com energia elétrica do Brasil e diminuir a dependência nacional com a energia hidráulica, a partir da biomassa cana-de-açúcar. Para isso, além das informações da literatura, dados primários foram obtidos nas 22 unidades sucroalcooleiras ativas, por meio de um roteiro para entrevistas. Os resultados mostraram que o potencial do estado estabelecido apenas tomando a produção média da área plantada de cana-de-açúcar foi de 5.226 GWh, muito próximo da demanda estadual. Para gerar toda essa energia elétrica o estado conta com capacidade instalada de moagem em 22 unidades sucroalcooleiras, capazes de moer 60 milhões de toneladas de cana. Caso todas elas fossem equipadas para gerar e injetar energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN) poderiam gerar 7.200 GWh. Considerando apenas as 12 unidades que comercializaram energia elétrica em 2014/15, o potencial chegaria a 5.550 GWh, quantidade superior ao consumo anual do estado. Entretanto a análise dos dados mostrou que no período analisado apenas 1.820 GWh foram comercializados, mesmo com os preços favoráveis praticados na época. Os cálculos mostram que não houve falta de bagaço, pois considerando apenas o disponível nas 12 unidades que comercializavam energia nesse período, 3.664 GWh poderiam ser gerados, já descontando a energia para o processo e o bagaço armazenado para a partida das caldeiras na próxima safra. Com esse potencial, o bagaço vem se caracterizando como o quarto produto da cana-de-açúcar, pois mesmo as unidades que não dispõem de caldeira de alta pressão poderiam vender esse material para as unidades capazes de gerar energia elétrica excedente, ou para termoelétricas de biomassa. Caso fosse considerado o uso complementar do palhiço como combustível, com recuperação de 50% desse material nas 22 unidades, o potencial alcançaria 13.230 GWh (5.046 GWh do bagaço e 8.184 GWh do palhiço). Entretanto esse potencial ainda depende de tecnologia adequada para recolhimento e transporte do palhiço até a indústria, além de ajuste nas caldeiras para contornar a presença das impurezas que aumentam a abrasão e a corrosão dos equipamentos. O artigo conclui que com a cana-de-açúcar o Mato Grosso do Sul poderia contar com um grande excedente de energia, que poderia diminuir a dependência do Brasil em relação à energia hidráulica, potencial que quando se considera a totalidade da produção de cana-de-açúcar do Brasil é ainda mais importante.

PALAVRAS CHAVE: Energia renovável, Poder calórico, Palhiço, Bagaço, Sustentabilidade.

² Ericson Marino – Engenheiro Agrônomo, ex-diretor do Grupo São Martinho, atualmente é assessor técnico na área de processamento de cana-de-açúcar.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade humana e o crescimento populacional têm estimulado o consumo de energia elétrica, mas também as emissões de gases de efeito estufa e o aquecimento global (POPP, LAKNER, HARANGI-RÁKOS; FÁRI, 2014), que aumentou o interesse por energias renováveis como solar, eólica e biomassa. No Brasil as energias renováveis vêm sendo usadas de forma estratégica para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e consolidar o crescimento econômico (KHATIWADA et al., 2012).

Para Cardoen et al. (2015) a produção de energia elétrica de biomassa é uma realidade que possibilita às culturas energéticas contribuir de forma significativa com a sustentabilidade do planeta. Nakanishi et al. (2014) complementam que entre as biomassas mais utilizadas na cogeração de energia elétrica no Brasil estão o bagaço da cana-de-açúcar, licor negro, restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante e sabugo de milho. Em específico para as unidades sucroalcooleiras, Grisi, Yusta e Dufo-López (2012) lembram que a produção de eletricidade por meio da cogeração é uma alternativa viável, que permite o desenvolvimento local, com energia elétrica menos poluente e retorno econômico.

Segundo os dados da Agencia Nacional de Energia Elétrica / Banco de Informações de Geração (ANEEL/BIG, 2016) em Janeiro de 2016 a matriz energética brasileira compreendia 61% de fonte hídrica, 18% de combustível fóssil e 10% de biomassa, da qual 80% originária da biomassa de cana-de-açúcar.

Costa e Balestieri (1998) conceituam cogeração como a conversão da energia do combustível em energia mecânica, que por sua vez é convertida em energia elétrica por meio de geradores. A utilização combinada de calor e eletricidade proporciona o aproveitamento de mais de 70% da energia térmica potencial da biomassa, com fornecimento de vapor de escape com pressão desejada para o processo de industrialização e geração de energia elétrica. Mesa-Pérez et al. (2013) lembram que a cogeração utiliza o bagaço há muito tempo e mais recentemente incluiu o palhiço da cana. Essa diferença deve-se ao fato destacado por Souza (2012) de que o bagaço vem para a indústria com o colmo, mas o palhiço (palha, folhas verdes e ponteiros), fica no campo e é por isso considerado um combustível complementar.

Castro, Brandão e Dantas (2010) lembram que a utilização de caldeiras de alta pressão e de turbinas a vapor eficientes permite a geração crescente de excedentes de eletricidade. Deshmih et al. (2013) adotaram para uma tonelada de cana-de-açúcar a produção de 120 kWh de energia, mas admitem que essa quantidade pode variar conforme a qualidade do combustível, período da safra, variedade da cana-de-açúcar, solo, tecnologias instaladas nas termoelétricas, como caldeiras e turbinas, etc.

De acordo com Ensinas et al. (2007); Pellegrini e Oliveira Junior (2011) o sistema de cogeração apenas para autossuficiência é de baixa eficiência, utiliza caldeiras de 21 kgf/cm² e 300°C, com turbinas de contrapressão que são responsáveis pelas demandas eletromecânicas industriais. Para produzir energia elétrica excedente, as unidades utilizam caldeiras acima de 42 kgf/cm² e turbinas de extração-condensação. Neste caso o condensador oferece maior flexibilidade, sendo possível produzir energia elétrica na safra e entre safra.

O fator determinante para maior geração de excedente de eletricidade é a configuração adotada pelo sistema de cogeração, que Alves et al. (2015) descrevem como sistema BPST (*Backpressure Steam Turbine*). Esse sistema é projetado para atender as demandas de energia do processo e opera apenas durante a safra de cana-de-açúcar.

No caso de unidades sucroalcooleiras que produzem energia excedente é indicado o sistema BPS-C (*Backpressure steam-turbine system* e *Condensing Extraction Steam Turbine*) com infraestrutura para gerar vapor de alta pressão, energia térmica e elétrica para autossuficiência e excedente para comercializar. Esse sistema opera com caldeiras acima de 67 bar com temperatura de saída do vapor próximo de 540°C. São turbinas de extração-condensação de controle automático e combinação de turbinas a vapor de contrapressão com turbinas de condensação do fluxo axial.

Os sistemas de caldeiras modernas a queima é feita em suspensão, com grelhas rotativas, pin *hole*, basculante ou leito fluidizado, o que permite eficiência de conversão da biomassa. Segundo Bocci et al (2009) as caldeiras com leito fluidizado permitem maior eficiência na conversão, geram mais eletricidade devido à queima mais completa do combustível.

O uso da biomassa cana-de-açúcar é cogitado em todos os países tropicais onde é cultivada. No Brasil, o estado de São Paulo é o maior produtor nacional. Com

mais unidades de transformação industrial, tem concentrado as pesquisas para uso de bagaço e palhiço.

A escolha do Mato Grosso do Sul para avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir da biomassa cana-de-açúcar deveu-se às suas particularidades. Localizado na região centro-oeste, considerada como a nova fronteira de expansão da cultura, com área territorial de 357.124,962 km², população de 2.651.235 habitantes, o que em 2015 equivalia à densidade demográfica estimada em 6,86 hab./km² (IBGE, 2016). Com um forte perfil do agronegócio é o quarto maior produtor brasileiro de cana-de-açúcar, na safra 2014/15 a produção de cana de açúcar foi de 43,55 milhões de toneladas, processadas por 22 unidades sucroalcooleiras e destilarias em atividade. A área cultivada com cana no estado foi de 622 mil hectares, com produção de 70 t/ha (BIOSUL, 2015; CONAB, 2015). Além disso, 15 das unidades sucroalcooleiras foram implantadas a partir de 2005, quando já havia forte incentivo à comercialização de energia elétrica.

Com número pouco representativo de indústrias, o estado consome pouca energia elétrica. De acordo com o Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (BEMS, 2015), a energia elétrica injetada no Sistema Interligado Nacional pelo estado foi de 21.644 GWh em 2014, enquanto que o Relatório Anual de Responsabilidade Socioambiental da distribuidora de energia elétrica Energisa (2015), aponta em 5.159 GWh a energia elétrica distribuída aos consumidores em 2014.

A produção de energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar poderá favorecer o aumento do consumo de energia elétrica no estado, por depender menos das redes de transmissão/distribuição, ainda deficientes, sobretudo na área rural. Portanto essa energia poderia favorecer a classe rural e impulsionar seus investimentos com implantação de culturas irrigadas, além de outras tecnologias que exigem cargas elevadas de energia elétrica.

Entretanto, para avaliar esse efeito é necessário estabelecer o potencial do setor sucroalcooleiro do Mato Grosso do Sul em atender a cogeração de energia elétrica, que foi o objeto do estudo. Para gerar os números para estas análises, estabeleceu-se como meta a safra 2014/2015, período em que a questão do modelo de geração de energia elétrica baseado nas hidroelétricas mostrou toda sua fragilidade, em função da seca.

A relevância da pesquisa se justifica pela importância da energia elétrica para o

desenvolvimento sustentável e pela disponibilidade de biomassa de cana-de-açúcar no estado. Neste caso, o bagaço que garantiu a autossuficiência energética das usinas (MELLO, 2007, PELLEGRINI et al., 2010), mais recentemente passou a ser valorizado na produção de energia elétrica renovável, para atender parte da demanda brasileira, quando o modelo das hidroelétricas deixou de ser confiável.

Quanto ao palhiço, resíduo da colheita mecanizada, é em média, gerado entre 15 e 30% do peso total da cana-de-açúcar (RIPOLI et al., 2004) e umidade de aproximadamente 15% (ALMEIDA, 2009). Apesar da variação em condições do campo, variedade, idade, número de cortes e condições climáticas (2005), poderia ser recolhido e utilizado para cogeração de excedente de energia elétrica (RIPOLI et al., 2004) complementando o bagaço.

O próximo item aborda a metodologia, pois apesar das informações proporcionadas pela literatura, resta estabelecer qual o real potencial do complexo sucroalcooleiro sul-mato-grossense na produção de energia elétrica. No item seguinte procede-se às análises e em seguida o fechamento do artigo, no qual, são abordadas as considerações finais da pesquisa.

METODOLOGIA

O estudo utilizou revisão bibliográfica, coleta de dados em documentos e pesquisa de campo. Foram utilizados dados da CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica, Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Secretaria de Estado de Infraestrutura, entre outros. A relação das unidades sucroalcooleiras existentes no estado foi inicialmente obtida da Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul e da Secretaria de Estado de Infraestrutura, e devidamente conferida uma a uma através de telefone e internet.

Também foram coletados e analisados dados específicos fornecidos diretamente pelas unidades sucroalcooleiras usando roteiro de questões abertas elaborados pelos autores para verificar informações tais como a capacidade instalada das unidades, os produtos gerados (açúcar, etanol e energia elétrica), tipo e características das caldeiras e das turbinas e identificação das unidades que produzem energia elétrica somente para autossuficiência e que comercializam para o Sistema Integrado Nacional, entre outras.

Para obter as informações necessárias para a pesquisa, foi estabelecido inicialmente um roteiro a ser preenchido. Os diretores de todas as unidades em atividade foram contatados por telefone. Na primeira tentativa, apenas 15 respostas foram obtidas e por isso, novas solicitações complementares foram feitas por e-mail. Ao todo as 22 unidades proporcionaram informações, complementadas por contatos telefônicos.

Finalmente, para melhor entender o processo de cogeração e comercialização, foram realizadas visitas em quatro unidades sucroalcooleiras de grupos distintos, entre os que comercializam energia elétrica, com entrevista com o responsável do processo de cogeração.

Para identificar o potencial da produção da energia elétrica, foram realizados cálculos a partir de índices disponíveis na literatura, mas que são inéditos quanto ao uso comparativo:

- **Área plantada de cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul:** o potencial de produção de energia elétrica foi calculado com base na literatura e informações diretas das unidades sucroalcooleiras. Foram analisados dados da produção de cana da safra 2014/2015. Para complementar essas informações, os dados foram comparados com os do relatório da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015) e da Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul (BIOSUL, 2015). Assim obteve-se a área cultivada com cana-de-açúcar para corte e a produção por hectare, as unidades em atividade e quantidade de cana moída. Sobre esses dados utilizou-se a informação de Deshmih et al. (2013) que indica que uma tonelada de cana produz 120 kWh de energia. A adoção dessa quantidade justifica-se por ser utilizado internacionalmente para avaliar projetos de energia por meio da biomassa cana-de-açúcar, o que permite comparar os dados publicados. **Capacidade instalada das unidades sucroalcooleiras:** o potencial de geração de energia elétrica foi estabelecido diretamente nas empresas pela capacidade de moagem instalada em tonelada de cana, assim como as unidades sucroalcooleiras que contavam com infraestrutura e caldeiras para produzir e comercializar energia (Tabela 2). A partir da quantidade de cana passível de ser moída, usou-se o mesmo índice recomendado por Deshmih et al. (2013) de 120 kWh por tonelada de cana-de-açúcar.

- De acordo com Alves et al. (2015), foi possível estabelecer dois grupos para descrever as caldeiras encontradas nas termoelétricas sucroalcooleiras do estado: O sistema BPST (Backpressure Steam Turbine), com uso de turbinas a vapor de contrapressão, projetadas para atender as demandas de energia do processo (açúcar e álcool) e gerar energia térmica e elétrica para consumo próprio durante a safra de cana-de-açúcar. O segundo sistema é o BPSTCEST (**Backpressure Steam Turbine / Condensing Extraction Steam Turbine**) com infraestrutura para gerar vapor de alta pressão, energia térmica e elétrica para alcançar a autossuficiência e comercializar o excedente. As unidades sucroalcooleiras que possuem o conjunto turbogerador, que opera somente com condensação pode gerar energia elétrica durante o período de entre safra. Nestes casos pode haver uma pequena extração para atender ao bombeamento de água de alimentação da (s) caldeira (s) feito por turbo bomba.
- **Quantificação da energia elétrica potencial a partir da biomassa de bagaço e palhiço.** A quantificação do bagaço da cana-de-açúcar foi estabelecida com base na literatura (DESHMIH et al., 2013; SILVA et al., 2014; SOUZA-SANTOS e CHAVEZ, 2012; RIPOLI e RIPOLI, 2008, ALVES et al., 2015, NOGUEIRA e GARCIA, 2013) em 280 Kg de bagaço, com 50% de umidade. Segundo Pelegrini (2011), foi adotada em 5% a reserva de bagaço estabelecida para a partida, parada ou manutenção das unidades sucroalcooleiras.

Para este trabalho o palhiço foi definido como o conjunto da parte aérea dos colmos, folhas verdes e seca (RIPOLI, 2005), calculado média de 310 Kg de palhiço com umidade de 15% por tonelada de cana-de-açúcar, com recolhimento de 50% no campo (ALVES et al., 2015; HASSUANI et al., 2005).

Em relação à geração de energia, adotou-se para o bagaço a 50% de umidade um potencial de 429 kWh por tonelada, enquanto que para o palhiço com 15% de umidade adotou-se em média 880 kWh (DESHMIH et al., 2013).

Calculo da energia elétrica disponível, para ser injetada no SIN: para estabelecer a quantidade de energia disponível para ser comercializada foram usadas as respostas do roteiro aberto aplicados nas unidades sucroalcooleiras do estado. Estabeleceu-se em 30 kWh por tonelada de cana processada a energia necessária para garantir a autossuficiência pelas unidades sucroalcooleiras, valor

esse descontado do potencial calculado e reserva de 5% do bagaço para partida das unidades sucroalcooleiras. O restante de energia foi considerado como passível de comercialização.

O potencial total de energia elétrica do estado foi calculado e a análise dos dados em conjunto permitiu obter as informações consolidadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sequência dos resultados segue as etapas indicadas na Metodologia, com a quantidade de energia elétrica consumida pelo estado, a potencialidade da área plantada de cana-de-açúcar, a capacidade instalada das unidades sucroalcooleiras, que incluiu as usinas de produção com destilarias anexas e as destilarias autônomas, o potencial do bagaço e do palhiço como combustível e, finalmente, quanto esse potencial de energia elétrica poderia atender da energia consumida no período.

A produção de energia elétrica de fontes alternativas vem sendo estimulada pela Lei 10.848 de 15 de março de 2004 (BRASIL, 2004b) que dispõe sobre a comercialização, com objetivo de aumentar a participação de fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). Em especial, a geração obtida da biomassa de cana-de-açúcar é gerida pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)³, descrito no Decreto nº 5.025 de 30 de março de 2004 (BRASIL, 2004a).

Pesquisas sobre produção de energia elétrica para injetar na rede comercial são antigas, como certifica o texto de Ripoli *et. al.* (1991) que afirmavam, na época, que uma opção de curto prazo para produção de energia elétrica seria as usinas de açúcar localizadas próximas às linhas de transmissão, principalmente, em São Paulo, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul. Essa afirmativa, entretanto, depende das necessidades de energia do estado selecionado.

Energia elétrica injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN) e necessidades energéticas do Mato Grosso do Sul no período de 2014/15

³ Fontes alternativas de petróleo são empreendimentos concebidos com base em fontes eólicos, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN)

O perfil da matriz energética do Mato Grosso do Sul (ANEEL/BIG, 2016) é semelhante ao perfil brasileiro, com as hidroelétricas situadas nos limites do estado com São Paulo e Paraná. Conforme o Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (BEMS, 2015) no ano de 2014 as hidrelétricas do estado produziram 15.839 GWh, aproximadamente 73% do total da energia elétrica gerada no período. A Tabela 1 indica a produção das usinas termoelétricas de biomassa do Mato Grosso do Sul no período de 2014/15, com destaque para a energia elétrica produzida e injetada no SIN pelas usinas termoelétricas de biomassa de cana-de-açúcar, com cerca de 80% do total produzido. Os 1.820 GWh gerados a partir da queima do bagaço de cana permitiriam atender cerca de 34% do consumo estadual no período.

Tabela 1 – Energia elétrica produzida pelas usinas termoelétricas de biomassa do Mato Grosso do Sul no período de 2014/15

Empreendimentos	Nº Usinas	Injetada no SIN (GWh)	%
Biomassa cana-de-açúcar	12	1.820	79
Licor negro	02	483	21
Total	14	2.303	100

Fonte: Balanço Energético do Estado de Mato Grosso do Sul (2015).

As unidades sucroalcooleiras estão concentradas na região centro-sul do estado, com 13 das 22 unidades localizadas próximas à Dourados, segundo maior cidade do estado e polo de produção agropecuária. Essa concentração explica-se pelo Mato Grosso do Sul apresentar 64% ou 89.318 km² de seu território ocupado pelo Pantanal (SILVA e ABDON, 1998) onde a implantação de novas unidades é proibida tendo em vista o Decreto nº 6.961 de 17 de setembro de 2009 (BRASIL, 2009), que indica as áreas territoriais com potencial para a produção e expansão da cana.

Em 2014 o consumo *per capita* de energia elétrica do Mato Grosso do Sul foi de 2.028 kWh, configurando em 5.390 GWh o total de energia consumida pelos 2.635 milhões de habitantes (MME/EPE, 2015). A diferença entre a produção e o consumo de energia elétrica caracteriza o Mato Grosso do Sul como um estado exportador de energia para os outros estados da Federação, exportação que se beneficia da produção a partir da biomassa de cana-de-açúcar. Entretanto, não foram encontradas informações sobre qual o potencial de energia elétrica destas unidades sucroalcooleiras, apenas informações sobre o fornecimento de energia.

Potencial de geração de energia elétrica por área plantada com cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul

Na safra 2014-2015 a área cultivada com cana-de-açúcar foi de 622 mil hectares. Com produção de 70 t/ha, de acordo com as usinas, nesta área foram produzidos 43,55 milhões de toneladas de cana processadas pelas 22 unidades sucroalcooleiras em atividade. Considerando-se o índice recomendado por Deshmih et al. (2013) de 120 kWh de energia por tonelada de cana, o cálculo do potencial de energia elétrica foi estimado em 5.226 GWh, muito próximo do total consumido pelo estado no mesmo ano, de 5.390 GWh. Como não fica claro se o valor de conversão adotado por Deshmih et al. (2013) inclui a palha da cana, esta foi analisada separadamente, até porque muitos critérios de seu recolhimento e uso ainda não foram perfeitamente estabelecidos.

Potencial de geração de energia elétrica por capacidade instalada das unidades sucroalcooleiras

A Tabela 2 relaciona as unidades sucroalcooleiras do estado, com sua localização, capacidade instalada, ano de implantação, características da caldeira instalada (alta ou baixa pressão), assim como a energia comercializada no Sistema Interligado Nacional (BIOSUL, 2015).

A capacidade instalada das unidades sucroalcooleiras representa o volume máximo de colmos de cana-de-açúcar possíveis de serem processados, uma vez que para aumentar a moagem seria necessário adquirir novos equipamentos. Os dados apresentados evidenciam que os equipamentos disponíveis (moendas e difusores), poderiam processar até 60 milhões de toneladas de cana por safra, calculados como a somatória das capacidades individuais de cada uma das 22 unidades em atividade. Destas, 12 produzem tanto açúcar como etanol, 10 produzem apenas etanol (destilarias autônomas). No total, 12 declararam exportar energia elétrica para o Sistema Integrado Nacional (BIOSUL, 2015).

É importante destacar que para produzir energia para comercializar são necessários altos investimentos em caldeiras de alta pressão, além de turbinas, rede de transmissão e subestação interna ao parque industrial para nivelar a potencia da energia produzida com a da rede de transporte da energia ate a

subestação de distribuição. No caso da produção de energia somente para autossuficiência também são necessários investimentos em subestação e de rede de ligação com a rede pública através de sistema que permita o funcionamento do sistema elétrico em paralelo com a rede pública. Esta subestação deve ter recursos que permitam também manter a voltagem e a frequência da geração própria equalizadas com a rede pública. Na entressafra esta subestação abastece a usina com energia elétrica comprada para permitir a manutenção das unidades sucroalcooleiras.

Para estabelecer o saldo de energia elétrica potencialmente disponível, foi necessário estabelecer o mínimo de energia elétrica necessária para atender aos processos de fabricação de açúcar e destilação de etanol. As unidades sucroalcooleiras informaram que o consumo médio de energia para autossuficiência é de 30 kWh/tonelada de cana, valor próximo ao citado por Alves et al. (2015) que relataram um consumo de 28 kWh/ tonelada de cana.

A Tabela 2 apresenta as características das unidades sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul, em 2014/2015.

Tabela 2 – Localização, capacidade instalada, ano de instalação, pressão das caldeiras e energia injetada no SIN no ano de 2014, de unidades sucroalcooleiras em atividade no Mato Grosso do Sul na safra de 2014/15.

Unidades sucroalcooleiras	Município	Capacidade instalada (*****)	Ano da instalação	Pressão das caldeiras	Energia injetada no SIN GWh (***)
Alcoolvale S/A (**)	Apar. Taboadão	1.550.000	1991	baixa	0,00
Adecoagro	Ivinhema	6.000.000	2013	alta	88,26
Adecoagro	Angélica	4.000.000	2008	alta	297,80
Agroenergética(**)	Fátima do Sul	1.200.000	2007	baixa	0,00
Bunge/Monte verde (**)	Ponta Porã	1.400.000	2009	alta	57,87
Energética Vicentina (**)	Vicentina	1.000.000	2008	baixa	0,00
Dcoil (**)	Iguatemi	2.200.000	2002	baixa	0,00
Energética Santa Elena (**)	N. Andradina	2.100.000	1982	alta (*)	0,00
IACO (**)	Chap. Sul	3.000.000	2009	alta	47,04
LDC-Bioenergia (Biosev)	Maracaju	2.100.000	1982	baixa	0,00
LDC-Bioenergia (Biosev)	Rio Brilhante	4.500.000	2008	alta	182,08
LDC-Bioenergia (P.T.)	Rio Brilhante	4.000.000	1982	alta (*)	134,41
Odebrecht	Costa Rica	3.800.000	2011	alta	185,36
Odebrecht	Rio Brilhante	6.000.000	2007	alta (*)	57,47
Odebrecht	Nova A. do Sul	2.000.000	2009	alta	295,02
RAÍZEN	Caarapó	2.550.000	2009	alta	122,01
São Fernando	Dourados	4.500.000	2008	alta (****)	259,47
Tonon Bioenergia	Maracaju	2.400.000	2008	alta	93,92
Usina Aurora (**)	Anaurilândia	1.200.000	2009	baixa	0,00
Usina Laguna (**)	Bataiporã	900.000	2009	baixa	0,00
Usina Sonora (**)	Sonora	1.600.000	1997	baixa	0,00
Usinavi	Naviraí	2.000.000	1983	baixa	0,00

Total	60.000.000	1.820
--------------	-------------------	--------------

Legenda: baixa pressão: caldeiras com menor capacidade; alta pressão: caldeiras com maior capacidade.

(*) unidades sucroalcooleiras que foram reformadas para produção de energia; (**) destilarias autônomas; (***) exceto energia comercializada no mercado livre, onde os dados não foram divulgados pela única usina do estado que pratica esse tipo de contrato; (****): duas caldeiras de alta pressão; (*****): capacidade instalada de moagem por dia de 24 h, com três turnos, a duração em dias calendário oscila entre 201 e 220 dias.

Fonte: Autores com dados das unidades sucroalcooleiras; ANEEL, (2016), Balanço energético do Estado de Mato Grosso do Sul - SEINFRA (2015).

A Tabela 2 permite observar que 15 entre as 22 unidades foram implantadas depois de 2005. Destas, apenas três, Usina Agro Energética de Fátima do Sul, Aurora de Anaurilândia e Laguna, de Bataiporã, apresentam menor capacidade instalada e não dispunham de caldeiras de alta pressão.

Três grandes grupos de empresas, LDC Bioenergia, Odebrecht e Adecoagro agregam varias unidades, que juntas já correspondem à capacidade instalada necessária para processar mais de 50% da cana produzida no estado.

O total de energia injetado no SIN variou muito entre as unidades, mesmo entre aquelas que pertenciam a um mesmo grupo. A maior produção de energia individual foi da Adecoagro de Angélica, com 297,80 GWh, seguida pela unidade da Odebrecht de Nova Alvorada do Sul e a São Fernando, de Dourados. As demais estiveram abaixo de 200 GWh. Das destilarias autônomas duas produziram energia elétrica excedente, enquanto que uma passava por reforma para começar a vender energia elétrica na safra 2016-2017.

Os dados mostram também que em quatro unidades estavam sendo feitas modificações, duas delas que ainda não começaram o fornecimento de energia e que, quando funcionando, aumentará para 14 o número de unidades sucroalcooleiras do estado fornecedoras de energia elétrica para o SIN. A LDC-Bioenergia (Biosev) de Maracaju e a Energética Santa Elena de Nova Andradina, ambas instaladas em 1982, foram reformadas e adaptadas para aumentar à capacidade de moagem, a Energética Santa Elena já tinha contrato de venda da energia, mas com carência para início de entrega prevista para 2016.

Em geral os entrevistados das unidades que produzem energia somente para autossuficiência alegaram que as usinas foram construídas com a missão de produzir etanol e ou açúcar. Para vender energia elétrica os investimentos são elevados e o prazo de retorno longo. Outro fator negativo alegado pelos entrevistados foi que nos leilões, os preços para grupos menores não são

competitivos.

De acordo com a BIOSUL (2015) as 12 unidades que produziram e comercializaram excedente de energia elétrica foram projetadas com plantas de cogeração, com flexibilidade para aumentar a capacidade das termoelétricas pela incorporação de mais caldeiras e equipamentos no médio e longo prazo. Essas 12 unidades (Tabela 2) injetaram 1.820 GWh na rede no período analisado segundo a SEINFRA (2015), ou 1.879 GWh, de acordo com a BIOSUL (2015). As discrepâncias entre esses valores podem estar associadas à data da coleta de informação.

Usando-se o índice recomendado por Deshmih et al. (2013) de 120 kWh de energia por tonelada de cana apenas calculada sobre a capacidade instalada de moagem relacionada na Tabela 2, chega-se ao potencial de energia elétrica das 22 unidades caso todas fossem equipadas com caldeiras de alta pressão (Tabela 3). É também indicado o potencial das 12 unidades que comercializaram energia elétrica no SIN, no ano de 2014/15. A quantidade de energia elétrica para garantir a autossuficiência para o processo (30 kWh por tonelada de cana), já foi descontada em todos os casos.

Tabela 3 – Potencial estimado de cogeração de energia elétrica, tendo por base a capacidade instalada de moagem das unidades sucroalcooleiras para processar cana-de-açúcar.

Potencial da capacidade instalada de moagem das 22 unidades sucroalcooleiras ativas		
Potencial da capacidade instalada de moagem de cana-de-açúcar por safra	Toneladas	60.000.000
Energia potencial total gerada (120 kWh/tonelada de cana)	GWh	7.200
Energia necessária para autossuficiências das indústrias (30 kWh /tonelada de cana)	GWh	1.800
Saldo energético potencial para capacidade instalada	GWh	5.400

Potencial da capacidade instalada de moagem das 12 unidades sucroalcooleiras que comercializaram energia elétrica em 2014/15

Potencial da capacidade instalada de moagem de cana-de-açúcar por safra	Toneladas	46.250.000
Energia potencial total gerada (120 kWh/tonelada de cana)	GWh	5.550
Energia necessária para autossuficiências das indústrias (30 kWh /tonelada de cana)	GWh	1.387
Saldo energético potencial para capacidade instalada	GWh	4.163

Fonte: autores com dados da literatura e das unidades sucroalcooleiras

A Tabela 3 mostra que se as 22 unidades sucroalcooleiras moessem cana dentro da capacidade instalada informada na Tabela 3, e estivessem capacitadas para gerar excedentes, este seria de 5.400 GWh, energia elétrica renovável suficiente para tornar o estado autossuficiente.

De acordo com a Associação dos Produtores de Bioenergia Mato Grosso do Sul, na safra 2014-2015 foram processadas 43.550 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que equivale ao uso de 72% da capacidade instalada, ou seja, no Mato

Grosso do Sul a ociosidade das unidades sucroalcooleiras no período chegou a 28% (BIOSUL, 2015). Esse valor encontra apoio nos dados de Milanez et al. (2016) que em análise de 21 dos principais grupos econômicos do setor sucroalcooleiro brasileiro no período de 2012-2015, identificou que a capacidade ociosa era de aproximadamente 23%.

Para alcançar o potencial calculado de 5.400 GWh, seria necessário que todas as unidades do estado fossem equipadas para cogerar e gerar excedente de energia elétrica, o que não ocorre. Ainda assim, quando se toma por base os cálculos da capacidade instalada apenas das 12 unidades sucroalcooleiras que comercializaram energia em 2014/15 (Tabela 3), o potencial de energia elétrica calculado sobre a cana moída alcançaria 4.163 GWh, cerca de 77% do potencial de energia das 22 unidades.

Esse cálculo considera apenas a quantidade que uma unidade sucroalcooleira poderia moer. A literatura apresenta também índices baseados na quantidade de bagaço usado como combustível. Considerando a quantidade de bagaço gerado por tonelada de cana, foi possível estabelecer novamente valores potenciais de geração de energia elétrica baseados nesta biomassa.

Potencial de geração de energia elétrica avaliada a partir do bagaço como resíduo industrial

Em âmbito global, o bagaço é o combustível mais estudado para cogeração nas unidades sucroalcooleiras. Mesmo nas empresas que não vendem energia elétrica e que utilizam caldeiras de baixa pressão, queima do bagaço é suficiente para garantir energia térmica, mecânica e elétrica para autossuficiência da unidade sucroalcooleira.

A Tabela 4 apresenta os valores calculados para estabelecer o potencial do bagaço de cana (50% de umidade), considerando o total das 22 unidades sucroalcooleiras do estado e as 12 unidades que comercializaram energia elétrica excedente em 2014/15.

Tabela 4 – Potencial estimado de cogeração de energia elétrica, tendo por base a quantidade de bagaço possível de ser recuperado a partir da capacidade instalada de moagem das unidades sucroalcooleiras para processar cana-de-açúcar.

Potencial da capacidade instalada das 22 unidades sucroalcooleiras ativas

Potencial da capacidade instalada para processar cana-de-açúcar por safra

Toneladas 60.000.000

Potencial de bagaço com 50% de umidade	Toneladas	16.800.000
Necessidade de bagaço armazenado para dar partida na caldeira após manutenção ou na safra seguinte (5%)	Toneladas	840.000
Potencial de bagaço disponível para cogeração de energia para venda	Toneladas	15.960.000
Potencial de energia elétrica utilizando o bagaço (429 kWh por tonelada de bagaço)	GWh	6.846
Energia necessária para autossuficiências das indústrias (30 kWh /tonelada de cana)	GWh	1.800
Saldo energético potencial de energia elétrica a partir do bagaço	GWh	5.046

Potencial da capacidade instalada das 12 unidades sucroalcooleiras que venderam energia elétrica em 2014/15

Potencial da capacidade instalada para processar cana-de-açúcar por safra	Toneladas	46.250.000
Potencial de bagaço com 50% de umidade	Toneladas	12.950.000
Necessidade de bagaço armazenado para início da caldeira após manutenção ou safra seguinte (5%)	Toneladas	647.500
Potencial de bagaço disponível para cogeração de energia para venda	Toneladas	12.302.500
Potencial de energia elétrica utilizando o bagaço (429 kWh por tonelada de bagaço)	GWh	5.277
Energia necessária para autossuficiências das indústrias (30 kWh /tonelada de cana)	GWh	1.387
Saldo energético potencial de energia elétrica a partir do bagaço	GWh	3.890

Fonte: autor com dados da literatura e das unidades sucroalcooleiras

O bagaço gerado na moagem, estabelecida pela capacidade instalada das 22 unidades em atividade, é estimado em cerca de 17 milhões de toneladas, com 50% de umidade (Tabela 4). Descontada a energia para autossuficiência e o quantidade necessária de bagaço para partida das caldeiras, a energia elétrica gerada poderia chegar a 5.046 GWh, valor próximo dos 5.226 GWh calculados a partir da área plantada de cana no estado (Tabela 3). Ambas as projeções seriam suficientes para atender a atual demanda de energia do estado, mas parte deste potencial depende de implantação de sistemas de vapor de alta pressão e de turbo geradores adequados.

O mesmo cálculo feito apenas para as 12 unidades sucroalcooleiras que comercializaram energia elétrica em 2014/15 alcança 12.302.500 toneladas de bagaço com 50% de umidade, e potencial de gerar 3.890 GWh, valor próximo ao obtido a partir da capacidade instalada (4.163 GWh), como relatado na Tabela 3.

Entretanto a energia elétrica injetada no SIN na safra 2014/15 foi de apenas 1.820 GWh (Tabela 2), de forma que, quando comparado ao estimado na Tabela 4, conclui-se que estas unidades produziram menos que 50% do potencial. Para produzir essa quantidade de energia são necessárias 4.300.000 mil toneladas de bagaço, ou apenas 30% do total gerado no período.

Esta baixa produção ocorreu em um período muito favorável, quando de acordo com informações coletadas em quatro unidades sucroalcooleiras que comercializaram energia elétrica no período de 2014, a energia elétrica foi o produto com maior retorno econômico, se comparada com o açúcar e etanol. Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2015) neste período o preço do MWh no mercado spot chegou ao teto máximo de R\$ 688,88

em 2014, antes de voltar entre R\$ 390 e R\$ 380 no primeiro semestre de 2015, preço superior ao valor dos contratos regulados no mercado de longo prazo e muito atrativo para as empresas. Portanto é difícil relacionar o baixo desempenho das sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul aos preços da energia no período analisado. A falta de bagaço também não é uma razão valida, mesmo se as empresas relataram a necessidade de compra de combustível complementar (cavacos e bagaço de terceiros). Mesmo considerando que as unidades sucroalcooleiras foram construídas com o objetivo de produzir açúcar, etanol ou ambos, para a geração de energia elétrica excedente, é indicado uso de caldeiras acima de 65 bar, turbinas de contrapressão e condensação para melhor aproveitamento do vapor, o que nem todas as unidades possuíam. Ainda assim esses fatos não explicam a baixa produção de energia. O mais plausível é a junção dos fatos já relatados, associados à gestão ineficiente do complexo sucroalcooleiro do Mato Grosso do Sul.

A quantidade de bagaço gerado durante a moagem da cana no Mato Grosso do Sul na safra 2014/15, poderia ter contribuído de forma efetiva para atender a demanda de energia elétrica do estado. Além disso, não considerou o combustível potencial, gerado no campo pós-colheita da cana-de-açúcar crua, conhecido como palhiço.

Potencial de geração de energia elétrica avaliada pelo palhiço como resíduo de campo

Quando se calcula o potencial de um combustível, o que define a quantidade de energia elétrica gerada é o poder calorífico, considerando também a umidade contida. O bagaço apresenta umidade sempre ao redor de 50%, uma vez que as condições em que o caldo é extraído são padronizadas. O palhiço contém quantidades variáveis de restos foliares e bainha e, dependendo da secagem ou não no campo, apresenta umidade variável.

Para Ripoli (1991) o Poder Calorífico Superior do bagaço está próximo de 4.378 kcal/kg, enquanto que o do palhiço (RIPOLI, 2005) é bastante próximo, com 4.707 kcal/kg. Assim, quando os dois combustíveis apresentam a mesma umidade ~~elos~~ possuem poder calorífico semelhantes e equivalente ao da madeira de eucalipto, como citado por Quirino et al. (2005), que é de 4.760 kcal/kg.

Apesar do potencial que apresenta o palhiço como um combustível

complementar ao bagaço, seu uso em cogeração/geração ainda apresenta uma série de dificuldades entre as quais o recolhimento no campo, o transporte até a indústria e sua distribuição na esteira que vai até a caldeira.

Um sistema de recolhimento permite a recuperação do palhiço no campo em fardos com dimensões variadas, dependendo do tipo de enfardadora, do modelo e projeto do fabricante do implemento agrícola. Os fardos são transportados para a até a indústria por caminhões.

Outro sistema de recolhimento ocorre junto com o transporte dos colmos na indústria. Segundo Michelazzo e Braunbeck (2008), neste caso as colhedoras trabalham com os extratores operando com rotação reduzida dos ventiladores, rejeitando uma quantidade menor de palhiço. Depois, o palhiço misturado à cana é transportado até a usina, onde é feita a separação das impurezas vegetais e minerais pelo Sistema de Limpeza de Cana a Seco (SLCS). O palhiço separado é picado e misturado ao bagaço e juntos, na mesma esteira, são encaminhados para as caldeiras ou estocados.

Para estabelecer o potencial em geração de energia elétrica do palhiço, o correto seria avaliar sobre a área plantada, porque esse é um resíduo que fica no campo após a colheita. A colheita mecanizada da cana sem queima disponibilizou esse novo produto, pois na colheita manual a palha era queimada para facilitar o corte dos colmos.

A estimativa do potencial desse novo material, baseada na área plantada de cana-de-açúcar, está relacionada na Tabela 5. Foi também selecionada outra estimativa, considerada mais realista pelos autores. Essa estimativa foi calculada a partir da capacidade instalada de moagem das unidades do estado, conforme dados da Tabela 2.

Tabela 5 - Potencial estimado de cogeração de energia elétrica, tendo por base a área plantada e a capacidade instalada.

Potencial da capacidade instalada das 22 unidades sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul

Estimativa a partir da área plantada		
Estimativa de colheita da área plantada do estado no período estudado	Hectares	622.000
Produção de colmos nesta área	Toneladas	43.550.000
Potencial de palhiço com 15% de umidade (310 Kg/tonelada de cana)	Toneladas	13.500.500
Potencial de palhiço recolhido considerando 50% do disponível no campo	Toneladas	6.750.250
Potencial de energia elétrica utilizando o palhiço (880 kWh /tonelada de cana)	GWh	5.940
Estimativa a partir da capacidade instalada das unidades		
Potencial da capacidade instalada para processar cana-de-açúcar por safra	Toneladas	60.000.000
Palhiço total com 15% de umidade (310 Kg /tonelada de cana)	Toneladas	18.600.000
Potencial de palhiço recolhido considerando 50% do disponível no campo	Toneladas	9.300.000
Potencial de energia elétrica utilizando o palhiço (880 kWh /tonelada de cana)	GWh	8.184

Fonte: autores com dados da literatura e das unidades sucroalcooleiras

Obs. não há necessidade de descontar a energia para o autoconsumo, pois o palhiço é um combustível complementar ao bagaço, e o desconto foi feito no cálculo de energia na queima do bagaço.

Os valores apresentados na Tabela 5, com base em dados de produção retirados da literatura, estimam o potencial energético do palhiço, adicional ao bagaço, em 5.940 GWh, que é maior que o potencial do bagaço. Essa quantidade de energia explica-se pelo baixo teor de umidade do palhiço que permite um valor energético maior. O mesmo potencial, se calculado pela capacidade instada do complexo sucroalcooleiro, aumenta a estimativa para 8.184 GWh.

O potencial energético do palhiço deve ser considerado com ressalvas, pois as caldeiras hoje disponíveis nas unidades sucroalcooleiras do estado não permitem queimar uma mistura com mais de 30% do peso do bagaço, em razão das impurezas minerais do combustível. De acordo com Carvalho et al. (2014), o palhiço contém 62,3% mais sílica que o bagaço. Portanto, a possibilidade de utilizar todo o potencial da energia elétrica baseada no uso do palhiço como combustível necessita ainda de ajustes de caldeiras.

Apesar dos estudos, ainda não foi possível estabelecer o melhor sistema de recolhimento de palhiço no campo, pois vários fatores precisam ser considerados na avaliação da viabilidade econômica. Como há dificuldades e custo para trazer o palhiço, seu uso, embora aumente em muito a energia disponível, depende da falta de bagaço nas unidades que comercializam energia, pois esse sempre será o combustível de menor custo. A safra bem conduzida no Centro-Sul do país começa em meados de abril e termina em meados de novembro, sendo que dependendo dos dias em que exatamente a safra começa e termina nestes meses considerados, a duração em dias calendário oscila entre 201 e 220 dias. Havendo disponibilidade de combustível, a produção de energia pode ocorrer na entressafra independente do processo industrial, desde que tenha estoque de bagaço, palhiço ou outra biomassa que seja compatível com as caldeiras.

Outro aspecto importante é que a biomassa, mesmo sendo renovável, continua gerando gases durante a queima que ocorre nas usinas termoelétricas em geral, embora os particulados sejam removidos nas chaminés com uso de filtros e pela lavagem dos gases com água conforme exigências dos órgãos reguladores do meio ambiente.

CONCLUSÕES

Nas condições em que a análise foi realizada e levando em consideração as características do Mato Grosso do Sul, sua área territorial, baixa densidade demográfica, baixo índice de industrialização e vocação para o agronegócio, na safra de 2014-2015 foi possível concluir que a biomassa da cana de açúcar tem potencial para garantir energia elétrica equivalente ao consumo anual do estado, que foi de 5.390 GWh, contribuindo para o abastecimento no SIN e a reduzir a dependência do país da energia hidráulica.

Essa conclusão baseou-se nos seguintes resultados:

- Potencial de energia elétrica relativa à área plantada de cana de 622 mil hectares, com valor estimado em 5.226 GWh. A consideração do plantio nacional, de aproximadamente nove milhões de hectares na safra 2014/15, indica o potencial total do Brasil;
- Potencial de energia elétrica relativa à capacidade instalada das 12 unidades sucroalcooleiras dotadas de caldeiras de alta pressão com valor estimado em 4.163 GWh. Caso a capacidade ociosa seja contornada esse valor poderia ser ainda maior;
- Potencial de energia elétrica da capacidade instalada, apenas relativa à quantidade de bagaço com 50% de umidade passível de ser obtido nas 12 unidades sucroalcooleiras que dispõem de caldeiras de alta pressão. Esse potencial seria equivalente a um saldo de 3.890 GWh. Entretanto essas unidades conseguiram comercializar na safra 2014/15 somente 1.820 GWh injetados no SIN;
- Caso o potencial da capacidade instalada das 22 unidades sucroalcooleiras fosse considerado, poderiam ser produzidas 15.960.000 toneladas de bagaço que, mesmo não sendo usadas para gerar energia elétrica excedente, poderiam ser vendidas como combustível para as termoelétricas do estado. Só esse potencial alcaçaria 5.046 GWh, valor muito próximo da energia consumida pelo estado no mesmo período;
- Finalmente considerou-se o potencial representado pelo palhiço, que embora ainda com problemas no recolhimento e transporte, e dependente de caldeiras

adequadas, poderia contribuir com cerca de nove milhões de toneladas de combustível para complementar a energia gerada pelo bagaço.

Quanto ao palhiço, representa um material com grande potencial, que pode completar o uso do bagaço, caso este não seja suficiente.

Com as análises realizadas, conclui-se que a biomassa cana-de-açúcar não só tem potencialidade para tornar o estado autossuficiente, mas também de ser um produtor de energia elétrica renovável, que apresenta a vantagem de ser uma fonte de energia sustentável, como terceiro produto do setor canavieiro. A energia da cana-de-açúcar pode complementar a matriz energética no período mais seco, quando é realizada a colheita e a cogeração. Atende também à diversificação da matriz energética brasileira baseada em fontes hídricas, que se mostrou suscetível à falta de chuvas.

REFERENCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO – ANEEL/BIG. **Capacidade de geração**. Brasília, 2016.

ALMEIDA, M. **Utilização do palhiço da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira**. Piracicaba, SP, 2009. Disponível em:< http://www.piracicabaengenharia.com.br/us/artigos_full.asp?nID=355>. Acesso em: jan., 2016.

ALVES, M.; PONCE, G. H. S. F., SILVA, M. A.; ENSINAS A. V. Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. **Energy**, v. 91, p. 751 e 757, 2015.

BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL - BEMS 2015. Disponível em: < http://www.servicos.ms.gov.br/extranet-seinfra/docs/GDE-MS/01-BEMS_2015_FINAL.pdf>. Acesso em: ago., 2016.

BIOSUL – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA DO MATO GROSSO DO SUL. **Resultados da safra 2014/15**, Campo Grande, MS, 2015.

BOCCI, E.; DI CARLO, A.; MARCELO, D. Power plant perspectives for sugarcane mills. **Energy**, v.34 p. 689-698, 2009

BRASIL - Decreto nº 5.025 de 30 de março de 2004. Regulamenta o inciso I e os §§ 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFRA, primeira etapa, e dá outras providências. Presidente da República, Brasília, 2004a.

_____. Lei Nº 10.848 de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n.º 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Presidência da República, Brasília, 2004b.

_____. Decreto nº 6.961 de 17 de setembro de 2009. Aprova o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar e determina ao Conselho Monetário Nacional o estabelecimento de normas para as operações de financiamento ao setor sucroalcooleiro, nos termos do zoneamento. Presidente da República, Brasília, 2009

CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **InfoPLD**, n. 190, mai., 2015.

CARDOEN, D; JOSHI, P.; DIELS L.; SARMAC, P., M.; PANT, D. Agriculture biomass in India: Part 2. Post-harvest losses, cost and environmental impacts. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, p. 143-153, 2015.

CARVALHO, D. M.; PEREZ, A.; GARCIA, J. C.; COLODETTE, J.L.; LÓPEZ, F.;

DIAZ, M. J. Ethanol-soda pulping of sugarcane bagasse and straw. **Cellulose chemistry and technology**, v. 48, p. 355-364, 2014.

CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. A. A bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. Coordenação e organização Eduardo L. Leão de Souza e Isaías de Carvalho Macedo. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, p. 144 a 147, 2010.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**. Brasília, abr. 2015.

COSTA, M. H. A.; BAlestieri, J. A. P. **Viabilidade de sistemas de cogeração em indústria química**. In: Congresso brasileiro de engenharia e ciências térmicas, v. 1, p. 358-363, 1998, Rio de Janeiro.

DESHMIH,R.; JACOBSON,A.; CHAMBERLIN,C.; KAMMEN,D. Thermal gasification or direct combustion. Comparison of advanced cogeneration system in sugar cane industry. **Biomass and Bioenergy**, v.5, n.5, p.163-174, 2013.

ENERGISA – RELATÓRIO ANUAL DE RESPONSABILIDADE SOCIOAMBIENTAL 2014. Mato Grosso do Sul, 2015.

ENSINAS, A. V.; NEBRA, S. A.; LOZANO, M. A.; SERRA, L. M. Analysis of process steam demand reduction and electricity generation in sugar and ethanol production from sugar cane. **Energy Conversion and Management**, v. 48, p. 2978–2987, 2007.

GARCIA, M. S.; VILPOUX, O. F.; CEREDA, M. P. Arranjos institucionais do setor sucroalcooleiro no Mato Grosso do Sul. Em redação, 2016.

GRISI, E. F.; YUSTA, J. M.; DUFO-LÓPEZ, R. Opportunity costs for bioelectricity sales in Brazilian sucro-energetic industries. **Applied Energy**, v. 92, p. 860 – 867, 2012.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: **PNUD Brasil**, Centro de Tecnologia Canavieira, p. 216, 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mato Grosso do Sul. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ms>>. Acesso em: Jan. 2016.

KHATIWADA D.; SEABRA J.; SILVEIRA S.; WALTER A. Power generation from sugar cane biomass. A complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil. **Rev. Energy**, v. 48, p. 241-254, 2012.

MELLO, J. C. O. **Geração de eletricidade a partir de biomassa e biogás**. Minuta do Termo de Referência (TR-8). São Paulo: ANDRADE e CANELLAS Consultoria e Engenharia 2007.

MESA-PÉREZ, J. M.; ROCHA, J. D.; BARBOSA-CORTEZ, L. G.; PENEDO-MEDINAD, M.; LUENGO, C. A.; CASCAROSA, E. Fast oxidative pyrolysis of sugar cane straw in a fluidized bed reactor. **Applied Thermal Engineering**, v. 56, p.167e175, 2013.

MICHELAZZO M. B. E BRAUNBECK O. A. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhço na colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 546 – 552, 2008.

MILANEZ, A. Y.; NYKO D.; GARCIA, J. L. F.; REIS, B. L. S. F. S. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial**, v. 35, p. 277 – 302, Brasília, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – MME/EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 – ano base 2014. Consumo na rede. População, consumo e consumo per capita. Rio de Janeiro, set., 2015.

NAKANISHI E. Y.; VILLAR-COCIÑAB E.; SANTOS S. F.; RODRIGUES M. S.; PINTO P. S.; Savastano Junior, H. Tratamentos térmico e químico para remoção de óxidos alcalinos de cinzas de capim elefante. **Química Nova**, v. 37, n. 5, p. 766 - 769, 2014.

NOGUEIRA M. A. F. S; GARCIA M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brilhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 17, p. 3275 – 3283, dez. 2013.

PELLEGRINI, L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, S. Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoconomic and environmental analysis and optimization. **Energy**, n. 36 , p. 3704 e 3715, 2011.

PELLEGRINI, L. F.; OLIVEIRA JÚNIOR, S.; BURBANO J. C. Supercritical steam cycles and biomass integrated gasification combined cycles for sugarcane mills. **Energy**, n. 35, p. 1172 -1180, 2010.

POPP J.; LAKNER Z.; HARANGI-RÁKOS M.; FÁRI M. The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 559–578, 2014.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, nº 89, p.100-106, abr. 2005.

RIPOLI T. C. C; RIPOLI, M. L. C. Vantagens do uso do palhço para queima e produção de vapor. **Revista visão agrícola**, n. 8, jan./jun., 2008.

RIPOLI T. C.; MOLINA JUNIOR, W. F. Cultura Canavieira: um desperdício energético. **Maquinária Agricola**, nº 1, ano 6, Jan., 1991.

RIPOLI, M.L.C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-**

açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos. 235 f. 2005. Tese, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2005.

RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T. C.; RIPOLI, T. C. Palhiço de cana, fonte de energia renovável. **Visão agrícola**, nº 1, jan., jun., 2004.

RIPOLI, T. C.; MOLINA JUNIOR, W. F.; NOGUEIRA, M. C.; SACCOMANO, J. B. Potencial energético de resíduos de cosecha de la caña verde. **STAB**, v.10, n. 1, set., out., 1991.

SEINFRA - SECRETÁRIO DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA. Balanço energético do estado de Mato Grosso do Sul 2015: Ano base 2014. Coordenadoria de Energia – CDE. Campo Grande, MS, 2015.

SILVA, J. S. V.; ABDON M. M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.33, nº especial, p.1703-1711, Brasília, out. 1998.

SOUZA Z. J. Bioeletricidade: o que falta para esta alternativa energética deslanchar. **Revista Mercado Empresarial**, nº 41, São Paulo, 2012.

SOUZA-SANTOS, M. L.; CHAVEZ, J. V. Preliminary studies on advanced power generation based on combined cycle using a single high-pressure fluidized bed boiler and consuming sugar-cane bagasse. **Fuel**, v. 95, p. 221–225, 2012.

CAPÍTULO II

Objetivo específico atendido:

Caracterizar a matriz energética do Mato Grosso do Sul e analisar o potencial de uso da energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar na irrigação de cultivos agrícolas, a partir da Geração Distribuída (GD).

Corresponde ao segundo artigo que será ajustado ao modelo da revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

USO DA ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL DA CANA-DE-AÇÚCAR NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA NO CENTRO-OESTE DO BRASIL

Marli S. Garcia
Olivier F. Vilpoux
Marney P. Cereda

Resumo

O Mato Grosso do Sul tem baixa densidade populacional e está distante dos principais centros de consumo de energia elétrica, o que encarece os custos da transmissão. Por outro lado, o agronegócio representa 14% do PIB do estado e a cana-de-açúcar é importante para o desenvolvimento socioeconômico do estado, com produção de etanol, açúcar e energia elétrica. Na região da grande Dourados, no centro-Sul do estado, concentram-se unidades sucroalcooleiras e cultivos como soja e milho, destaques do agronegócio do estado. Neste caso, a disponibilidade de energia renovável próxima do consumo reduz custos com construção de redes de alta tensão e com a transmissão, o que poderia ser um diferencial para os produtores rurais sul-mato-grossense. A pesquisa teve por objetivo identificar a possibilidade de uso dessa energia para irrigar as culturas de soja e milho nas regiões próximas as unidades sucroalcooleiras. Para isso foram entrevistados especialistas da área, todas as empresas geradoras de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar e produtores que utilizam irrigação em sistema de pivô central. A prática da agricultura irrigada de milho pode aumentar a produção em 2,7 vezes em relação à agricultura tradicional de sequeiro. Neste sentido, o uso da energia elétrica na irrigação reduziria a dependência das condições climáticas, além de permitir a introdução de uma terceira cultura anual, principalmente o feijão. Entretanto, no período em que a pesquisa foi desenvolvida, os resultados mostraram que a venda direta da energia de biomassa de cana para irrigação era inviabilizada pelos subsídios recebidos pelos produtores, para a energia elétrica adquirida da concessionaria. Para viabilizar o uso de energia da biomassa da cana-de-açúcar na irrigação de áreas próximas seria necessário que a energia proveniente dessa matéria-prima pudesse ser enquadrada como Geração Distribuída, o que reduziria os custos de distribuição. Essa medida dependeria de melhor integração entre as três esferas de Governo (Federal, Estadual e Municipal), além de repensar os subsídios existentes, que não consideram o custo e a origem da energia.

Palavras chave: Agronegócio, Unidades Sucroalcooleiras, Cana-de-açúcar, Geração distribuída, Soja, Milho.

1. INTRODUÇÃO

No inicio do novo milênio é possível destacar três grandes orientações para a humanidade, o uso sustentável dos recursos naturais, a produção de energia renovável e a globalização da economia. A necessidade do uso sustentável dos recursos naturais é melhor percebida pela população em razão da ampla divulgação do efeito estufa, ligado diretamente ao aquecimento global e associado à geração de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis não renováveis (VICHI; MANSOR, 2009). Com o crescimento populacional e econômico, a energia ocupa cada vez mais papel de destaque, em razão da demanda crescente. O atendimento dessa demanda relaciona-se com a preocupação com o meio ambiente, com a necessidade de usar mecanismos de desenvolvimento limpo e, assim, proporcionar desempenhos econômicos, sociais, tecnológicos e ambientais sustentáveis (ZHOU, LI, HUANGA, ZHOU, 2013).

A *International Energy Agency / International Energy Outlook* (IEA/IEO, 2013b) projeta para as próximas décadas os combustíveis fósseis ainda como a principal fonte de energia mundial, seguidos pelos combustíveis obtidos a partir de fontes renováveis, que deverão conhecer um crescimento anual de 2,5%, embora com fornecimento de menos de 25% das necessidades globais até 2040. A mesma fonte relata que, com o PIB mundial aumentando em 3,6% ao ano, a produção mundial de energia deverá crescer 56% entre 2010 e 2040 para atender ao aumento de consumo apenas da China e da Índia.

Dentre as opções possíveis, o gás natural representa o combustível fóssil com maior perspectiva de crescimento. A exploração do gás e do petróleo de xisto nos Estados Unidos permitiu baixar os preços destes combustíveis. Mesmo assim, o carvão mineral, fonte de energia mais poluente, deverá crescer mais rapidamente do que o petróleo. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2013a), o aumento do consumo de carvão pela China e o crescimento mais lento da demanda por petróleo pelos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são algumas das explicações para esse crescimento.

Frente às previsões de crescimento do consumo mundial de energia, principalmente nos países em desenvolvimento, e os problemas de mudança climática, a presença

de alternativas econômicas para a produção de energia passa a ter uma importância cada vez maior.

A cana-de-açúcar é uma opção de produção de energia renovável. Trata-se de um dos principais cultivos do agronegócio brasileiro, de comprovada importância para a economia do país. De acordo com a Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2013), a economia brasileira depende largamente do agronegócio, que participa em 22,80% do PIB nacional e contribui de modo significativo para a geração de renda, empregos, impostos e exportações. As pressões da sociedade nos países desenvolvidos têm contribuído em melhorar a sustentabilidade do agronegócio, com preocupações crescentes em relação ao uso dos recursos naturais (CLAUDINO; TALAMINI, 2013).

No caso específico do processamento da cana-de-açúcar essas pressões contribuíram para que os resíduos gerados fossem incorporados ao processo de produção, não apenas para reduzir os custos de produção, mas também os custos ambientais e energéticos (BOCCI et al., 2009).

Nesse cenário, o Mato Grosso do Sul é o quarto maior produtor nacional de cana-de-açúcar e conta com 22 sucroalcooleiras em atividade em 2016. Apesar de representar apenas 7,1% da produção nacional de cana-de-açúcar e 7,4% da área total, é o estado que conheceu a maior expansão dessa cultura entre 2005 e 2015. A área plantada na safra 2005/2006 foi de 139 mil hectares e de 597 mil hectares na safra 2015/16, um aumento de mais de 420% (CONAB, 2016).

As unidades sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul na safra 2014/2015 contribuíram bastante para a produção de bioenergia, com 74,72% da matéria-prima processada destinada ao etanol, contra uma média nacional de 57%, o resto sendo destinada a produção de açúcar (CONAB, 2015b). Além do etanol, essas indústrias possuem outro grande potencial na geração de energia renovável. Elas utilizam bagaço e palhiço para geração de energia mecânica, depois convertida em elétrica, o que permite a autossuficiência dos empreendimentos (COSTA, 2010). Desde o inicio dos anos 2000 cresce o aproveitamento desses resíduos para fornecer energia elétrica limpa e renovável na matriz energética brasileira. A produção de energia elétrica com biomassa já responde por quase 9% da matriz energética brasileira, liderada pela biomassa de cana-de-açúcar (ANEEL/BIG, 2016).

A cana-de-açúcar não é a única atividade agrícola que forma a base da economia do Mato Grosso do Sul. O estado se destaca também pelas produções de soja, milho,

celulose e pecuária de corte. De acordo com Hirakuri e Lazzarotto (2014) o Mato Grosso do Sul é o 5º maior produtor de soja, atividade econômica que mais cresceu nas últimas décadas. A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015a) destaca Mato Grosso do Sul como o 3º maior produtor de milho do país, a quase totalidade dessa produção cultivada como segunda cultura anual, em sequencia à soja.

A produção da cultura de milho em segunda safra depende muito das condições climáticas, pois o final do ciclo de crescimento do cultivo coincide com o começo do período de seca. Assim, a irrigação com pivôs centrais seria um modo eficaz de assegurar e elevar os rendimentos e diminuir os riscos de perda em função da falta de chuva. A irrigação permitiria também a produção de uma terceira cultura no ano, principalmente feijão.

No entanto, a irrigação no Mato Grosso do Sul ainda é pouco praticada e atinge menos de 1% das áreas de grãos do estado segundo o Plano de Irrigação nas Bacias Hidrográficas do Mato Grosso do Sul (PIBH-MS, 2013). A agua é abundante e não constitui um problema para a implantação de sistemas de irrigação. Os principais impedimentos são o licenciamento ambiental e o preço da energia (PIBH/MS, 2013). Para Albuquerque (2010) o custo com energia pode variar, mas em geral permanece em torno de 10% do custo total da produção.

Esses aspectos levam ao questionamento sobre a possibilidade do estado do Mato Grosso do Sul aproveitar a biomassa da cana-de-açúcar para fornecer uma energia mais barata para o uso na irrigação das grandes plantações de soja e milho.

Essa questão justifica o objetivo da pesquisa, que é de identificar a produção de energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul e de analisar a possibilidade de seu uso na irrigação das culturas de soja e de milho.

O próximo Item aborda a matriz energética brasileira, seguido pela atividade de irrigação na agricultura e a metodologia adotada na pesquisa. No fechamento do artigo são discutidos os resultados e as considerações finais da pesquisa, onde são identificadas as oportunidades de ação e as limitações do estudo.

2. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A sustentabilidade econômica de um país esta relacionada com a capacidade de prover logística e energia para o desenvolvimento de sua produção, com segurança, em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis (TOLMASQUIM, 2012).

De acordo com Araújo e Góes (2009) a energia elétrica brasileira apresenta um perfil específico que a destaca em relação ao restante do mundo, que é a exploração de diversas fontes renováveis de energia, entre as quais a hidroelétrica, eólica e biomassa. A maior parte da energia elétrica é gerada por recursos renováveis, dos quais as hidroelétricas são as maiores fornecedoras.

A diversificação da matriz energética é estratégica, uma vez que amortece as crises de fornecimento e a dependência com outros países. A geração de energia em uma região específica depende da infraestrutura de produção, transporte, armazenamento e distribuição, bem como das fontes de energia, como petróleo, gás natural, fluxos de rios, entre outros fatores (PEROBELLI; OLIVEIRA, 2013).

A seca que castigou o Sudeste do Brasil entre 2013 e inicio de 2015, reforça a necessidade de diversificação da matriz energética. Um país como o Brasil não pode depender essencialmente do regime de chuvas para seu fornecimento em energia, razão pela qual deve se preparar para crescer sem depender do clima, mas também sem comprometer seu meio ambiente. Para atender essas premissas, a biomassa cana-de-açúcar tem complementado a matriz energética do país com energia renovável.

Em julho de 2016, a matriz energética brasileira contava com 4.542 empreendimentos em operação, totalizando 145 milhões de kW de potência instalada, conforme dados do Banco de Informações de Geração da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL/BIG, 2016). Os empreendimentos em operação em 2016 no Brasil são apresentados na Tabela 01, de acordo com a capacidade instalada⁴ e as fontes energéticas exploradas.

Tabela 01 - Empreendimentos geradores de energia elétrica em operação no Brasil, em 2016.

Tipo	Capacidade instalada		
	Nº de usinas	(kW)	%
Hidroelétrica	219	101.062.897	60,94
Gás	Natural	12.170.186	9,02
	Processo	39	1.725.423
Petróleo	Óleo diesel	1.114	3.524.171
	Óleo residual	34	4.149.613
Biomassa	Bagaço de cana	378	9.339.426
	Licor negro	16	1.530.182
	Madeira	50	427.635

⁴ Capacidade máxima de produção de uma usina

	Biogás	23	80.659	0,06
	Casca de arroz	09	36.433	0,03
Nuclear		02	1.990.000	1,48
Carvão Mineral		13	3.389.465	2,51
Eólica		110	2.272.773	1,68
Fotovoltaica		59	5.926	0,00
	Importações			
Paraguai			5.650.000	4,19
Argentina			2.250.000	1,67
Venezuela			200.000	0,15
Uruguai			70.000	0,05
Total		3.055	134.908.597	100

Fonte: ANEEL/BIG (2016).

Em 2016, as hidroelétricas representavam 60,94% da capacidade instalada, seguidas pelas termoelétricas a gás natural, que foram instaladas com o objetivo de suprir a demanda de energia elétrica na época de estresse hídrico.

A energia gerada com biomassa da cana-de-açúcar é a fonte de energia renovável mais significativa depois das hidroelétricas, com a vantagem de gerar energia em períodos de seca, quando os reservatórios estão baixos. Entretanto, a participação dessa fonte na matriz energética brasileira era de apenas 6,92% em 2016. Outras biomassas apresentam contribuição ainda menor, como o licor negro, resíduo gerado nas indústrias de polpa de celulose, com 1,4% do total da biomassa em 2016. É importante destacar que a queima de biomassas no Brasil está relacionada com a cogeração pelas indústrias, principalmente para consumo próprio.

Os valores relacionados na Tabela 01 como “importações dos países vizinhos” constituem um artifício de cálculo. No caso do Paraguai, a parcela não consumida da energia gerada pela hidroelétrica de Itaipu e que pertence a este país é comprada de volta pelo Brasil. O mesmo ocorre com a parcela da Argentina.

A Tabela 02 indica os empreendimentos explorados no Brasil, no ano de 2016, por quantidade de potência outorgada e fiscalizada. A potência de energia produzida foi sempre menor que a outorgada⁵, a não ser para as Centrais Geradoras Hidroelétricas (CGH).

Tabela 02 - Empreendimentos em operação, potência outorgada e produzida (kW) no Brasil, em julho de 2016.

Nº de	Potência (kW)
--------------	----------------------

⁵ Potência Outorgada corresponde à autorizada.

Fonte energética	Usinas	Outorgada	Produzida	(%)
Central Geradora Hidroelétrica ⁶	555	427.502	429.405	0,30
Eólica	376	9.249.408	9.188.230	6,34
Pequena Central Hidroelétrica ⁷	450	4.857.782	4.837.143	3,34
Central Geradora Fotovoltaica	39	26.952	22.952	0,02
Usina Hidroelétrica	219	101.062.897	88.351.064	60,94
Usina Termelétrica	2.901	41.910.781	40.165.419	27,7
Usina Termonuclear	02	1.990.000	1.990.000	1,37
TOTAL	4.542	159.525.322	144.984.213	100,00

Fonte: ANEEL/BIG (2016).

O programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica foi criado em 2002 e passou a funcionar em 2004 com o objetivo de aumentar e diversificar as fontes de geração no Sistema Interligado Nacional (SIN). Em sua primeira fase, o programa fomentou as fontes eólicas, de biomassa e as pequenas centrais hidroelétricas, de modo a gerar ganhos de escala e aprendizagem tecnológica, ampliar a competitividade industrial do setor e, sobretudo, identificar e apropriar-se dos benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos de projetos de geração a partir dessas fontes (SANT'ANNA, 2012).

2.1 Características do setor elétrico brasileiro

O setor elétrico brasileiro é regulado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica que fiscaliza a geração, transmissão e distribuição de energia, em conformidade com a legislação e as políticas ditadas pelo Governo Federal. De acordo com a ANEEL (2005), estão sob sua responsabilidade os agentes do setor de energia elétrica que estão divididos entre:

1. Produtores independentes de energia elétrica: recebem concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco;
2. Autoprodutores de energia elétrica: pessoas físicas, jurídicas ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo;

⁶ Uma Central Geradora Hidroelétrica (CGH) caracteriza-se por potencial hidráulico igual ou inferior a 1 MW (um megawatt). Normalmente corresponde a uma barragem de desvio em rio com acidente natural que impede a subida de peixes.

⁷ Pequena Central Hidroelétrica (PCH) é toda usina hidroelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1MW, mas inferior a 30MW e cuja área do reservatório não seja maior que 3 km².

3. Comercializadores: pessoas jurídicas especialmente constituídas para exercer a atividade de comercialização, que compreende a compra e a venda de energia elétrica;
4. Concessionárias de Serviço Público: Agentes Titulares de Serviço Público Federal que exploram e prestam serviços públicos de energia elétrica;
5. Consumidores.

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE, 2015) no Brasil as linhas de transmissão são classificadas de acordo com o nível de tensão de sua operação, mensurado em quilo Volt (kV - milhares de Volts). Para cada faixa de tensão, existe um código que representa todo um conjunto de linhas de transmissão de mesma classe. São eles: A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV, A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV e A3 – tensão de fornecimento de 69 kV

Em termos organizacionais, a classe A1 é representativa do sistema de transmissão interligado, ou Sistema Interligado Nacional (SIN), também denominado rede básica. Na classe A1, existem 77 concessionárias dos serviços públicos de transmissão, responsáveis pela administração de mais de 100 mil km de linhas. As empresas transmissoras também operam instalações de tensão inferior a 230 kV, que são as chamadas Demais Instalações da Transmissão (DIT).

As classes A2 e A3, quando não são de propriedade das transmissoras, representam as redes denominadas de sub-transmissão, que, ao contrário das redes de transmissão propriamente ditas, são administradas pelas redes próprias das empresas de distribuição. De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015) o SIN é um sistema de geração e transmissão de energia elétrica (Figura 01), com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial.

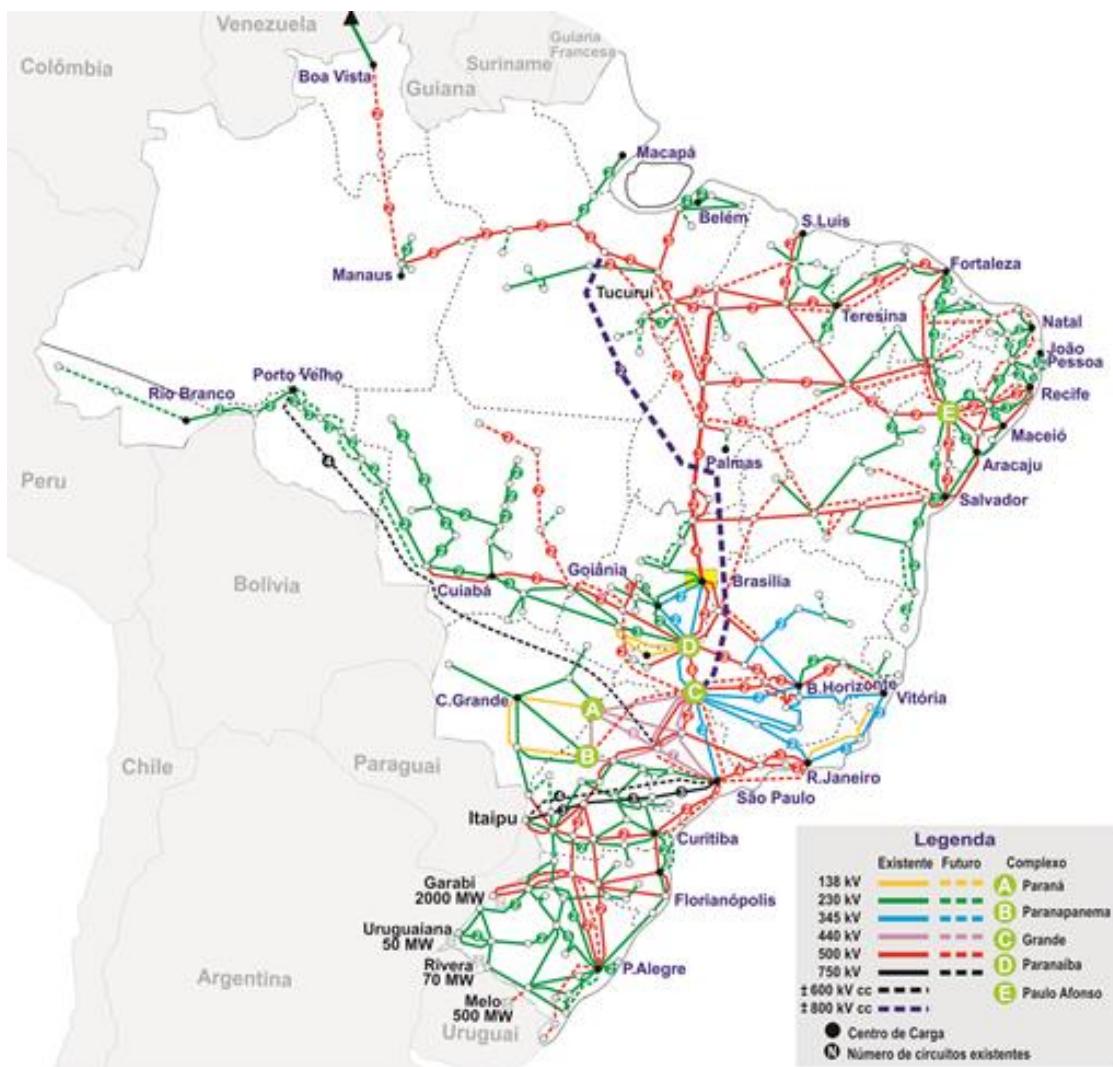


Figura 01 - Representação do Sistema Interligado Nacional em 2015.
Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015).

De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015) o SIN inclui a produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. O SIN é constituído por uma malha de distribuição (Tabela 03) na forma de redes com diferentes dimensões de potência.

Tabela 03 - Dimensão e potência dos tipos de linhas de transmissão de energia elétrica no Sistema Elétrico Brasileiro, em 2015.

Classe de tensão (kV)	Linhos de transmissão instaladas (km) ⁸	% Total
-----------------------	--	---------

⁸ Considera as linhas de transmissão em operação da rede básica, conexões de usinas, interligações internacionais e 190 km instalados no sistema de Roraima.

230 Kv	50.878	43,3%
345 kV	10.272	8,7%
440 kV	6.728	5,7%
500 kV	39.083	33,2%
600 kV	7.992	6,8%
750 kV	2.683	2,3%
Total	117.637	100,00%

Fonte: Ministério de Minas Energia (2015).

Para Pessanha et al. (2010) quanto maior for o comprimento da linha, mais elevado deve ser o nível de tensão, para minimizar as perdas de energia e aumentar a eficiência do transporte da energia elétrica em longas distâncias.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2016) em dezembro de 2015 a distribuição de energia elétrica aos consumidores no Brasil atingiu 48.939 GWh, considerando a autoprodução e as perdas, valor 3,9% superior ao verificado no mês anterior, mas que representa uma redução de 1,1% em relação ao consumo de dezembro de 2014 (Tabela 04). Em termos anuais, houve decréscimo de 1,7% do consumo de energia elétrica em relação a 2014, desempenho influenciado, entre outros fatores, pelo cenário econômico desfavorável e pelo aumento das tarifas de energia elétrica no país.

Conforme a Tabela 04, o consumo residencial registrou decréscimo de 0,7% em relação ao mesmo período anterior. Em relação ao consumo comercial, foi registrado acréscimo de 0,6% no acumulado de 12 meses. A classe industrial registrou retração de 5,3% do consumo e a classe rural acréscimo de 0,4% (MME, 2016).

Tabela 04 - Consumo de energia elétrica no Brasil em GWh por classe, entre o mês de dezembro de 2014 ao mesmo período de 2015.

Classes	(GWh)		(GWh)		
	Valor mensal comparado	Dez/15	Valor acumulado em 12 meses	2014	2015
Residencial	11.128	-0,3%	132.302	131.315	-0,7%
Industrial	13.423	-8,4%	179.106	169.615	-5,3%
Comercial	7.844	-0,2%	89.840	90.383	0,6%
Rural	2.181	1,8%	25.825	25.924	0,4%
Outros ⁹	4.120	2,2%	47.750	47.486	-0,6%
Perdas	10.243	6,1%	100.504	100.549	0,0%
Total	48.939	-1,1%	575.327	565.273	-1,7%

Fonte: Ministério de Minas Energia MME (2016).

⁹ Na classe Outros são considerados consumo do poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio das distribuidoras.

Para o Ministério de Minas e Energia (MME, 2016) os resultados refletem o momento adverso da economia brasileira, que se agravou entre 2014 e 2015, o aumento do nível de desemprego, queda do poder de compra das famílias, altas taxas de juros e inflação. Estes fatores, aliados aos aumentos das tarifas de eletricidade, levaram à desaceleração no mercado das classes residencial e comercial.

2.2 Matriz energética do Mato Grosso Do Sul

A matriz energética do Mato Grosso do Sul é composta por 69 empreendimentos em operação, com capacidade instalada para gerar um total de 8.7 milhões de kW de potência, o que representa 6,47% da capacidade instalada da produção de energia elétrica brasileira (ANEEL, 2014). A maior parte desta energia é produzida por hidroelétricas (Tabela 05), em usinas instaladas nas divisas com os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso, em consórcios entre esses estados. O segundo maior segmento de energia elétrica gerada no estado, quase 20% do total, vem das Usinas Termoelétricas (UTE) que somam 28 empreendimentos.

Tabela 05 - Empreendimentos em operação no Mato Grosso do Sul por potência instalada, em kW e em total produzido, em 2014.

Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%
Central Geradora Hidroelétrica	11	5.909	0,07
Pequenas Centrais Hidroelétricas	14	215.328	2,47
Usinas Hidroelétricas	05	6.788.800	77,87
Geradora Solar – Fotovoltaica	10	32,76	0,00
Usinas Termoelétricas	28	1.707.583	19,59
Total	69	8.717.653	100

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração (ANEEL/BIG, 2014).

Das unidades termoelétricas do estado, aquelas com maior capacidade instalada para produção de energia elétrica são as sucroalcooleiras e indústrias movidas a gás natural importado da Bolívia, seguidas pelas indústrias processadoras de celulose (licor negro)e óleo diesel (Tabela 06).

Tabela 06 - Usinas termoelétricas do Mato Grosso do Sul e capacidade de geração, em julho 2016.

Empreendimentos	Quantidade	Potencia outorgada (kW)
Biomassa cana-de-açúcar	21	1.034.487

Licor negro	02	389.200
Gás natural	04	598.124
Gás de alto-forno	01	13.500
Óleo diesel	14	7.926
Resíduos florestais	01	6.000
Total	28	2.049.237

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração (ANEEL/BIG, 2016).

Existem 22 usinas que operam com biomassa no Mato Grosso do Sul e 21 agentes cadastrados para comercializar energia elétrica sucroalcooleira. Algumas usinas possuem mais de um registro, com mais de uma termoelétrica instalada, o que explica a grande quantidade de agentes. De acordo com a ANEEL/BIG (2016) a energia elétrica da cana-de-açúcar é a fonte com maior produção outorgada de energia termoelétrica no estado, com pouco mais de 50% do total (Tabela 06). Na prática as unidades sucroalcooleiras injetam no SIN aproximadamente 80% da energia elétrica produzida pelas usinas termoelétricas no estado, pois as usinas com gás natural foram construídas para funcionar apenas quando a energia produzida pelas outras fontes energéticas não é suficiente para atender a demanda do país.

De acordo com informações da Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos do Mato Grosso do Sul (AGEPAN, 2016), a distribuição da energia aos consumidores cativos¹⁰ é de responsabilidade das concessionárias de energia elétrica Energisa, que atende 74 dos 79 municípios do estado e da Elektro - Eletricidade e Serviços S.A que atende 05 municípios que estão na divisa com o estado de São Paulo.

A Elektro não disponibilizou a quantidade de energia elétrica vendida para seus clientes no estado. De acordo com a Energisa (2014), em 2014, na região de atuação da empresa, foram registrados 938.105 unidades consumidoras cativas, quantidade 3,7% superior à registrada no fim de 2013. O número de consumidores livres totalizou 43 no fim do mesmo período. As vendas de energia elétrica aos consumidores finais (mercado cativo), somada à energia associada aos consumidores livres (TUSD), totalizaram 4.940 GWh, incremento de 8,6% em relação a 2013. O consumo foi impulsionado pela classe residencial, que cresceu 11,5% no ano. Já o consumo industrial, considerando o mercado cativo e livre,

¹⁰ O consumidor cativo é aquele que compra energia elétrica de concessionária ou permissionária que tem a concessão para fazer o serviço de distribuição. Não pode negociar preço, ficando sujeito às tarifas de fornecimento estabelecidas pela ANEEL.

expandiu 7,4% em 2014.

De acordo com a Energisa (2014) a energia total fornecida em 2014 foi de 5.159 GWh. A Figura 02 ilustra a participação das classes de consumidores no estado, em 2014, em função do numero de consumidor e do volume consumido.

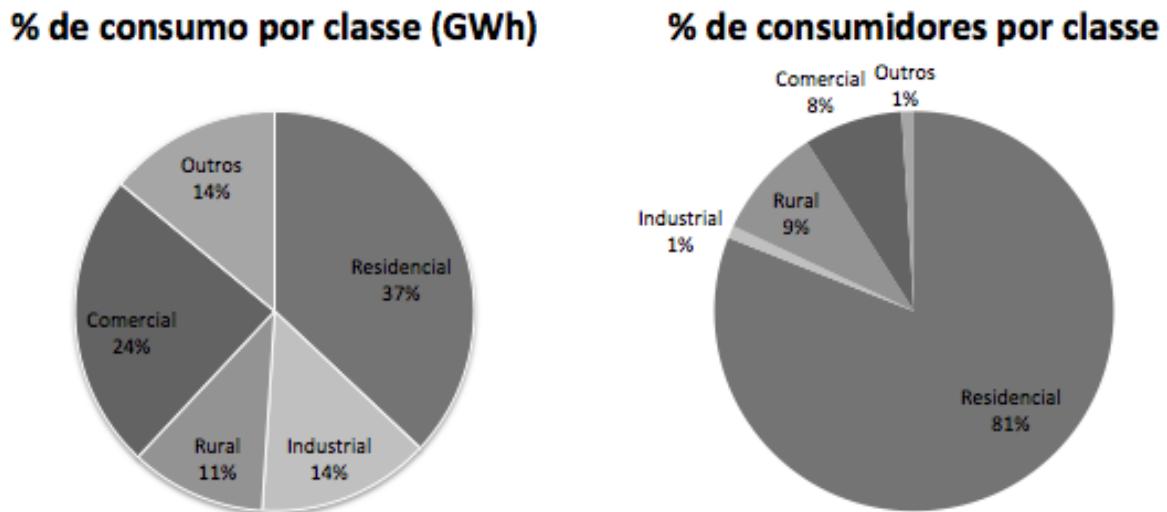


Figura 02 - Participação por classe de consumo (GWh) e numero de consumidores, em 2014.
Fonte: ENERGISA (2014).

Em 2014 a classe residencial foi responsável por 37% do consumo estadual e 81% do número total de consumidores. A segunda classe com maior consumo foi a comercial, com participação de 24% do total da energia fornecida, distribuída entre 74.001 consumidores (ENERGISA, 2014).

No estado de Mato Grosso do Sul a classe industrial é a terceira mais representativa no consumo de energia elétrica, com participação de 14% da energia consumida (585 GWh) e 7.204 consumidores (ENERGISA, 2014). Esse consumo é maior quando somado aos consumidores livres, que adquirem energia por meio de contratos diretos com os autoprodutores independentes (agroindústrias, unidades sucroalcooleiras, papeleiras, etc.). A classe rural é a última em consumo de energia, com 10,7% do total (436 GWh).

A classe de consumo de energia elétrica rural sul-mato-grossense é considerada pequena em relação à importância do agronegócio para a economia estadual. O uso de energia elétrica em tecnologias como os pivôs centrais, equipamentos adequados para irrigar grandes áreas como soja e milho, poderia mudar esse cenário.

2.3 Energia Elétrica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura introduzida no país no início da colonização e o uso

de etanol como combustível já existia nos anos 1930. Na década de 70 do século passado foi implantado o Programa Nacional do Álcool, com incentivo à produção e uso do etanol combustível em substituição à gasolina. Este programa incentivou o plantio de cana-de-açúcar em novas regiões, entre as quais Mato Grosso do Sul, Paraná, Goiás e Minas Gerais (JANK, 2010).

Com a expansão do setor sucroalcooleiro brasileiro para atender a demanda do etanol e açúcar, surgiu à oportunidade de usar a cogeração de energia elétrica do bagaço e palhiço da cana-de-açúcar, com possibilidade de exportar energia excedente para a rede (PELLEGRINI e OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Todas as usinas brasileiras são autossuficientes em geração de energia, pois produzem energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar para seu autoconsumo. Além de ser renovável, a produção dessa energia tem a vantagem de ocorrer no período de colheita, que é sazonal e no Brasil ocorre de março a dezembro para a região Centro-Sul e de setembro a março na região Norte-Nordeste (HOFSETZ; SILVA, 2012), quando as chuvas são mais escassas e os níveis dos reservatórios das hidroelétricas estão mais baixos.

A expectativa do setor sucroalcooleiro brasileiro na produção de energia elétrica baseia-se no fato de que a queima do bagaço já ocorre para atender a necessidade da própria agroindústria, proporcionando um destino sustentável aos resíduos agroindustriais (HOFSETZ e SILVA, 2012). A injeção da energia excedente no SIN é uma proposta recente, consequência da necessidade de diversificar a matriz energética com uma energia limpa e renovável. O aperfeiçoamento da transformação da biomassa em energia elétrica vem de investimentos do setor sucroalcooleiro com a implantação de novas usinas e a readequação das antigas (NOGUEIRA e GARCIA, 2013).

Em 2016 a energia da biomassa na matriz energética brasileira representava quase 9% da potência outorgada, dos quais 7% eram da biomassa cana-de-açúcar. A biomassa é a terceira fonte de geração mais importante da matriz elétrica brasileira em termos de capacidade instalada, atrás somente da fonte hídrica e das termelétricas com gás natural.

Para a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA, 2016), em 2015 a geração de energia para a rede a partir da biomassa da cana respondeu por 4,3% do consumo nacional de energia elétrica no Brasil. A oferta à rede pelo setor sucroalcooleiro de 20,2 TWh em 2015 permitiu poupar 14% da água nos

reservatórios do sub-mercado elétrico Sudeste/Centro-oeste, justamente na época critica do setor elétrico (período seco). A ofertada à rede foi equivalente ao atendimento a 10,4 milhões de residências ao longo de 2015 e evitou a emissão de 8,6 milhões de toneladas de CO₂, numero que somente seria atingido com o cultivo de 60 milhões de árvores nativas ao longo de 20 anos.

Esse número supera a capacidade a ser implantada na Usina Belo Monte até 2019, estimada em 11.233 MW que, em termos de potência ocupará a terceira posição em âmbito mundial, ou da Usina de Itaipu (14.000 MW), segunda maior do mundo, e atrás apenas da usina chinesa de Três Gargantas (22.400 MW).

Em 2016 o Mato Grosso do Sul contava com 22 usinas em atividades. A capacidade instalada para processamento da cana-de-açúcar no estado é estimada em 60 milhões de toneladas, no entanto, na safra 2014/2015 foram processadas 43,8 milhões de toneladas (BIOSUL, 2016). Das 22 usinas 12 produziam açúcar e etanol e 10 apenas etanol, como destilarias autônomas (Tabela 07). Do total de empresas, 12 exportaram energia para o SIN, no qual foram injetados 2.441 GWh na safra 2015/16 (BIOSUL, 2016).

A maioria das unidades sucroalcooleiras do estado foi instalada na ultima década, sendo que 12 delas possuem caldeiras de alta pressão para gerar excedentes de energia elétrica que são injetados no Sistema Interligado Nacional (BIOSUL, 2016).

Tabela 07 – Usinas em atividades no Mato Grosso do Sul, localização, capacidade instalada e identificação das que comercializam energia elétrica, safra de 2015/16.

Usinas	Capacidade instalada por safra	Produtos Comercializados (*)			Município
		A	D	E	
Acoolvale S/A	1.550.000 t	X	X		Ap. Taboado
Adecoagro	6.000.000 t	X	X	X	Ivinhema
Adecoagro	4.000.000 t	X	X	X	Angélica
Agro energética	1.200.000 t		X		Fátima do Sul
Bunge/Monte verde	1.400.000 t		X	X	Ponta Porã
Central Energética Vicentina	1.000.000 t		X		Vicentina
Dcoil	1.200.000 t		X		Iguatemi
Energética Santa Elena	2.100.000 t		X		Nova Andradina
IACO - Grendene/ Shimith	3.000.000 t		X	X	Chapadão do Sul
LDC-Bioenergia	2.100.000 t	X	X		Maracaju
LDC-Bioenergia	4.500.000 t	X	X	X	Rio Brilhante
LDC-Bioenergia - passa tempo	4.000.000 t	X	X	X	Rio Brilhante
Odebrecht Agroindústria Costa Rica	3.800.000 t		X	X	Costa Rica
Odebrecht Agroindústria Eldorado	6.000.000 t	X	X	X	Rio Brilhante
Odebrecht Agroindústria Santa Luzia	2.000.000 t		X	X	Nova Alv.do Sul
RAÍZEN	2.500.000 t	X	X	X	Caarapó
São Fernando	4.500.000 t	X	X	X	Dourados
Tonon Bioenergia	2.400.000 t	X	X	X	Maracaju

Usina Aurora	1.200.000 t	X	Anaurilândia
Usina Laguna	900.000 t	X	Bataiporã
Usina Sonora	1.600.000 t	X	Sonora
Usinavi	2.000.000 t	X	Naviraí

Legenda: (*): A (açúcar), D (etanol), E (energia elétrica), Ap. (Aparecida), Alv.(Alvorada)

Fonte: Autores, com dados das usinas.

O aumento da demanda por energia elétrica e os impactos ambientais adversos do uso de combustíveis fósseis reforçam a necessidade de aproveitamento de energias renováveis (NSAFUL et al., 2013). A energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar é renovável e tem a vantagem de poder ser utilizada como Geração Distribuída¹¹, ou seja, próxima dos centros consumidores, reduzindo custos com infraestrutura de redes e transporte (RODRIGUES, BORGES; FALCÃO, 2007).

O interesse pela Geração Distribuída no Brasil tem aumentado consideravelmente em razão da reestruturação do setor energético. Essa vantagem, aliada à necessidade de aproveitamento de diferentes formas de energia primária, avanços tecnológicos e maior conscientização sobre conservação ambiental, vêm fomentar e contribuir para a difusão da geração independente de energia elétrica (BLEY JÚNIOR, LIBÂNIO, GALINKIN; OLIVEIRA, 2009).

Conforme o apresentado na Figura 02, o consumo de energia elétrica da zona rural, quando comparado às outras classes de consumo, é considerado baixo, o que deve estar associado à falta de investimentos em tecnologias que utilizam energia elétrica, como implantação de agroindústrias para transformação de matérias primas e uso de motores elétricos, como nos sistemas de irrigação por pivô central, utilizados na irrigação de grandes áreas de grãos.

3. IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA

As mudanças climáticas, ocasionadas pelos eventos naturais extremos, estão cada vez mais frequentes, surtindo períodos longos de estiagem que interferem sobre os sistemas de produção agropecuária, com impactos na segurança alimentar mundial (FAO, 2011). A busca por maior segurança e produção das culturas tem aumentado o interesse dos produtores por tecnologias que proporcionem melhores resultados. A irrigação é uma delas, por reduzir o déficit hídrico em locais e em épocas em que as chuvas são insuficientes (RICHETTI, FLUMIGNAN e ALMEIDA, 2015a).

¹¹ A Geração Distribuída é a energia que não passa pelas redes de transmissão e é consumida na região próxima a sua geração.

Para Rocha e Christofidis (2015) os desafios associados à garantia de oferta de alimentos, água e energia no planeta são preocupantes. Ao mesmo tempo em que aumenta a necessidade por alimentos, fibras e combustíveis, a agricultura necessita de recursos naturais adicionais para garantir que a produção seja sustentável. Assim, a produção obtida com irrigação é 2,7 vezes maior do que a obtida pela agricultura tradicional de sequeiro (CHRISTOFIDIS, 2013).

Apesar de possuir as maiores reservas de água doce do mundo, o Brasil recorre pouco a irrigação. De acordo com dados da Organization for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nations (OECD – FAO, 2016) as áreas equipadas com irrigação no Brasil são muito limitadas e representam em torno de 2% das áreas utilizadas na produção agropecuária. O país possui menos área irrigada do que países com muito menos áreas cultivadas como a Tailândia, Paquistão, Irã e Indonésia, países que possuem também menores reservas de água (Tabela 08). Siebert et al. (2010) alertam sobre o fato da irrigação ser responsável por 90% do consumo mundial de água doce, o que dificulta o uso adicional desse recurso para aumentar a produção de alimentos. No entanto, as grandes reservas disponíveis no Brasil e o pouco uso desse recurso fazem com que o país possua um grande potencial de crescimento.

Tabela 08 – Os países com maiores áreas irrigados no mundo (milhões de hectares) e as áreas colhidas de soja e milho e sua respectiva produção em 2015

Países	Áreas equipadas com irrigação em milhões de hectares		Área colhida de soja e milho e produção em 2015			
	Áreas	Ano	Soja (milhões de ha e ton.)	Milho (milhões de ha e ton.)	Área colhida	Produção
China	69,86	2014	6,1	11.000,00	38,0	222.500,00
Índia	66,33	2008	11,6	7.100,00	8,6	21.000,00
Estados Unidos	26,71	2012	33,1	106.958,88	32,6	345.492,60
Paquistão	21,24	2008	0,0	4,00	1,1	4.600,00
Indonésia	9,86	2005	0,8	1.200,00	3,8	19.550,00
Irã	8,70	2009	0,1	180,00	0,2	900,00
México	6,46	2007	0,2	393,67	7,6	26.672,00
Tailândia	6,42	2007	0,1	53,00	1,2	4.610,99
Brasil	5,40	2010	31,2	96.806,45	15,2	81.062,00

Fonte: Elaborada pelo autor com dados da OECD-FAO (2016).

No Brasil as áreas irrigadas utilizam os sistemas de inundação, sulcos, aspersão (pivôs centrais e outros métodos), localizado (gotejamento, micro aspersão, etc.) e outros métodos de irrigação e/ou molhação (IBGE, 2009).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) as áreas irrigadas no Brasil em 2014 estavam estimadas em 6,10 milhões de hectares, sendo que apenas 1,275 milhões de hectares estavam equipadas com pivôs centrais. Os estados com maior área ocupada com pivô central são, por ordem de importância, Minas Gerais, Goiás, Bahia, São Paulo. Mato Grosso do Sul aparece apenas em sétimo lugar, apesar da importância da agricultura para o estado, com apenas 6% da área irrigada de Minas Gerais (Figura 03).

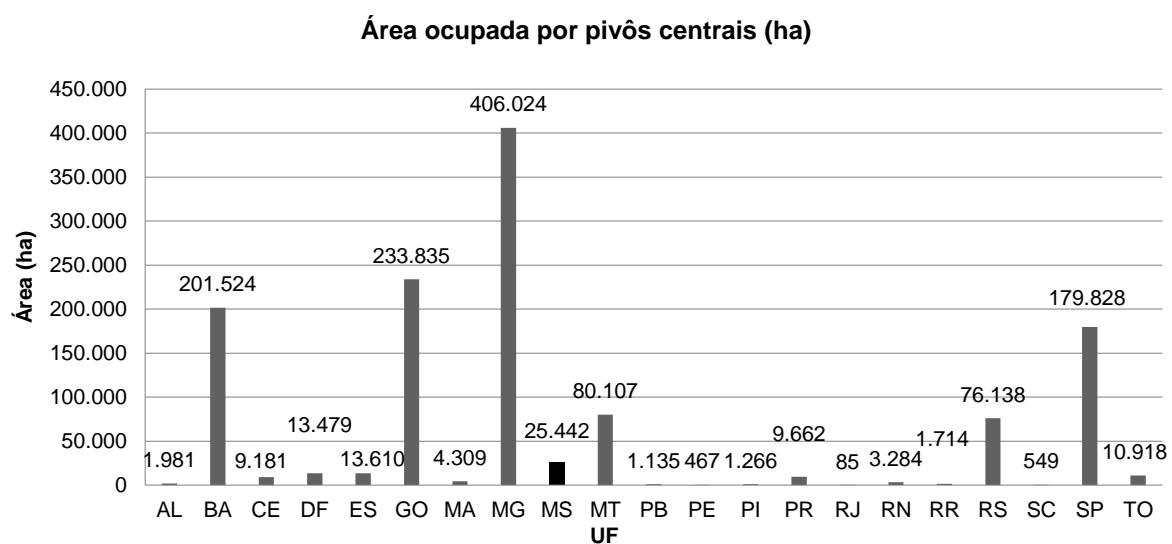


Figura 03 - Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil, em 2014.
Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2016).

Conforme a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) a irrigação brasileira tem crescido em média entre 4,4 e 7,3% por ano desde a década de 1960. Os resultados apontam crescimento de 43,3% da área equipada por pivôs em 2014, com relação aos dados apresentados no Censo Agropecuário de 2006, quando foram identificados 893 mil hectares irrigados.

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2016) destaca a liderança dos pivôs centrais na expansão da irrigação mecanizada. Dentre as principais culturas irrigadas com pivô central destacam-se o milho (24,0%), cana-de-açúcar (21,3%), feijão (20,5%), soja (14,7%), café (6,2%) e algodão (3,1%).

O Centro-Oeste, apesar de maior produtor de grãos do Brasil, apresenta uma infraestrutura de irrigação muito reduzida. Em 2014 o Mato Grosso do Sul plantou 2,2 milhões de hectares de soja e 1,55 milhões de hectares de milho, a maioria como segunda cultura, depois da soja (CONAB, 2015a). Apesar do cultivo de milho, plantado no final do período de chuva, ser muito mais dependente das condições

climáticas, o estado contava no mesmo ano apenas com 25.000 hectares de grãos irrigados (Figura 03).

A irrigação no Mato Grosso do Sul ocorre, basicamente, na produção de cereais, de grãos, de hortaliças e de pastagens, mas numa escala muito reduzida em relação às potencialidades existentes. Como o estado se beneficia de recursos hídricos e topografia favorável à implantação de pivôs centrais (PIBH-MS, 2013) é possível esperar um aumento da área irrigada nos próximos anos.

Segundo Richetti, Flumignan e Almeida (2015a), a avaliação do custo de produção do cultivo da soja em sistema irrigado na safra 2015/2016, na região de Dourados, centro do estado do Mato Grosso do Sul, indicou um custo de irrigação equivalente a 19,1% do custo total. No caso do milho irrigado na mesma safra, os autores identificaram um custo de irrigação de 22,5% do custo total. De acordo com Richetti, Flumignan e Almeida (2015b), a irrigação permitiu um aumento da produção em média de 40% por ha, comprovando a importância da irrigação na melhoria da produção, principalmente no caso do milho.

Após a descrição da produção de energia elétrica, com enfoque na energia produzida com a biomassa da cana-de-açúcar, e do potencial da irrigação por pivôs centrais na produção de grãos, é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa.

4. METODOLOGIA

A pesquisa utilizou dados bibliográficos, documentais e pesquisa de campo. Foram analisados a produção e o consumo de energia elétrica no Brasil e no estado do Mato Grosso do Sul a partir dos dados disponíveis no site do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A pesquisa de campo consistiu em visitas na Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul (BIOSUL), Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos do Mato Grosso do Sul (AGEPAN), Agencia Estadual de Gestão de Empreendimentos (AGESUL), concessionaria de energia do Mato Grosso do Sul (ENERGISA) e em quatro unidades sucroalcooleiras localizadas nos municípios de Dourados, Ponta Porã, Caarapó e Rio Brilhante, no estado do Mato Grosso do Sul. Não foi possível entrevistar representantes da distribuidora Eletricidade e Serviços S.A (ELEKTRO), mas os dados dessa empresa foram disponibilizados pela AGESUL. As entrevistas foram realizadas com propósito de conhecer a matriz energética sul-mato-

grossense, as fontes de energia ofertada, a produção e a distribuição da energia elétrica no estado.

Também foram coletados e analisados dados específicos fornecidos diretamente pelas unidades sucroalcooleiras usando roteiros elaborados pelos autores para verificar informações tais como a capacidade instalada das unidades, os produtos gerados (açúcar, etanol e energia elétrica), tipo e características das caldeiras e das turbinas e identificação das unidades que produzem energia elétrica somente para autossuficiência e que comercializam para o Sistema Integrado Nacional, entre outras. Para obter as informações necessárias para a pesquisa, foi estabelecido inicialmente um roteiro a ser preenchido. Os diretores de todas as unidades em atividade foram então contatados por telefone. Na primeira tentativa, apenas 15 respostas foram obtidas e por isso, novas solicitações complementares foram feitas por e-mail. Ao todo as 22 unidades proporcionaram informações, complementadas por contatos telefônicos.

Para avaliar o uso de energia elétrica no sistema de cultivos irrigados foi escolhida a região da Grande Dourados, principal região de produção de milho e soja no Mato Grosso do Sul. Nesta região foram identificadas duas empresas que prestam serviços de assistência técnica e comercialização de insumos para o setor de irrigação. Essas duas empresas foram visitadas, assim como 15 fazendas com produção de soja que utilizavam técnicas de irrigação ou que planejavam implantar esse tipo de sistema.

Essas visitas permitiram identificar as vantagens do sistema irrigado, o interesse em aumentar ou implantar áreas irrigadas, o impacto do consumo de energia no custo de produção, as dificuldades e gargalos da atividade irrigada.

Por fim, foi realizada uma entrevista com um dos coordenadores do departamento de venda para grandes clientes da concessionaria Energisa, para avaliar as modalidades de comercialização de energia para os produtores com sistemas de irrigação por pivô central.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apos a verificação da proximidade geográfica entre a produção de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar e a produção de grãos, são apresentadas as opções de comercialização de energia para irrigação.

5.1 Áreas geográficas da produção de energia elétrica e grãos no Mato Grosso do Sul

A energia elétrica é um insumo capaz de promover o desenvolvimento social e econômico de uma região. Para Shyu (2014) o acesso à eletricidade proporciona a integração da educação, dos serviços de saúde, o abastecimento de água, o saneamento básico, a melhoria nos processos produtivos, a universalização da informação e a qualidade de vida. No estado do Mato Grosso do Sul a oferta de energia elétrica é maior do que a demanda. O excedente dessa energia é disponibilizado por meio do SIN para outras regiões do Brasil.

O Mato Grosso do Sul tem uma matriz energética diversificada, distribuída por seu território (Figura 04). Além das unidades geradoras apontadas no mapa, existem Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e unidades fotovoltaicas que não foram destacadas porque são unidades que atendem necessidades específicas, como hospitalas e universidades (AGESUL, 2014). A maior parte das unidades geradoras de energia hidrelétrica está localizada na região norte do estado e as fontes energéticas da biomassa de cana-de-açúcar na região centro-sul (Figura 04).

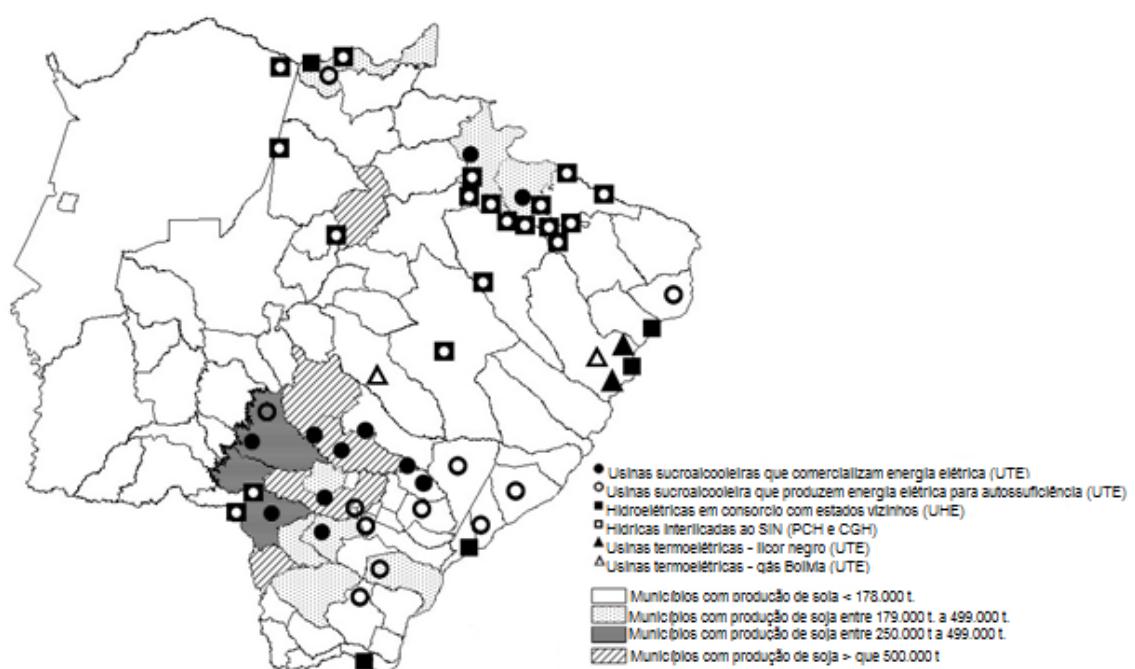


Figura 04 - Localização das unidades produtoras de energia e da produção de soja, no estado do Mato Grosso do Sul, em 2015.

Fonte: Autor com dados do IBGE (2014), CONAB (2015a) e das usinas sucoalcooleiras (2015).

A Figura 4 mostra que dez das doze Usinas Termoelétricas - UTE abastecidas por resíduo de empresas sucroalcooleiras e que exportam energia elétrica para a rede estão dentro da área com maior produção de grãos (soja e milho) do Mato Grosso do Sul. Essa região foi adotada para estudo porque na região norte do estado, embora também exista produção relevante de grãos, a irrigação poderia ser atendida pela energia elétrica das usinas hidroelétricas presentes na região.

Uma das vantagens deste tipo de geração de energia é o fato de ser uma Geração Distribuída (GD), ou seja, geração de energia elétrica próxima dos consumidores, que não passa pela rede de transmissão. Com a GD diminuem-se os custos com infraestrutura de redes de transmissão e os custos com as perdas de energia no transporte. A energia elétrica da GD pode atender clientes livres e cativos.

5.2 Uso de energia elétrica para irrigação no Mato Grosso do Sul

Os produtores do Mato Grosso do Sul que utilizam a técnica de irrigação têm a opção de comprar a energia elétrica em dois ambientes:

1. Compra de energia elétrica da cana-de-açúcar direto do autoprodutor, ou seja, compra direta da UTE (Usinas Termoelétrica), por meio do Ambiente de Contratação Livre, ou ACL, que permite contratos bilaterais de livre negociação entre os produtores de energia e irrigantes (RENDEIRO, MACEDO e PINHEIRO, 2011). A livre negociação da energia elétrica no ACL requer credenciamento como agente na CCEE¹², requisito exigido para a livre negociação. O produtor irrigante que optar por contratar energia no ACL será desvinculado do fornecimento de energia elétrica realizado pela concessionária local. Ele se tornará um consumidor livre e não mais cativo.

2. Compra de energia no mercado cativo, ou contrato com a concessionária. Esse ambiente de contratação é o normalmente utilizado pelos produtores irrigantes no estado.

Esses dois ambientes de contratação apresentam regras e preços diferenciados. No mercado livre o preço da energia elétrica é negociado diretamente entre as partes. Apesar dos preços praticados nesse mercado não serem disponíveis para a pesquisa, é possível se basear nos preços de comercialização no Ambiente de

¹² São agentes da CCEE as empresas que atuam no setor de energia elétrica nas áreas de Geração Distribuição e comercialização. Há ainda os consumidores livres e consumidores especiais, conceitos associados à demanda e à fonte de geração de energia.

Contratação Regulada, ou ACR, onde a energia é negociada em leilões regulados pela CCEE. De acordo com os editais dos leilões, os preços do MWh oscilaram entre R\$133,00 em 2013 e R\$ 161,00 em dezembro de 2015. Outro preço de referência de energia no Ambiente de Contratação Livre é o preço do mercado spot, ou Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), que em 2015 oscilou entre R\$ 388,48 no inicio do ano, que era o preço máximo autorizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e R\$ 134,33 no final do ano.

Em comparação, no mercado cativo a tarifa convencional para irrigantes era de R\$ 58,00 o MWh em 2015, valor muito menor que os preços identificados no ACL, ACR e PLD. Nenhum desses valores inclui os impostos.

Desde os anos 90 os produtores rurais que necessitam irrigar as suas lavouras têm direito a um desconto na tarifa de energia elétrica. O incentivo tarifário para o consumo de energia em atividades de irrigação está regulamentado na Resolução Aneel 414/2010¹³ na Secção XI – Desconto para irrigante e agricultor, nos artigos 107, 108 e 109. O desconto é concedido para o consumo de energia na atividade irrigante das 21h30 as 06h00 do dia seguinte. A definição do horário está relacionada à capacidade de transmissão e distribuição do sistema elétrico.

Para o Mato Grosso do Sul, as unidades consumidoras que preencham as condições estabelecidas na Resolução 414, na Secção XI, artigo 109, têm 80% de desconto no Grupo A, composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV. No Grupo B, composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, o desconto é de 67%.

Para a implantação do sistema de irrigação e para ter direito aos descontos, o produtor tinha que instalar um medidor específico para registro do consumo das cargas de irrigação, o que constituía um entrave para muitos produtores, em razão do custo e dificuldades práticas de ordem técnica para aquisição e instalação dos medidores, que exigem um especialista. Devido a esses entraves muitos pequenos e médios produtores não conseguiam desfrutar do benefício.

Para contornar essas dificuldades a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2014) repassou para a distribuidora de energia, e não mais ao consumidor, a partir do 1º de fevereiro de 2015, a responsabilidade pelo custo de aquisição e instalação

¹³ A Resolução Normativa 414 de 9/9/2010, que substituiu a Resolução 456 de 1999, rege as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica e é o principal instrumento normativo entre as Distribuidoras de Energia e os Consumidores.

dos equipamentos de medição necessários para a aplicação dos descontos concedidos para as atividades de irrigação e aquicultura. Essa mudança favorece ainda mais o uso de energia para irrigação no mercado cativo.

As visitas a campo confirmaram o recebimento dos descontos pelos produtores irrigantes, que afirmaram que o custo da energia era compensado pela maior produção. Se o custo de energia não foi o maior problema levantado pelos produtores, a incompatibilidade da rede de transmissão com a carga necessária para irrigação foi mencionada por vários deles. Assim, quando os pivôs são acionados existe a possibilidade da queda de fases da energia, gerando conflitos com a população atendida pela mesma rede. Essa dificuldade pode vir do baixo consumo de energia no meio rural, com redes que não foram dimensionadas para consumos mais elevados.

Também foram entrevistados os produtores nas adjacências das áreas irrigadas, e mais de 60% disseram que também tem interesse no cultivo irrigado, mas o sistema de irrigação na região de Dourados é pouco disseminado e não há mão de obra qualificada. Outro problema levantado foi o licenciamento ambiental, definido como burocrático e moroso, além da falta de políticas públicas que incentivem e favoreçam a produção com sistema irrigado, principalmente no que tange ao financiamento dos equipamentos. Nenhum dos entrevistados citou o custo da energia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consumo de energia elétrica do Mato Grosso do Sul não chega a 20% da energia elétrica produzida pelo estado. A classe com menor consumo de energia elétrica no Mato Grosso do Sul é a rural. Com o aproveitamento da energia elétrica produzida em cultivos irrigados esse cenário poderia mudar, com aumento da produção dos grãos (soja e milho) aproveitando a vocação do estado em agronegócio. A produção de grãos irrigados é mais segura, com redução do risco do efeito climático e aumento significativo da produção.

A energia gerada com a biomassa de cana-de-açúcar inserida no Sistema Integrado Nacional pelo estado já representa quase 9% da matriz energética brasileira (ANELL/BIG, 2016), mas o uso dessa energia na irrigação poderá potencializar o agronegócio do estado, aumentando à produção de soja e milho e tornar possível a produção de feijão no período invernal. Essas culturas são de grande importância para a economia do estado e por isso poderão, por sua vez, impulsionar o

desenvolvimento sócio econômico do Mato Grosso do Sul. Acrescente-se que, neste caso, a energia da biomassa cana-de-açúcar é uma Geração Distribuída (GD), localizada próxima do centro de consumo, ou seja, das áreas que se beneficiam com irrigação, um fator diferencial por reduzir os investimentos em redes de transmissão, as perdas e o custo do transporte.

O arranjo de comercialização da energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar que pode favorecer a compra da energia elétrica é o ambiente de contratos livres. Quando comparado à energia elétrica adquirida por meio da concessionaria, que recebe subsidio do Governo, a compra no ambiente de contratos livres torna-se economicamente inviável. O ideal para o desenvolvimento das cadeias produtivas sul-mato-grossenses seria de estender o direito do subsidio para aquela energia elétrica adquirida diretamente das usinas sucroalcooleiras. No estado, os produtores que utilizam sistemas irrigados compram energia elétrica por meio das concessionárias e recebem descontos de 67 a 80% na tarifa, de acordo com a Resolução ANEEL 414/2010.

Mesmo com esse subsídio, são poucas as áreas irrigadas no estado, o que pode estar relacionado à inexistência de um plano diretor, que norteie os produtores à implantação e manutenção do sistema de cultivo irrigado. Nas visitas realizadas com produtores com sistemas de irrigação, estes mostraram interesse em aumentar as áreas irrigadas. Os vizinhos desses produtores mostraram também interesse em adotar o sistema de irrigação com pivô. Entretanto, a burocracia dificulta a implantação da produção irrigada. Cita-se o caso das dificuldades em obter licença ambiental, para uso e captação da agua e a falta de infraestrutura de redes de transmissão de energia elétrica compatível com as cargas necessárias.

Aproveitar a energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar produzida pelo estado é estratégico para o agronegócio do Mato Grosso do Sul. Uma Geração Distribuída exige menores investimentos em redes de transmissão, menores custos com transporte e reduz as perdas de energia elétrica na rede.

Para incentivar a irrigação no estado é necessário criar condições favoráveis para os interessados em cultivos irrigados, estimular o planejamento que envolva as três esferas de Governo (Federal, Estadual e Municipal), para que possam viabilizar infraestruturas e assistência aos produtores. Também seria recomendável estimular o estabelecimento de parcerias com as empresas de pesquisa, universidades, sindicatos rurais, Secretarias da Agricultura, de Meio ambiente e Desenvolvimento

Econômico, para dar suporte à produção irrigada, com técnicas e ferramentas que possibilitem aumentar a eficiência no campo, visando o aumento da produção com sustentabilidade.

REFERENCIAS

Agência Nacional de Águas – ANA. Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 2014: relatório síntese / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL/BIG. Capacidade de Geração do Brasil. Brasília, 2016.

_____. **Capacidade de Geração no Estado.** Brasília, nov. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm?cmbEstados=MS:MATO%20GROSSO%20DO%20SUL>>. Acesso em: nov., 2014.

_____. **Capacidade de Geração no Estado.** Brasília, mar., 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/GeracaoTipoFase.asp?tipo=2&fase=3&UF=MS:MATO%20GROSSO%20DO%20SUL>>. Acesso em: mar., 2016.

_____. Descentralização de Atividades. In: Cadernos Temáticos – Brasília, ANEEL, 2005.

_____. **Resolução Normativa Nº 414/2010.** Condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Brasília, 2010.

_____. **Custo dos medidores voltados para irrigação será das distribuidoras de energia.** ANEEL, 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8095&id_area=90> Acesso jun., 2015.

AGENCIA ESTADUAL DE GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS – AGESUL. **Análise energética de Mato Grosso do Sul.** Relatório técnico, 2014, Campo Grande, MS.

AGÊNCIA ESTADUAL DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO MATO GROSSO DO SUL – AGEPLAN. Energia elétrica – informações gerais – distribuição. Campo Grande – MS, jun., 2016.

ALBUQUERQUE P. E. P. **Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo.** Circular Técnica 136. Embrapa Milho e Sorgo. MG, set., 2010.

ARAÚJO, M.; GOES, T. Energias alternativas fortalecem a matriz energética. **Revista Política Pública**, n. 4, out./nov./dez., 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA-ABRADEE. Redes de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em nov. 2015.

BIOSUL – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA DO MATO GROSSO DO SUL. **Relatório de encerramento de safra – Dados finais da safra 2015/2016.** Campo Grande, MS, 2016.

BLEY, JÚNIOR, C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. **Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO**, ed. TechnoPolitik , 2009.

BOCCI, E. ; DI CARLO, A.; MARCELO, D. Power plant perspectives for sugarcane mills. **Rev. Energy**, n 34 p. 689 – 698, 2009.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Políticas Agrícolas**, n. 1 – jan./fev./mar., 2013.

CLAUDINO, E. S; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.1, p.77–85, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Série histórica de áreas plantadas com cana-de-açúcar, safras 2005/06 a 2015/16 em mil hectares.

Disponível em:<

http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: ago. 2016.

_____. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 2 - Safra 2014/15, n. 12 – Décimo segundo levantamento, set. 2015a.

_____. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 2 – Safra 2015/16 n. 1 – Primeiro Levantamento Abril/2015b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. **Agronegócio**. Balanço 2013/perspectivas 2014.

COSTA, P. R. O.; DUARTE, F. S. A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da FATEA**, v. 3, n. 3, p. 2-107, jan./dez, São Paulo, 2010.

ENERGISA MATO GROSSO DO SUL. Relatório anual de responsabilidade socioambiental 2014.

ENERGISA S/A. **Relatório da Administração e Demonstrações Financeiras**. Resultados de 2014. Campo Grande – MS.

FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations. The State of Food Insecurity in the World. How does international price volatility affect domestic economies and food security? Rome, 2011.

_____. Aquastat. Irrigation and drainage. Hierarchical diagram of irrigation areas. Disponível em:< <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>. Acesso em: 09 de jul. 2016.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. OECD-FAO. Agricultural Outlook 2016-2025, by commodity. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryId=71240&vh=0000&vf=0&l&il=&lang=en>>. Data de acesso 10 jul. 2016.

HIRAKURI M. H.; LAZZAROTTO J.J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Embrapa Soja**. Documentos 349, Londrina – PR, jun., 2014.

HOFSETZ K.; SILVA M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. **Biomass and bioenergy**, n. 46 p. 564 e 573, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=1&z=t&o=26&u1=1&u2=38&u3=1&u4=1>>. Acesso em: nov., 2014.

_____. Censo Agropecuário 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **ANNUAL ENERGY OUTLOOK, WITH PROJECTIONS TO 2040**. IEA / AEO, U.S. Energy information administration. EIA-0383, apr. 2013a.

_____. **INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK**. IEA/IEO. Center for Strategic and International Studies, Washington, DC, Jul. 2013b.

JANK, M. S. **Uma matriz de combustíveis para o Brasil**. In UNICA. Etanol e Bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. Souza, E. L. L. e Macedo, I. C. (Coord). São Paulo, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. Brasília jan., 2015.

_____. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. Brasília jan., 2016.

NOGUEIRA M. A. F. S; GARCIA M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brilhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 17, p. 3275 – 3283 dez., 2013.

NSAFUL F.; GORGENS J.F.; KNOETZE J.H. Comparison of combustion and pyrolysis for energy generation in a sugarcane mill. Rev. **Energy Conversion and Management**, n. ,74 p. 524–534, 2013.

OECD-FAO Organisation for Economic Co-operation and Development - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agricultural Outlook 2015-2024. Agricultural Outlook 2015, Paris, 2015.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS, 2015. **Sistema Interligado Nacional.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/integracao_sin/integracao_novas_instalacoes.aspx> acesso ago., 2016.

PELLEGRINI L. F.; OLIVEIRA JUNIOR S. Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermoconomic and environmental analysis and optimization. **Rev. Energy**, v.36, p. 3704 e 3715, 2011.

PEROBELLI F. S; OLIVEIRA C.C.C. Energy development potential: An analysis of Brazil. **Energy Policy**, n. 59, p. 683–70, 2013.

PESSANHA, J. F. M.; MELLO, M. A. R. F.; BARROS, M.; SOUZA, R. C. Avaliação dos custos operacionais eficientes das empresas de transmissão do setor elétrico brasileiro: Uma proposta de adaptação do modelo DEA adotado pela ANEEL. **Pesquisa Operacional**, v.30, n.3, p.521-545, set. a dez., 2010.

PIBH-MS – PLANO DE IRRIGAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MATO GROSSO DO SUL. Plano diretor de agricultura irrigada do Mato Grosso do Sul: a energia para irrigação no estado. **Relatório de trabalho**, 41p, 2013.

RENDEIRO, G.; MACEDO, E.N.; PINHEIRO, G.; PINHO, J. Analysis on the feasibility of biomass power plants adding to the electric power system e Economic, regulatory and market aspects e State of Pará, Brazil. **Renewable Energy**, v 36, p. 1678 – 1684, 2011.

RICHETTI, A.; FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. S. Viabilidade econômica da soja irrigada na safra 2015/2016, na região sul de Mato Grosso do Sul. **Embrapa Agropecuária Oeste**. Comunicado técnico, 203, 1^a edição, on-line, Dourados, MS, 2015a.

_____. Viabilidade Econômica do Milho Safrinha, Sequeiro e Irrigado, na Região Sul de Mato Grosso do Sul, para 2016. **Embrapa Agropecuária Oeste**. Comunicado técnico, 207, 1^a edição, on-line, Dourados, MS, 2015b.

ROCHA, C. T. D.; CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela agricultura irrigada. **Rev. Política Agrícola**, ano XXIV, n.2, Abr./Maio/Jun., 2015.

RODRIGUES, F. F. C.; BORGES, C. L. T.;,FALCÃO D. M. Programação da contratação de energia considerando geração distribuída e incertezas na previsão de demanda. **Revista Controle e Automação**, v. 18, n. 3, 2007.

SANT'ANA, P. H. M. (Coord.). Além de grandes hidroelétricas: Políticas para fontes renováveis de energia elétrica no Brasil. **WWF**, São Paulo, 2012.

SHYU, CHIAN-WOEI. Ensuring access to electricity and minimum basic electricity needs as a goal for the post-MDG development agenda after 2015. **Energy for Sustainable Development**, v. 19 p. 29-38, 2014.

SIEBERT, S.; BURKE J.; FAURES J. M.; FRENKEN, K.; HOOGVEEN, J.; DOLL,

P.;PORTMANN, F. T. Groundwater use for irrigation – a global inventory. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, p. 1863–1880, 2010.

TOLMASQUIM, M. T. The energy sector in Brazil: Policy and Perspectives. **Estudos avançados**, v. 26, n.74, p. 247-260, 2012.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Bioeletricidade atinge o equivalente a usina hidrelétrica belo monte em potência instalada.** Disponível <<http://www.unica.com.br/noticia/25007302920341358852/bioeletricidade-atinge-o-equivalente-a-uma-belo-monte-em-potencia-instalada/>>, acesso em: 17 mai., 2015.

VICHI F.M.; MANSOR M.T.C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Rev. Quim. Nova**, v. 32, n. 3, 757-767, 2009.

ZHOU Y.; LI Y.P.; HUANGA G.H. A robust approach for planning electric power systems associated with environmental policy analysis. **Electric Power Systems Research**, v 95, p. 99 – 111, 2013.

CAPÍTULO III

Objetivo específico atendido:

- Identificar os arranjos institucionais das transações comerciais da energia elétrica originária da cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul e a influencia das politicas publicas.

Corresponde ao terceiro artigo que será ajustado ao modelo da revista *Energy Policy*

ARRANJOS INSTITUCIONAIS NA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA PELO SETOR SUCRALCOOLEIRO NO CENTRO-OESTE DO BRASIL

Marli S. Garcia
Olivier F. Vilpoux
Marney P. Cereda

RESUMO

Diminuir o uso dos combustíveis fósseis e mitigar seus impactos ambientais são as metas que justificam a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. A cana-de-açúcar é, no Brasil, a biomassa que mais gera energia elétrica para ser injetada no Sistema Interligado Nacional e o Mato Grosso do Sul é responsável por quase 10% desta energia elétrica. Entretanto, a comercialização de energia elétrica produzida a partir da biomassa da cana-de-açúcar é relativamente recente, pois os arranjos institucionais vigentes para essa comercialização entraram em vigor a partir de 2004. Nesse mercado ocorre muita incerteza em relação à comercialização e implantação das termoelétricas nas unidades sucralcooleiras, em razão dos elevados investimentos em ativos físicos específicos necessários, em relação à instalação de uma usina ou destilaria autônoma. O parque agroindustrial sucralcooleiro do estado tem capacidade para processar 60 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra em 22 unidades, das quais 12 já comercializam energia excedente e outra possui contratos para começar fornecer em 2018. Destas, unidades sucralcooleiras, 13 comercializam energia elétrica no Ambiente de Contrato Regulado, 1 no mercado livre e 8 vendem parte de sua energia elétrica no mercado de curto prazo, ou *spot*. A análise indica que a grande intervenção do Estado prejudica o nível de garantia necessário para os investimentos, no entanto, apesar dessa intervenção os riscos são reduzidos, com respeito aos contratos de energia renovável e preços praticados atrativos. Também colabora para redução dos riscos o uso generalizado de pelo menos dois tipos de arranjos para a comercialização da energia. Assim, é possível concluir que, na época em que a pesquisa foi realizada, as dificuldades de novas unidades sucralcooleiras em gerar e injetar energia elétrica no SIN explicava-se mais pelo alto nível de investimentos necessários do que por problemas institucionais.

Palavras chave: Energia renovável, Biomassa, Cana-de-açúcar, Economia dos custos de transação, Instituições.

1. INTRODUÇÃO

A segurança energética mundial é uma das prioridades dos países desenvolvidos que vem ganhando papel de destaque no debate nacional das economias emergentes. A *International Energy Agency* (IEA, 2013) prevê 56% de crescimento do consumo mundial de energia até 2040. Ainda, segundo a mesma fonte, a maior parte desse incremento virá de países como China, Índia, Brasil e África do Sul, que

têm as necessidades energéticas estimuladas pelo crescimento econômico.

Apesar das projeções de crescimento de consumo mundial, o Ministério de Minas e Energia (MME, 2015a) estimou uma Oferta Interna de Energia Elétrica no Brasil de 616 TWh em 2015, quantidade 1,3% menor em relação a 2014. Essa situação anormal decorreu da recessão econômica no Brasil, além da ocorrência de seca no Sudeste do país, que levou ao forte aumento dos preços.

O colapso energético nas regiões em que ocorreu a seca pode ser explicado pela matriz energética nacional, composta em 62% por energia hídrica, 18% por energia de combustíveis fósseis, 9% por energia de biomassa, 4% de energia eólica, 1% de energia nuclear e 6% por energia importada (BIG/ANELL, 2015a).

Em 2014, a Oferta Interna de Energia Elétrica foi de 624,3 TWh, montante 2,1% superior ao de 2013. No ano de 2014 a geração a partir da biomassa de cana-de-açúcar teve um bom desempenho, com crescimento de 8,1%. Ainda nesse ano, o setor sucroalcooleiro como um todo gerou 32,3 TWh, sendo 13,2 TWh destinados ao consumo próprio e 19,1 TWh destinados ao mercado. A geração de energia de bagaço de cana representou 70% da geração total por biomassa no Brasil. Os 30% restantes vieram principalmente de resíduos gerados na indústria de papel e celulose, com a pirólise da lixívia negra, lenha e resíduos de árvores (MME, 2015b).

O aumento na produção da energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar alivia o impacto socioeconômico da escassez de energia, em razão da disponibilidade de combustível, visto que cada tonelada de cana-de-açúcar processada para a fabricação de açúcar e etanol produz, em média, 250 Kg de bagaço e 200 Kg de palha¹⁴ (SCARAMUCCI et al., 2006). O bagaço possui elevado teor de fibras e vem sendo aproveitado desde a revolução industrial para a produção de vapor e energia elétrica na fabricação de açúcar e destilação do etanol, garantindo a autossuficiência energética das unidades sucroalcooleiras durante o período da safra. Já a palha é um resíduo que existe apenas quando ocorre colheita mecanizada, sistema implantado no Brasil a menos de uma década¹⁵.

A eletricidade proveniente da biomassa da cana-de-açúcar, como fonte alternativa de energia renovável, tem sido tema de estudos nos países que praticam esse

¹⁴ É preciso lembrar que esta palha não deve ser totalmente recolhida. Estima-se, para fins agronômicos, que a retirada deveria ficar na faixa de 50%.

¹⁵ O sistema de colheita mecanizada foi introduzido no Brasil há mais de 30 anos, mas a obrigatoriedade é mais recente e progressiva. No estado de São Paulo o ano de 2017 será o último em que a cana poderá ser colhida depois de queimada.

cultivo, como Brasil, Cuba, Nicarágua, Indonésia, Tailândia, Índia, Austrália, Maurícias e Zimbabué (GRISI, YUSTA, DUFO-LÓPEZ, 2012).

De acordo com a Companhia de Abastecimento Brasileira (CONAB, 2015), a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2014/15 foi de aproximadamente nove milhões de hectares. São Paulo é de longe o maior produtor, com 51,7% da área plantada (4.696,3 mil hectares), seguido por Goiás com 9,3% (878,27 mil hectares), Minas Gerais com 8,9% (788,88 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,4% (712,39 mil hectares) e Paraná com 6,7% (644,65 mil hectares)

O estado do Mato Grosso do Sul conta com 69 empreendimentos em atividade, como parte do ambiente institucional energético nacional, com capacidade instalada para gerar 8,7 milhões de kW de potência. A energia hídrica representa 77% da capacidade instalada do estado, as unidades termoelétricas 20% e todas as demais fontes 3% (BIG ANEEL, 2014).

Entre as termoelétricas do Mato Grosso do Sul, as que pertencem ao complexo sucroalcooleiro destacam-se, com 42% do total, seguidas das usinas a gás natural, com 35% e das usinas a óleo diesel, com 23% (BIG ANEEL, 2014). Devido ao elevado custo de produção, as usinas termoelétricas a gás e a óleo diesel são acionadas apenas para gerar energia em casos extremos, na falta das outras fontes de energia (MME/EPE/BEM, 2013).

Existiam em 2015 no estado do Mato Grosso do Sul vinte e quatro unidades sucroalcooleiras instaladas que processavam cana-de-açúcar, das quais duas estavam desativadas. Das vinte e duas em atividade, a metade comercializava energia elétrica para o mercado (BIOSUL, 2015). A questão levantada pela pesquisa é porque a outra metade não se interessou em adquirir caldeiras apropriadas para produção de energia excedente para ser comercializada. A hipótese proposta considera que políticas públicas inadequadas para comercialização da energia elétrica é a razão deste desinteresse.

Essa hipótese conduz ao objetivo da pesquisa, que é a análise dos arranjos institucionais necessários para a comercialização da eletricidade produzida pelas unidades sucroalcooleiras no Mato Grosso do Sul.

A Economia dos Custos de Transação (ECT), desenvolvida por Williamson (1985, 1996) a partir do artigo de Coase (1937), constitui o arcabouço teórico adequado para identificar os arranjos institucionais mais adaptados para a comercialização de

energia elétrica gerada da pirólise da biomassa de cana-de-açúcar. De acordo com a ECT, de um lado é encontrado o mercado *spot*, baseado nos preços e na outra extremidade encontra-se a integração vertical, que minimiza a incerteza nas transações. Entre os dois extremos podem ser encontradas as formas híbridas, baseadas em relações contratuais formais ou informais.

No Brasil são encontrados todos os arranjos institucionais descritos pela ECT na comercialização da energia elétrica, como o mercado *spot*, ou mercado de curto prazo, a integração vertical, com a geração para consumo próprio das unidades sucroalcooleiras e os arranjos híbridos, que surgem dos esforços de ampliação e diversificação da matriz energética nacional. Os arranjos híbridos de comercialização da energia elétrica são constituídos de dois ambientes de contratação, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

A relevância da pesquisa se justifica pela importância da participação do setor sucroalcooleiro no fornecimento de energia elétrica para o Sistema Integrado Nacional (SIN). A bioenergia complementa o fornecimento de energia elétrica do país no período de maior déficit hídrico, pois a safra da cana ocorre de abril a dezembro nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, período que coincide com o menor nível de água nos reservatórios das hidroelétricas. Nesse sentido, a biomassa da cana-de-açúcar complementa o fornecimento de energia elétrica, contribuindo com o fortalecimento da matriz energética brasileira.

A energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar é uma opção renovável, abundante e viável, apesar de ainda pouco estimulada pelo Governo. Além disso, as unidades sucroalcooleiras que injetam eletricidade no SIN estão mais próximas das subestações e das unidades de consumo, o que permite reduzir custos e perdas no transporte (GOMES e MAIA, 2013). A produção de energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar permite também alcançar maior diversificação na oferta de produtos derivados dessa cultura, proporcionando melhor rentabilidade para os investidores.

As unidades do complexo sucroalcooleiro contribuem para o desenvolvimento socioeconômico regional, com a movimentação das economias de insumos (fertilizantes e defensivos agrícolas, indústrias de tratores, equipamentos, caminhões, automóveis) e das empresas prestadoras de serviços. Neste sentido as unidades sucroalcooleiras geram empregos diretos e indiretos (NEVES et al., 2010).

O Mato Grosso do Sul é um dos estados onde o plantio da cana-de-açúcar mais

cresceu no Brasil. A maior parte das unidades sucroalcooleiras do estado localiza-se no território da Grande Dourados. Essa região, localizada na Região Centro-Sul do estado, teve sua situação transformada pela cadeia produtiva sucroalcooleira. Muitas áreas com baixa produção, ocupadas principalmente com pastagem degradadas, foram recuperadas para produzir cana-de-açúcar.

O próximo Item aborda a Economia dos Custos de Transação seguida pela apresentação dos arranjos institucionais utilizados no setor elétrico. O Item 4 apresenta a metodologia utilizada na pesquisa e precede a análise dos arranjos institucionais para a comercialização de energia elétrica de cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul. O fechamento do artigo aborda as considerações finais da pesquisa, onde são discutidos os resultados e as limitações do estudo.

2. ECONOMIA DOS CUSTOS DE TRANSAÇÃO – ECT

De acordo com Williamson (2008), a Nova Economia Institucional propõe duas vertentes analíticas complementares aplicáveis ao estudo das organizações. A primeira, de natureza macro analítica, busca explicar a origem, estruturação e mudanças das instituições ao longo do tempo, instituições vistas como as regras que pautam o comportamento da sociedade (ZYLBERSZTAJN, 2005). Nessa vertente são abordadas questões como leis, normas, costumes e convenções, presentes no ambiente institucional.

A segunda vertente, mais micro analítica, representada pela Economia dos Custos de Transações (ECT)¹⁶, estuda a natureza explicativa dos diferentes arranjos institucionais utilizados pelas firmas na coordenação de suas transações (ZYLBERSZTAJN, 2005).

Williamson (1996) indica que na ECT as instituições são os mecanismos de governança. Num determinado tipo de ambiente institucional, os agentes econômicos alinham as estruturas de governança com as transações para realizar economias, principalmente economias de custos de transações. Em consequência, o autor afirma que a eficácia das estruturas de governança alternativas, ou arranjos institucionais, varia em função do ambiente institucional e dos atributos dos atores econômicos, que incluem as características comportamentais e os atributos das transações.

¹⁶ Esses custos podem ser definidos como custos de negociar, redigir e garantir o cumprimento de um contrato.

Dois pressupostos relacionados às características comportamentais constituem a base da ECT, a racionalidade limitada e o oportunismo (WILLIAMSON, 1985 e 1996). Na racionalidade limitada, os agentes econômicos desejam otimizar seus comportamentos, entretanto não conseguem satisfazer tal desejo. Todos os contratos complexos são inevitavelmente incompletos devido à racionalidade limitada, decorrente do alto grau de complexidade e da incerteza no ambiente onde operam (ZYLBERSZTAJN, 1995).

O segundo pressuposto refere-se ao fato dos indivíduos serem oportunistas e buscarem atingir seus interesses com ganancia. O pressuposto não é de que todos os indivíduos agem sempre oportunisticamente, mas que eles tenham a possibilidade de se comportar de modo oportunista para que os contratos fiquem expostos a ações que demandam monitoramento (ZYLBERSTAJN, 1995).

Para Fiani (2002) existem duas formas de oportunismo citados na literatura: o *ex-antes* e o *ex-post*. O oportunismo *ex-antes*, também conhecido como *seleção adversa*, ocorre antes da transação acontecer, desencadeando custos de transação. Esse tipo de oportunismo é responsável, por exemplo, pelos custos de desenvolver os arranjos contratuais no momento da elaboração dos contratos. O oportunismo *ex-post*, ou *risco moral*, ocorre quando há problemas na execução da transação, isto é, depois de firmar o contrato. Esse tipo de oportunismo gera custos de transação relacionados com o monitoramento da transação visando à efetiva execução dos contratos, ou custos inerentes a renegociações futuras.

Em relação às características das transações, o argumento central da ECT, proposto por Williamson (1985, 1996), baseia-se na existência de características mensuráveis da transação, a especificidade dos ativos, a frequência das transações e a incerteza. Ainda de acordo com o autor (WILLIAMSON, 1985), a especificidade dos ativos é o atributo de maior relevância para o estudo das estruturas de governança. A Figura 1 apresenta o modelo de análise de governança desenvolvido na teoria de Williamson (1985), que destaca as variáveis que influenciam a organização das Transações.

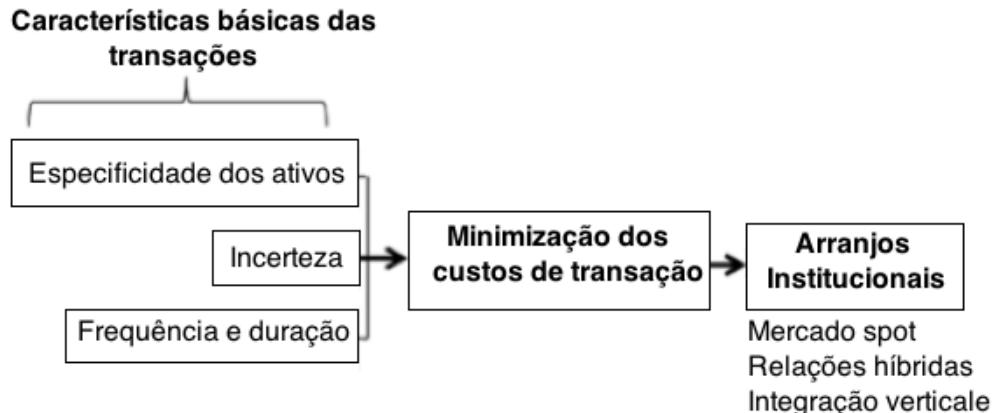


Figura 01 – Relações entre os sistemas de governança, ou arranjos institucionais, e as características das transações.

Fonte: Zylberztajn (1995)

Williamson (1985, 1991) analisa a especificidade dos ativos que ele define como os custos advindos da alocação alternativa daquele ativo em outra transação qualquer. O autor relaciona o grau de incerteza das transações à disponibilidade de informações e ao comportamento oportunista dos indivíduos. Nas transações a incerteza dificulta o desenvolvimento de contratos completos, permitindo lacunas que possibilitam abertura para o comportamento oportunista. A frequência relaciona-se com a recorrência ou regularidade das transações. Quanto menor a frequência, menor será a exposição dos agentes a comportamentos oportunistas. Do outro lado, trocas recorrentes permitem o desenvolvimento de comprometimentos e reputação, limitando o comportamento oportunista.

Williamson (1996) apresenta seis tipos de especificidades de ativos: I - Especificidade locacional, no caso de instalações próximas umas das outras para economizar em custos de estocagem e transporte; II - ativos físicos, que se referem à especialização dos ativos necessária para produzir os produtos; III - ativos humanos, que é a necessidade de investimentos em capital humano para exercer a atividade; IV - ativos dedicados, que são investimentos feitos para clientes específicos; V – marcas que são os investimentos na marca de uma empresa e VI - temporal, no qual o valor da transação está relacionado ao tempo em que ela é processada. O último tipo de especificidade é intimamente ligada a produtos perecíveis.

De acordo com Williamson (1985 e 1996), os arranjos institucionais, influenciados pelo ambiente institucional, as características das transações e os pressupostos comportamentais, são o mercado spot, as formas híbridas e a hierarquia,

apresentados na Figura 1. O autor caracteriza o mercado *spot* como o palco onde as partes autônomas se comprometem na troca. Nesse tipo de arranjo, os agentes econômicos seguem seus interesses e desenvolvem relações de curto prazo, tendo o preço como termômetro para as interações entre eles. As transações no mercado *spot* são marcadas pela ausência de relações contínuas entre os atores. Em outro extremo tem-se a integração vertical, na qual os agentes econômicos passam a fazer parte da mesma entidade, o que facilita a coordenação do sistema e elimina a incerteza ligada à transação.

Para a ECT, entre o mercado *spot* e a integração vertical localizam-se as formas híbridas, constituídas de relações contratuais nas quais a cooperação é construída pelo interesse mútuo dos agentes envolvidos nas trocas econômicas, através de relações de médio ou longo prazo que beneficiem todas as partes. Nas formas híbridas as partes da transação são autônomas, porém têm uma relação de dependência bilateral e existem incentivos a continuarem a relação contratual.

Para Ménard (2004), uma característica fundamental nas formas híbridas é a mistura entre dependência mútua e necessidade de continuidade nas relações. Para o autor, os arranjos que possuem essas características funcionam entre o mercado e a hierarquia e podem ser formais ou informais.

Essa afirmação reforça a indicação de Williamson (1996) para quem o ambiente institucional é importante. Seguindo a definição de North (1990), Williamson considera as instituições como as regras do jogo. Mudanças nos direitos de propriedade, leis contratuais, normas e costumes mudam os custos comparativos dos modos de governanças.

O contexto social no qual as transações estão inseridas (*embedded*), definido entre outros pelos costumes e hábitos, influencia e deve ser considerado. Para Williamson (1985), a eficiência de modos alternativos de governança varia em culturas diferentes, em função de problemas relacionados à confiança. Ménard (2004) enfatiza também o efeito da reputação e da experiência. Para o autor, o efeito da reputação é facilitado pela repetição das transações entre atores. Williamson (1996) reforça o efeito da experiência e afirma que o ambiente institucional é o resultado da história dos atores.

Williamson (1996) identifica seis atributos de inserção dos atores (*embeddedness*): cultura social, política, regulamentação, profissionalização, redes e cultura corporativa. Os de maior interesse para a pesquisa em pauta são as inserções

políticas e de regulamentação:

- Política: autonomia legislativa e judiciária melhoram a credibilidade (WILLIAMSON, 1996),
- Regulamentação: pode servir para inspirar confiança em relações comerciais. A criação e administração de um órgão regulador são atos muito significativos. Com a presença de um regulamento “adequado”, as partes ligadas a transação – a empresa regulada e seus clientes – estão preparadas para fazer investimentos em ativos específicos em melhores condições do que na ausência dessa regulamentação (WILLIAMSON, 1996).

Esse tipo de inserção é classificado por Williamson (1996) como confiança institucional (*institutional* ou *hyphenated trust*). Para o autor, a necessidade de salvaguardas para transações específicas (governanças) varia de acordo com o ambiente institucional no qual as transações estão inseridas. Assim, transações viáveis em um ambiente institucional que fornece salvaguardas fortes podem ser inviáveis em ambientes institucionais mais fracos, porque não é seguro para os participantes realizar investimentos em ativos específicos nessa situação.

Em consequência, a qualidade de um sistema judiciário possui grande relevância. Para Williamson (1996), numa economia em que o judiciário é problemático, os arranjos institucionais são mais bimodais e concentram-se no mercado *spot* e na integração vertical.

Assim, se os direitos de propriedade estão sujeitos às realocações ocasionais e se as mudanças não são devidamente compensadas, outras considerações estratégicas entram nas decisões de investimento. Falta de compromisso credível por parte do Governo apresenta riscos para investimentos duráveis e imobilizados no setor privado. Os custos de transação aumentam juntos como os riscos de expropriação (WILLIAMSON, 1996).

A seção seguinte apresenta os arranjos institucionais utilizadas na comercialização de energia elétrica no Brasil.

3. ARRANJOS INSTITUCIONAIS NO SETOR ELÉTRICO

As regras do setor elétrico brasileiro foram consolidadas na Lei nº 10.847 (BRASIL, 2004b) e no Decreto Nº 5.163 (BRASIL, 2004a). Essas regras foram desenvolvidas

para atender à demanda energética do país, como resposta à necessidade de reformas do Governo, favorecendo a entrada de investimentos de capital privado no setor de geração energética e reduzindo os riscos assumidos pelos agentes do setor elétrico.

Essas regras podem ser entendidas como a busca de melhoria na eficiência do fornecimento de energia. Pesquisa realizada por Klevas e Minkstimas (2004) na Lituânia e na maioria dos países da Europa Central e do Leste relata que são as políticas que favorecem a gestão eficiente de um sistema de fornecimento e comercialização de energia elétrica. Para isso é necessário o aproveitamento conjunto de todos os recursos disponíveis para a geração de energia elétrica, principalmente as fontes renováveis, que permitem gerar uma energia limpa e sustentável.

3.1 Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro

A estrutura do setor elétrico brasileiro, representada na Figura 2, é hierárquica. O Ministério de Minas e Energia (MME) tem a responsabilidade de formular os ajustes de políticas para o setor energético. A agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) faz a regulação e fiscalização do setor elétrico, zelando pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento das tarifas para consumidores finais. Abaixo da ANEEL, o Operador Nacional de Sistema (ONS) coordena e controla a geração e transmissão no sistema elétrico interligado. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), sob a supervisão da ANEEL, é a responsável pela gestão dos contratos, liquidação do mercado de curto prazo e leilões de energia.



Figura 02 - Estrutura do setor de energia elétrica do Brasil.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da CCEE (2015a e 2015de)

Os arranjos institucionais que regulam a comercialização da energia elétrica são importantes para as políticas de desenvolvimento, em especial para aquelas que demandam cooperação por parte de agentes públicos e privados. A matriz energética brasileira tem se diversificado, com variadas fontes de geração (hídrica, biomassa, eólica, fotovoltaica e outras), mas também com dimensões variadas, com empreendimentos de menor porte ao lado daqueles de grande porte, distribuição nas diversas regiões geográficas do país (VAHL et al., 2013) e aumento da participação do setor privado (REGO;PARENTE, 2013).

No Brasil, além do mercado spot a comercialização de energia elétrica é realizada por dois modelos de arranjos institucionais, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), sujeito às regras instituídas pelo órgão regulador e diretrizes governamentais e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), que permite que geradoras e comercializadoras comercializem energia livremente (RENDEIRO et al. 2011).

3.2 Ambiente de Contratação Regulada (ACR)

No ACR, os agentes de distribuição podem adquirir energia das seguintes formas (SOUZA; EGEY, 2010):

- (a) Leilões de compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos de

geração existentes, assim como de novos empreendimentos de geração. Os arranjos institucionais dessa modalidade são formalizados por meio de contratos bilaterais regulados, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), celebrados entre agentes vendedores (agentes de geração, de comercialização ou de importação), habilitados em documento específico para este fim e distribuidores que participam dos leilões de compra de energia elétrica para atender os clientes cativos. Esses arranjos têm a finalidade de criar um mercado de contratos de longo prazo para orientar a expansão da capacidade instalada de geração de energia elétrica (HOFSETZ; SILVA, 2012);

(b) Leilão de compra de energia de reserva. A energia fornecida nesse tipo de arranjo é oriunda de usinas especialmente contratadas para este fim, de forma complementar ao montante contratado nos Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR). Esta modalidade de contratação é formalizada mediante a celebração dos Contratos de Energia de Reserva (CER), entre os agentes vendedores nos leilões e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, na condição de representante dos agentes de consumo, incluindo os consumidores livres e os autoprodutores.

(c) Geração Distribuída (GD)¹⁷ é aquela em que a contratação é precedida de chamada pública, realizada pelo próprio agente de distribuição. Esse tipo de contratação está limitado a 10% do total de energia do mercado da empresa de distribuição;

(d) Usinas que produzem energia elétrica a partir de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, contratadas na primeira etapa do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Toda a energia produzida pelos participantes deste programa tem garantia de contratação por 20 anos pela Eletrobrás;

(e) Itaipu Binacional, no caso de agentes de distribuição cuja área de concessão esteja localizada nas regiões Sul, Sudeste e em Mato Grosso do Sul. A Lei 5.899/73 obriga as concessionárias dessas regiões a comprar uma quota parte de energia de Itaipu por contrato cogente, independentemente da necessidade real desta energia.

¹⁷ Considera-se Geração Distribuída (GD) a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador (BRASIL, 2004a). Essa geração não passa por linhas de transmissão, destinadas ao transporte de energia em maiores distâncias.

Os editais dos leilões elaborados pela ANEEL e previstos no art. 19 do Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004 (BRASIL, 2004a) determinam as condições para a participação, habilitação de agentes vendedores e assinatura dos Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado. Esses contratos incluem cláusulas referentes à constituição de garantias financeiras e garantias físicas, nas quais se comprova lastro para entregar a totalidade dos contratos. A energia entregue é aferida mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e, no caso de descumprimento do contrato, os agentes ficam sujeitos à aplicação de penalidades.

Os editais dos leilões para acordos bilaterais via Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado são abertos de acordo com o planejamento energético nacional e em duas modalidades, energia existente e energia nova. A primeira corresponde à produção de empresas já em operação e os volumes contratados são entregues em um prazo inferior ou igual há um ano. A segunda diz respeito à produção de empreendimentos em processo de concessão e de unidades que já foram outorgadas pela ANEEL e que estão em fase de planejamento ou construção. Neste caso, o prazo para começar a entrega é de três a cinco anos (URSAIA et al. 2013).

As distribuidoras devem declarar ao Ministério das Minas e Energia os volumes a serem contratados para atender a totalidade de suas cargas em até sessenta dias antes da data prevista para a realização de cada um dos leilões. Com essa informação, o poder concedente define o volume demandado para cada leilão. Além de homologar a quantidade de energia elétrica a ser contratada, o MME aprova a relação dos novos empreendimentos de geração que integrarão o processo licitatório de contratação de energia (CCEE, 2015a).

Os preços máximos para aquisição de energia nos leilões são definidos pelo MME e, conforme o disposto no inciso VII do art. 20, do Decreto nº 5.163 (BRASIL, 2004a), o critério de menor lance é utilizado para definir os vencedores, ou seja, aqueles que ofertarem energia elétrica pelo menor preço para atendimento da demanda prevista pelas distribuidoras. Ao término dos leilões resultam os Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), contratos bilaterais padronizados, celebrados entre cada vendedor e todas as concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de distribuição (CCEE, 2015a).

De acordo com a Lei 10.848 (BRASIL, 2004c) os contratos de energia existente têm duração de 1 a 15 anos, enquanto que os de energia nova podem durar de 15 a 35 anos. O Decreto nº 6.048, de 27 de fevereiro de 2007 (BRASIL, 2007) regulamentou os leilões de fontes renováveis eólicas, biomassa e energia proveniente de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) – com prazo de 1 a 5 anos para iniciar e duração de 10 a 30 anos.

O intuito do ACR é prover energia elétrica às distribuidoras que têm concessão para o serviço de distribuição. De acordo com Hofsetz e Silva (2012), as distribuidoras contratam energia para atender os consumidores cativos, que são consumidores domésticos, comerciais, industriais ou rurais. Esses consumidores estão sujeitos às tarifas estabelecidas pela ANEEL.

3.3 Ambiente de Contratação Livre (ACL)

A comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre é realizada mediante operações de compra e venda de energia entre agentes concessionários, permissionários e autorizados de geração, comercializadores, importadores de energia elétrica, de um lado, e consumidores livres ou especiais, do outro (CCEE, 2015a).

Todo contrato negociado no ACL tem suas condições de atendimento, preço e demais cláusulas de contratação livremente negociados entre as partes, sendo esses contratos denominados Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL). Os contratos celebrados no Ambiente de Contratação Livre devem ser registrados na CCEE, conforme o disposto no art. 56 do Decreto nº 5.163/04 (BRASIL, 2004a).

Os consumidores livres são considerados aqueles cuja demanda contratada sejam igual ou maior que 3.000 kW, atendidos em tensão de fornecimento acima de 69 kV. Esses clientes podem adquirir energia de qualquer fonte incentivada¹⁸ e/ou convencional¹⁹ (SOUZA; LEGEY, 2010).

¹⁸ Fonte incentivada: empreendimentos de geração de energia renovável com potência instalada não superior a 30 MW, como centrais eólicas, térmicas a biomassa e usinas com fonte solar, além de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e centrais geradoras hidrelétricas (CGH) que têm capacidade igual ou inferior a 1 MW (COUTINHO e OLIVEIRA, 2013). Essa energia conta com redução de no mínimo 50% nas Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição (TUST e TUSD) (BRASIL, 2006).

¹⁹ Fonte convencional: usinas hidrelétricas ou termelétricas com potência instalada acima de 50MW e empresas de energia renovável com potência instalada entre 30 e 50 MW (Energia Convencional Especial).

De acordo com Coutinho e Oliveira (2013) os consumidores especiais são aqueles cuja demanda contratada seja maior ou igual a 500 KW, individualmente ou por comunhão de fato (mesmo endereço) ou de direito (mesmo CNPJ). Esses consumidores podem adquirir energia somente de fontes incentivadas (Energia Incentivada e Energia Convencional Especial). Os Contratos originados de fontes incentivadas de energia são denominados Contratos de Comercialização de Energia Incentivada (CCEI) e Contratos de Comercialização de Energia Convencional Especial (CCECE).

Os consumidores que optam por se tornarem livres, realizando a compra de energia por meio de contratos no ACL, devem ser agentes da CCEE e estão sujeitos ao pagamento de todos os encargos, taxas e contribuições setoriais previstas na legislação. Conforme descrito no parágrafo 2º do art. 49 do Decreto nº 5.163/2004, esses consumidores podem comprar parte de sua energia de forma regulada com a concessionária de distribuição, constituindo, assim, um consumidor parcialmente livre (BRASIL, 2004a).

Os agentes de geração, que sejam concessionários de serviço público, produtores independentes de energia ou autoprodutores, assim como os comercializadores, podem vender energia elétrica nos dois ambientes, mantendo o caráter competitivo da geração.

3.4 Mercado de Curto Prazo

Todos os contratos de compra e venda de energia elétrica são registrados na CCEE, que realiza a medição dos montantes efetivamente produzidos ou consumidos por cada agente. As diferenças apuradas são liquidadas no Mercado de Curto Prazo (MCP), ou mercado spot, ao Preço de Liquidação das Diferenças – PLD (CCEE, 2015a).

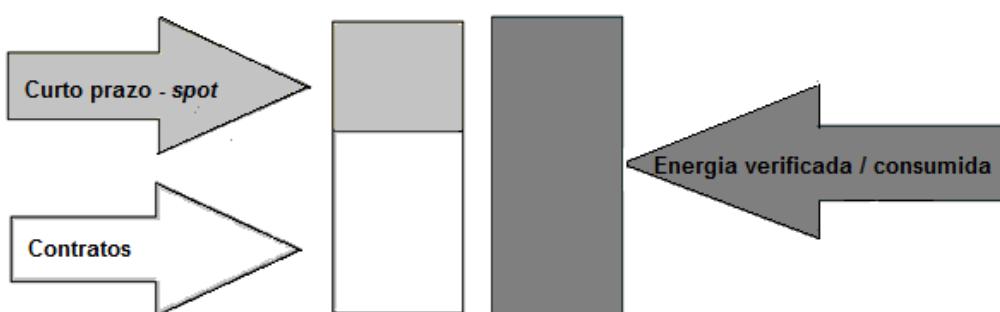


Figura 03 - Medição dos montantes produzidos/consumidos por cada agente e as diferenças entre a energia produzida e realmente consumida.

Fonte: autores, com informações da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE (2015e).

Para comercializar a energia elétrica no mercado de curto prazo (*spot*), os agentes precisam injetar no SIN a energia produzida, que é contabilizada pela CCEE. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica cumpre três tarefas: I - faz a gestão de todos os contratos de compra e venda de energia, II - faz registro da medição diária do que efetivamente é gerado nas usinas e consumido por todos os agentes participantes do sistema, III - contabiliza os valores a pagar e a receber com base nos contratos de compra e venda e na geração e consumo efetivos. Com os valores apurados, a CCEE realiza a liquidação, que é o acerto de contas entre os agentes credores e devedores. Essas diferenças são apuradas no valor do Preço de Liquidação das Diferenças - PLD (CCEE, 2015e).

O PLD é determinado semanalmente para cada patamar de carga, limitado por preço máximo e mínimo, vigente para cada período de apuração e sub-mercado²⁰.

Esse preço é utilizado para valorar a energia não contratada entre os agentes da CCEE (sobras ou diferenças) no mercado de curto prazo. Os créditos e os débitos decorrentes dessa contratação são liquidados entre os agentes de forma centralizada na CCEE. Os preços de venda ou de compra da energia que excede ou falta nos contratos são acrescidos dos Encargos de Serviços do Sistema (ESS)²¹ (ARAUJO et al. 2008).

O Preço de Liquidação das Diferenças reflete o custo marginal de energia elétrica nova no sistema. Na estação de chuvas, quando a oferta e a demanda de energia elétrica no país estão equilibradas, o preço da energia elétrica é menor e, consecutivamente, o PLD também. Quando os reservatórios hídricos estão em nível baixo, falta energia e as usinas térmicas estão ligadas a um custo marginal alto, empurrando para cima o preço da energia e o PLD (DALBEM, BRANDÃO; GOMES, 2014).

A crise no abastecimento de energia elétrica brasileira, que ocorreu devido às questões climáticas, ausência de planejamento e de investimentos do Governo Federal, gerou grandes prejuízos aos cofres públicos. No período de dezembro de

²⁰ Sub-mercados: são subdivisões do SIN cujas fronteiras são definidas em função da presença de restrições relevantes de transmissão de energia elétrica no sistema. São considerados quatro sub-mercados: Norte, Nordeste, Sul e Sudeste/ Centro-Oeste.

²¹ Encargos de Serviços de Sistema (ESS) - encargos setoriais que representam o custo incorrido para manter a confiabilidade e a estabilidade do Sistema Interligado Nacional, para o atendimento do consumo de energia elétrica no Brasil - Decreto Nº 5.163 (BRASIL, 2004a).

2013 a abril de 2014, o valor do PLD no sub-mercado Sudeste / Centro-Oeste passou de R\$ 290,72 (US\$ 125) para R\$ 822,83 (em torno de US\$ 369) por megawatt-hora (MWh), preço máximo estipulado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL para o PLD. Esse aumento ocorreu em função do maior acionamento das termelétricas causado pelo baixo nível dos reservatórios das hidroelétricas. Em março de 2015 o valor do PLD caiu para R\$ 388,48 (US\$ 121,40), novo teto máximo fixado pela CCEE. Em outubro do mesmo ano, o valor era de R\$ 212,32, após um mínimo de R\$ 145,09 em agosto.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo utilizou revisão bibliográfica, coleta de dados em documentos e pesquisa de campo. Para a análise foram consultados os editais dos leilões de energia entre 2005, data dos primeiros leilões baseados no Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004 (BRASIL, 2004a) e 2015, assim como as regras de comercialização de todas as modalidades de contratos para o ano de 2015.

A pesquisa de campo consistiu em visitas à Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul, na concessionária de energia do Mato Grosso do Sul, ENERGISA e em quatro unidades sucroalcooleiras localizadas nos municípios de Dourados, Ponta Porã, Caarapó e Rio Brilhante, no estado do Mato Grosso do Sul. Em todas as visitas foram realizadas entrevistas com roteiro sobre os itens a serem abordados.

Na BIOSUL foi realizada uma reunião com responsáveis pelo controle da produção estadual de energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar, para esclarecer o cenário energético do setor sucroalcooleiro. Na ENERGISA a entrevista foi com o coordenador dos grandes clientes, para esclarecer o funcionamento dos contratos de energia e a transmissão de energia elétrica.

Nas quatro unidades sucroalcooleiras foram entrevistados os diretores industriais e os coordenadores do setor de cogeração, com o objetivo de conhecer e entender os processos de cogeração. As visitas permitiram acesso às caldeiras, turbinas e geradores, onde foi possível conhecer as tecnologias utilizadas para a transformação da energia térmica e mecânica em energia elétrica.

Também foram realizados contatos telefônicos com os diretores industriais das outras 18 unidades em atividade no Mato Grosso do Sul, no qual, foi estabelecido

inicialmente um roteiro a ser preenchido. A taxa média de respostas foi de 70% dos, com 100% das unidades que comercializam energia elétrica no estado e 10% daquelas sem comercialização no SIN. As perguntas abordadas foram: I - Capacidade instalada de moagem da usina; II - Capacidade utilizada pela usina; III- N° de caldeiras instaladas; IV- Porcentagem do bagaço e palhiço que é queimado; Ocorrência da compra de bagaço; Recuperação do palhiço; V- Quantidade e/ou percentual da energia produzida por safra e vendida para o mercado regulado; VI- Comercialização de energia elétrica para o mercado livre e o mercado spot.

Na indústria Dedini S/A, de caldeiras e equipamentos de médio e grande porte para o setor sucroalcooleiro, foram realizados contatos telefônicos e, posteriormente, foram solicitadas via e-mail informações sobre caldeiras e equipamentos que compõem as plantas de cogeração.

Após a análise, foram realizadas entrevistas telefônicas complementares com seis unidades sucroalcooleiras que pertencem aos grupos sucroalcooleiros Adecoagro, Biosev - Louis Dreyfus Commodities Company, Bunge, Odebrecht Agroindustrial, Raízen e Tonon. Essas entrevistas, realizadas com os responsáveis do setor de cogeração, tiveram como propósito averiguar o mercado e os contratos de energia e quais as expectativas futuras. Além desses contatos foi também realizada uma entrevista com um ex-diretor do grupo São Martinho, com o objetivo de validar os resultados obtidos na pesquisa.

Os dados coletados permitiram identificar os arranjos institucionais adotados pelas unidades sucroalcooleiras no Mato Grosso do Sul, para a comercialização de eletricidade, e verificar a adequação desses arranjos com as características das transações levantadas na ECT: especificidade dos ativos, frequência e incerteza. Em seguida foi avaliado o papel do Governo na organização dos arranjos e na decisão de investimento das empresas processadoras de cana-de-açúcar.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise descreve as características dos arranjos institucionais na comercialização de energia elétrica pelas usinas e destilarias autônomas de cana-de-açúcar sul-mato-grossenses, assim como o impacto das instituições sobre a incerteza no setor.

5.1 Energia Elétrica da Biomassa Cana-de-Açúcar no Mato Grosso do Sul

De acordo com a BIOSUL (2015), a capacidade instalada do parque industrial

sucroalcooleiro do Mato Grosso do Sul é de 60 milhões de toneladas de cana por safra. A análise dos roteiros preenchidos indica que as unidades sucroalcooleiras apresentam em média 20% de capacidade ociosa.

A Figura 04 apresenta o fornecimento de energia elétrica pelo setor sucroalcooleiro no SIN, que teve início na safra de 2009/2010. A energia elétrica comercializada entregue pelo setor sucroalcooleiro do Mato Grosso do Sul, na safra 2014/15, foi de 1.879 GWh, o que representa quase 10% da energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar produzida no mesmo período no Brasil. Como a tendência é de aumento (Figura 04), a perspectiva é que na safra 2015/2016 a produção seja de aproximadamente 2.878 GWh, que representariam um aumento de mais de 45% sobre a energia gerada na safra anterior (BIOSUL, 2015).

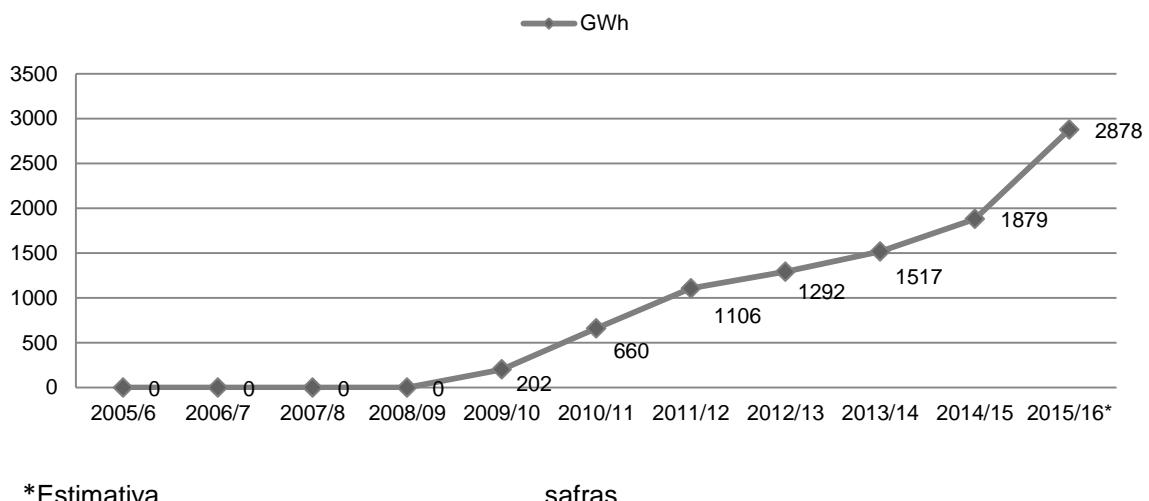


Figura 04 - Energia elétrica comercializada pelas unidades sucroalcooleiras de cana-de-açúcar do Mato Grosso do Sul, entre as safras 2005/2006 e estimativa da safra 2015/16.

Fonte: BIOSUL (2015).

Com a flutuação dos preços do açúcar e etanol de 2013 a 2015, o setor sucroalcooleiro tem investido na cogeração de energia elétrica para diversificar o retorno econômico. Para tornar o processo mais eficiente, tecnologias inovadoras, com maior eficiência na produção de energia elétrica, como as caldeiras de leito fluidizado, têm chamado atenção das unidades sucroalcooleiras (BOCCI et al. 2009). Informações obtidas em entrevistas telefônicas indicaram que o mercado da energia elétrica na safra 2014/15 possibilitou retornos econômicos significativos para o setor. Nos meses de consumo elevado de energia, o retorno econômico da comercialização de energia elétrica no SIN chegou a ser maior que o proporcionado

pelo etanol e o açúcar, considerados tradicionalmente como os principais produtos da cana-de-açúcar. Em função do potencial de retorno na venda de energia elétrica, as unidades que cogerem para comercializar a energia estão optando pelo aumento da produção de eletricidade, como indicado na Figura 04.

Para melhor aproveitar a capacidade instalada do parque gerador, todas as unidades que comercializam energia elétrica estão queimando a totalidade do bagaço produzido, mantendo apenas uma reserva de 7.000 a 10.000 toneladas, quantidades mais do que suficientes para a partida na safra seguinte. Uma das unidades sucroalcooleiras questionadas informou que queima todo o bagaço e, além disso, recolhe o palhiço para potencializar a produção de energia elétrica. Outra, além de queimar todo o bagaço gerado, realiza transferência interna do bagaço a partir das unidades do grupo que não comercializam energia para a rede.

Todas as unidades que comercializam energia elétrica declararam comprar bagaço de outras que não comercializam energia. Em caso de falta de bagaço no mercado, optam por outro tipo de biomassa como o cavaco de madeira, o que foi confirmado por uma usina que declarou ter comprado esse tipo de matéria-prima para complementar sua produção. Em consequência, em 2015 a situação no mercado de energia elétrica favoreceu, com o comércio do bagaço, até as unidades que não comercializavam energia elétrica.

Como o mercado tem estimulado a venda de energia elétrica pelas unidades de processamento de cana-de-açúcar, é importante saber os tipos de arranjos adotados na comercialização de energia.

5.2 Arranjos Institucionais de Comercialização de Energia de Cana-de-Açúcar

Os editais e as transações de energia elétrica estão disponíveis no site da CCEE, de onde foram destacados aqueles disputados pelas unidades sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul que comercializaram energia elétrica para o SIN no período de 2004, ano de começo dos leilões no ACR, até dezembro de 2015. Os resultados são apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 – Transações realizadas pelas termoelétricas sucroalcooleira do Mato Grosso do Sul de 2004 a 2015.

Grupo	Unidades	Municípios	Editais dos leilões*	Duração contratos (anos)	Potencia (MW)	Preço R\$ (MWh)
Biosev	LDC Bioenergia S/A - I	Rio Brilhante	01/2007 – LEN A-3	15	50,0	139,12
Biosev	LDC Bioenergia S/A - II	Rio Brilhante	01/2007 – LEN A-3	15	50,0	139,12

Odebrecht	Usina Eldorado S.A	Rio Brilhante	05/2010 - LER	15	12,0	154,25
Bunlai/Bertin	São Fernando Energia I	Dourados	05/2010 - LER	15	50,0	154,40
Adecoagro	Angélica Agroenergia Ltda.	Angélica	05/2010 - LER	15	64,0	154,25
Grendene/Shimith	IACO Agrícola S/A	Chapadão do Sul	02/2011 – LEN A-3	15	30,0	101,99
Biosev	LDC - Bioenergia S.A. p.t	Rio Brilhante	02/2011 – LEN A-3	15	64,8	103,29
Grendene/Shimith	IACO Agrícola S/A	Chap. do Sul	03/2011 – LER	15	30,0	101,49
Adecoagro	Angélica Agroenergia Ltda	Ivinhema	16/2013 – LEN A-5	25	40,0	135,00
Odebrecht	Usina Eldorado S.A	Rio Brilhante	16/2013 – LEN A-5	25	116,0	132,30
Coutinho	Santa Helena	Nova Andradina	16/2013 – LEN A-5	25	45,0	132,81
Cosan/Shell	Raízen	Caarapó	16/2013 – LEN A-5	25	38,0	134,37
Tonon	Unidade Vista Alegre II	Maracaju	18/2013 – LEN A-5	25	30,0	133,00
Tonon	Vista Alegre I	Maracaju	18/2013 – LEN A-5	25	30,0	133,01
Odebrecht	Usina Eldorado S.A	Rio Brilhante	15/2015 – LEE A-1	3	141,0	165,50
Odebrecht	Santa Luzia I	Nova Alvorada	15/2015 – LEE A-1	3	130,0	163,00
Adecoagro	Angélica Agroenergia Ltda.	Ivinhema	15/2015 – LEE A-1	3	120,0	161,29

Legenda: (*) LEN – Leilão de Energia Nova; LER - Leilão de Energia de Reserva; LEE - Leilão de Energia Existente.

Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE (2015e)

Conforme indicado na Tabela 01, a Biosev foi à primeira usina a assinar contratos no Ambiente de Contratação Regulado – ACR, em 2007 por meio de Leilões de Energia Nova (LEN), com prazo de três anos para começar. A partir de 2010 outras usinas entraram no mercado, com LEN de três (A-3) e cinco (A-5) anos para iniciar o suprimento e de Leilões de Energia de Reserva (LER), que têm por objetivo a venda de energia destinada a aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Toda a comercialização através dos contratos LER e LEN de A-3 foi para uma duração de 15 anos, enquanto a comercialização em LEN de A-5 foi sempre para uma duração de 25 anos.

Os preços negociados no ACR são reajustados anualmente pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), conforme consta no terceiro LER de 2015, ou Leilão 11/2015 (ANEEL, 2015b).

Nos contratos de 2010, os preços oferecidos foram de 139 a 154 R\$/MWh, maiores que o Preço de Liquidação das Diferenças - PLD médio do mesmo ano, que foi de 70 R\$. Em 2011, os contratos foram fechados com preços em torno de 100 R\$/MWh, maiores que o PLD médio do mesmo ano, inferior a 30 R\$. Em 2013 os leilões foram fechados com preços de 132 a 135 R\$/MWh, essa vez inferiores ao PLD médio do ano que foi de 262,5 R\$.

Apenas no último leilão de 2015, o LEE 15/2015, as unidades sucroalcooleiras entraram no mercado de energia existente, com contrato de início de venda para janeiro de 2016 e duração de apenas três anos. Três empresas localizadas no Mato Grosso do Sul venderam energia nesse leilão, duas do grupo Odebrecht e uma do grupo Adecoagro, com preço entre 161 e 166 R\$/MWh. As durações menores dos

contratos não aumentam a incerteza das empresas como seria esperado, pois já possuíam contratos de energia nova ou de reserva, com duração de 15 e 25 anos, respectivamente. Os preços dos leilões foram inferiores ao PLD médio de novembro de 2015, que foi de 202,87 R\$/MWh para o mercado Sudeste / Centro-Oeste (CCEE, 2015e).

A Tabela 01 deixou de apresentar os valores relativos à energia elétrica comercializada pela Usina Monte Verde, que utiliza o Ambiente de Contratação Livre - ACL. Essa usina possui capacidade instalada de 20 MW e contratou a energia elétrica produzida com a Bunge, grupo ao qual pertence.

Outra unidade sucroalcooleira informou que estava entregando energia desde 2008. Seus dados não foram localizados no portal da CCEE, nem o edital na qual foi feita a transação.

A energia elétrica da biomassa cana-de-açúcar comercializada pelo Mato Grosso do Sul na safra 2014/15 foi de 1.879 GWh, dos quais 64% foram comercializados por meio de Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEARs), conforme editais indicados na Tabela 01. Os outros 36% da energia de biomassa comercializada no estado representaram, na safra 2014/15, 676,44 GWh. Dessa energia, aproximadamente 200 GWh foram negociados com a concessionária local, na forma de Geração Distribuída (10,6% do total) e 50 GWh para consumidor especial, no ambiente livre (2,7% do total). Os outros 426,44 GWh, ou 22,7% da produção total do estado, foram comercializados no mercado de curto prazo, ou mercado spot.

A comercialização com consumidor especial é feita entre empresas do mesmo grupo. No caso da comercialização na Geração Distribuída, o contrato de comercialização é de 25 anos. A Tabela 02 apresenta os diferentes arranjos institucionais adotados pelas unidades sucroalcooleiras na comercialização de energia. Destaca-se o fato de que apenas uma unidade sucroalcooleira se concentra em apenas um tipo de arranjo, os contratos no ACR para energia nova (LEN). Todas as demais dividem a comercialização em diferentes tipos de arranjos. O caso da Biosev é um bom exemplo, pois apesar de uma unidade usar apenas um tipo de arranjo, a outra unidade do mesmo grupo utiliza outros tipos de arranjos, como o mercado spot e o Ambiente de Contratação Regulado.

Tabela 02 – Modalidades dos contratos realizados pelas unidades sucroalcooleiras do setor sucroalcooleiro.

Usina	ACR				ACL	Mercado Spot
	LEN	LER	LEE	GD		
Adecoagro - Angélica			X			X
Adecoagro – Ivinhema			X	X		X
Biosev – Rio Brilhante – Usina Passa Tempo	X					X
Biosev – Rio Brilhante		X				
Bunge – Ponta Porã					X	X
Iaco – Chapadão do Sul	X					X
Odebrecht - Rio Brilhante, Costa Rica e Nova Alvorada	X	X	X			
Raízen - Caarapó	X					X
São Fernando - Dourados			X			X
Usina Vista Alegre – Maracaju	X				X	X
Usina Santa Helena	X					

Legenda: X Tipo de arranjo utilizado.

Fonte – Adaptação dos dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2015e)

A prioridade das unidades sucroalcooleiras, após garantir sua autossuficiência, é produzir energia para atender os contratos, seja no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL). A energia elétrica vendida para o mercado de curto prazo é a energia que sobra. Quando o preço pago pelo MWh no mercado *spot* compensa, as unidades sucroalcooleiras compram bagaço ou cavaco de madeira para produzir energia e vende-la nesse mercado. A unidade Nova Alvorada do Sul do grupo Odebrecht não aparece na Tabela 02, pois a produção de energia excedente dessa unidade é injetada no SIN para atender contratos do grupo.

A usina Santa Helena possui contrato no ambiente regulado, com início de entrega da energia em 2018. Ela está passando por uma reforma e ainda não estava entregando energia no SIN, o que explica a ausência de comercialização dessa empresa no mercado *spot*.

A análise dos sistemas de governança utilizados na comercialização de energia elétrica pelas empresas de processamento de cana-de-açúcar indicou um mix de arranjos em todas as empresas:

- Integração vertical: produção da própria energia, modelo tradicional presente em todas as unidades sucroalcooleiras do Brasil;
- Arranjos híbridos: uso de contratos formais nos diferentes ambientes disponíveis
 - Mercado regulado: o mais utilizado pelas empresas, com comercialização de energia nova, de reserva ou existente e, no caso

de uma empresa, de Geração Distribuída.

- Mercado livre: contrato particular de comercialização entre uma unidade sucroalcooleira e as outras empresas do próprio grupo;
- Mercado *spot*: utilizado por todas as empresas que comercializam energia no SIN, em complementação dos arranjos híbridos.

5.3 Caracterização das transações de energia elétrica pelas unidades sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul

As características das transações relevantes para a pesquisa são a frequência, a incerteza das transações e a especificidade dos ativos. No caso da comercialização de energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar, as transações são continuas. No entanto, a venda de energia elétrica no Ambiente de Contratação Regulado ou no mercado *spot* não passa pelo contato direto entre fornecedores e compradores que, no caso da comercialização no ACR ou no mercado *spot*, não precisam se conhecer, o que impossibilita relações de confiança que normalmente ocorrem em transações repetidas e frequentas.

Essa situação é contornada com a assinatura de contratos regulados pela CCEE, tanto no ACR quanto no ACL. Apesar da ausência de contratos, o mercado *spot* é também controlado pela CCEE. Nesse caso não existe a necessidade de confiança entre compradores e fornecedores, mas de confiabilidade em relação às instituições de regulação. Esse aspecto será abordado no Item 5.4 do artigo, que contempla a incerteza nas transações.

A especificidade dos ativos é considerada a mais importante das características das transações identificadas por Williamson (1985). Entre os equipamentos necessários para a comercialização de energia elétrica, a caldeira é o item principal. Como mostra a Tabela 03, o que diferencia as unidades sucroalcooleiras que comercializam energia no SIN são as caldeiras de alta pressão, de 67 a 100 bar, com geração de 150 a 400 toneladas de vapor por hora, o que proporciona grande capacidade de gerar eletricidade excedente. Por outro lado, as caldeiras das empresas que cogeram apenas para uso próprio geram vapor de 21 bares e em torno de 60 toneladas de vapor por hora.

Tabela 03 - Capacidade instalada das caldeiras nas unidades termoelétricas sucroalcooleiras do Mato Grosso do Sul.

Unidades sucroalcooleiras	Localização	Marca/modelo	Tipos de caldeiras		
			Vasão *tv/h	Pressão operacional (bar)	Temp. do vapor (°C)
Comercialização de energia					
Adecoagro	Angélica	HPB VS 500	250	67	490
		HPB VS 500	250	67	490
Adecoagro	Ivinhema	HPB VS 500	320	67	520
		HPB VS 500	200	67	480
BIOSEV	Rio Brilhante	HPB VS 5250	250	67	490
BIOSEV	Rio Brilhante	HPB VS 5250	250	67	490
Monte Verde	Ponta Porã	Dedini AZ 200	150	67	490
São Fernando	Dourados	HPB VS 500	250	100	540
		HPB VS 500	250	100	540
Raízen	Caarapó	Dedini AT 275	275	65	515
IACO Agrícola S/A	Chap. Sul	HPB VS 500	210	67	515
		HPB VS 500	210	67	515
Odebrecht	Costa Rica	HPB	200	67	490
Odebrecht	Rio Brilhante	HPB- BFB	400	100	540
		Dedini	200	42	400
Odebrecht	Nova Alvorada	HPB	260	67	500
		HPB	320	67	520
TONON	Maracaju	HPB - VS 500	250	67	490
Cogeração apenas para uso próprio					
Usina Santa Helena	Nova Andradina	Zanini - SZ-180	60	21	320
		Zanini - SZ-180	60	21	320
		Dedini 600/6T	130	21	320

Legenda (*) tv/h – toneladas de vapor hora;

Fonte – Autores, com dados diretos das termoelétricas.

De acordo com o responsável pelo setor de equipamentos para cogeração de vapor e energia da empresa Dedini S/A, os investimentos com plantas de cogeração de energia elétrica a partir de biomassa de cana-de-açúcar dependem da escala de moagem. Segundo a informação, o valor médio de investimento varia de 4,5 a 5,0 milhões de reais para cada MWh de energia elétrica instalada.

A caldeira é o equipamento que requer maior investimento, mas outros equipamentos necessários, como sistemas de movimentação e armazenagem do bagaço, turbinas, geradores, transformadores e redes de transmissão são também dispendiosos. Informações fornecidas por uma das unidades sucroalcooleiras que comercializam energia elétrica no Mato Grosso do Sul indicam que os investimentos com equipamentos básicos de uma planta de cogeração ultrapassam 100 milhões de reais (Tabela 04), custo que representa de 25 a 30% do custo total de uma unidade de produção.

Tabela 04 - Custo médio dos investimentos para produção e exportação de energia elétrica, com capacidade de 48 MWh.

Tipo de caldeira	Custo médio
Pressão operacional (Kgf/cm ²): 67	
Capacidade (Kg/h): 210 t	R\$ 50.000.000,00
Temperatura do vapor: 515 °C	
Turbina + gerador	R\$ 25.000.000,00
Transformadores de potencia	R\$ 20.000.000,00
Rede de transmissão por quilometro	R\$ 300.000,00 a R\$ 450.000,00

Fonte: Autores, com informações de uma das unidades sucroalcooleiras que comercializa energia elétrica e do ex-diretor do Grupo de unidades sucroalcooleiras São Martinho.

Os valores elevados dos investimentos necessários para geração de energia elétrica a partir de biomassa, a diferença de equipamentos entre uma usina que comercializa e outra que apenas gera para uso próprio e a dificuldade de realocar esses equipamentos numa outra unidade são todos indicadores de um alto grau de especificidade de ativos, essencialmente de ativos físicos. Essa característica aumenta a necessidade de garantias para o bom funcionamento das transações.

Apesar do elevado investimento inicial, os equipamentos podem ser facilmente depreciados com o tempo, pois são de grande durabilidade. As caldeiras podem funcionar 50 anos e os geradores, com uma manutenção há cada 5 anos, podem durar mais de 100 anos. Assim, contratos de longo prazo, como aqueles praticados no Ambiente de Contratação Regulado, oferecem a garantia de poder depreciar o investimento ao longo do tempo.

O palhiço é outro combustível que pode ser usado. Entre as unidades ativas que comercializam energia elétrica, apenas uma afirmou queimar o palhiço em complementação ao bagaço. Neste caso, conforme informação desta unidade, o recolhimento do palhiço exige equipamentos específicos para enleiramento e transporte até a planta de cogeração. Esses equipamentos, se revendidos, perdem valor, o que também caracteriza ativos físicos específicos. No entanto, o uso de palhiço como combustível ainda é um tema controverso. Há relatos de que o solo mais fértil pode ser retirado mecanicamente junto com a palha, aumentando a incidência de impurezas minerais na cana picada.

De acordo com Michelazzo e Braunbeck (2008) as unidades sucroalcooleiras podem também praticar a colheita no sistema integral, onde o palhiço é colhido junto com os colmos, com as colhedoras que operam com os extratores regulados para deixar

passar esse material. Nesse caso, o sistema usado exige da unidade sucroalcooleira estruturas específicas para recepção da cana, como o Sistema de Limpeza de Cana a Seco (SLCS). Esse equipamento substitui a limpeza úmida da cana inteira e é indicado quando a cana-de-açúcar é colhida mecanicamente, caso da quase totalidade da colheita no estado do Mato Grosso do Sul, mesmo sem a recuperação de palhiço. Neste caso, quando o transporte do palhiço ocorre junto com a cana e a recuperação é feita por ventilação a seco, é possível concluir que os equipamentos não caracterizam investimentos específicos, porque obrigatoriamente são usados para a limpeza a seco da cana picada para evitar perda de açúcar na água de lavagem.

5.4 Incertezas na comercialização de energia elétrica proveniente da biomassa cana-de-açúcar

Embora o setor elétrico busque minimizar as incertezas nos arranjos de comercialização da energia elétrica, pode-se afirmar que ainda ocorre grande insegurança.

As principais incertezas que influenciam a decisão de comercializar energia elétrica a partir de biomassa são essencialmente ligadas às instituições, com enfoque nas inserções políticas e de regulamentação, como abordadas por Williamson (1996). Se a autonomia do sistema judiciário não parece ser o principal problema no Brasil, a autonomia do sistema legislativo é mais preocupante, assim como a dos órgãos reguladores, ambos sujeitos à influência do Governo executivo. Essa influência pode ser percebida pela Medida Provisória nº 579, de 11 de setembro de 2012, regulamentada pelo Decreto Nº 7.805, de 14 de setembro de 2012 (BRASIL, 2012), que obrigaram as hidrelétricas cujo prazo remanescente de concessão era igual ou inferior a sessenta meses, a requerer a prorrogação até 15 de outubro de 2012.

O descumprimento desse prazo tinha como consequência a interrupção da concessão depois de seu término, enquanto que as empresas que cumpriam o prazo podiam ter seus contratos prorrogados por mais 30 anos. Nesses novos contratos, as quantidades de fornecimento e os preços foram definidos pelo poder concedente, com redução em relação aos preços praticados antes da renovação.

Essa renovação foi uma ingerência clara do Governo Federal nos contratos praticados no setor, que obrigou as empresas a abandonar os contratos firmados, que estavam próximo do término, como forma de forçar a redução dos preços e

aumento da produção. No entanto, a renegociação foi realizada apenas com as empresas em final de contrato. Por essa razão acredita-se que a perda de credibilidade do Governo Federal foi limitada e não afetou as unidades geradoras a partir de biomassa de cana-de-açúcar, todas com contratos recentes.

Um impacto muito maior, que também caracteriza intervenção nas Políticas Públicas, foi a redução do teto do Preço de Liquidação das Diferenças, de R\$ 822,83 em 2014 para R\$ 388,48 por MWh em 2015. A fixação do limite de preço no mercado *spot* é uma ingerência clara do Governo Federal, que impede o preço de flutuar em função da Oferta e Demanda. No entanto, a redução do PLD pode ter tido um impacto positivo nos investimentos do setor, pois limita as perdas das empresas que não conseguem fornecer as quantidades estabelecidas em contratos.

No ano de 2014, em função da seca que castigou a região Sudeste, muitas hidrelétricas não conseguiram energia suficiente para honrar seus contratos e tiveram que complementar sua produção no mercado *spot*. No entanto, enquanto o preço de comercialização fixado por contrato girava em torno de 200 R\$/MWh, o preço médio de compra no PLD foi de 689 (Figura 05), chegando até 822,83 parte do ano, o que ocasionou perdas relevantes para as hidrelétricas.

As dificuldades em relação a seca também impactaram as unidades sucroalcooleiras, pois a falta de agua reduziu a produção da matéria-prima e, por consequência, o fornecimento de bagaço e com isso, indiretamente, o fornecimento de energia elétrica. Algumas empresas de São Paulo tiveram necessidade de complementar sua produção de energia elétrica no mercado *spot*. Um limite de PLD muito alto pode favorecer as empresas em caso de disponibilidade de bagaço, mas, para as empresas com contratos no ACR e no ACL, a falta de combustível pode resultar em grandes prejuízos.

O alto valor dos investimentos específicos obriga as unidades sucroalcooleiras que fornecem energia elétrica no SIN a buscar arranjos via ACR e ACL. Altos valores do PLD podem representar um freio para novos investimentos, com medo de grande prejuízo em caso de não atendimento aos contratos. A maioria das unidades sucroalcooleiras limita o risco de falta de matéria-prima com um *mix* de arranjos contratuais no ACR, ou no ACL, e no mercado *spot* (Tabela 02), mas a redução do limite máximo do PLD, como ocorreu em 2015 (Figura 05), pode ser um fator positivo para o setor e favorecer a assinatura de contratos no mercado regulado, mesmo se limita os ganhos potenciais no mercado *spot*.

No entanto, é preciso distinguir o não atendimento aos contratos por problemas climáticos excepcionais, como em 2014, dos problemas devidos à má organização dos empreendimentos, com escolha inadequada de arranjos institucionais ou superestimação da capacidade geradora. A redução do limite máximo do PLD pelo Governo Federal não faz distinção entre essas duas situações, o que prejudica a eficiência em médio e longo prazo do setor, pois limita o prejuízo das empresas que não conseguem cumprir seus contratos por serem ineficientes. Um sistema de garantia contra problemas climáticos e a livre flutuação do PLD permitiriam uma diferenciação clara entre problemas accidentais, que escapam do controle das empresas, e problemas organizacionais.

Apesar do impacto limitado das ações do Governo Federal sobre as unidades sucroalcooleiras fornecedoras de energia elétrica no SIN, persiste o problema de falta de credibilidade do Governo Federal, devido à possibilidade de novas interferências no PLD. Para a *International Energy Agency* (IEA, 2015), a incerteza regulatória, associada à crise econômica, continua sendo uma limitação na projeção de futuros investimentos para a produção de energia elétrica no Brasil, não apenas naqueles baseados em biomassa de cana-de-açúcar.

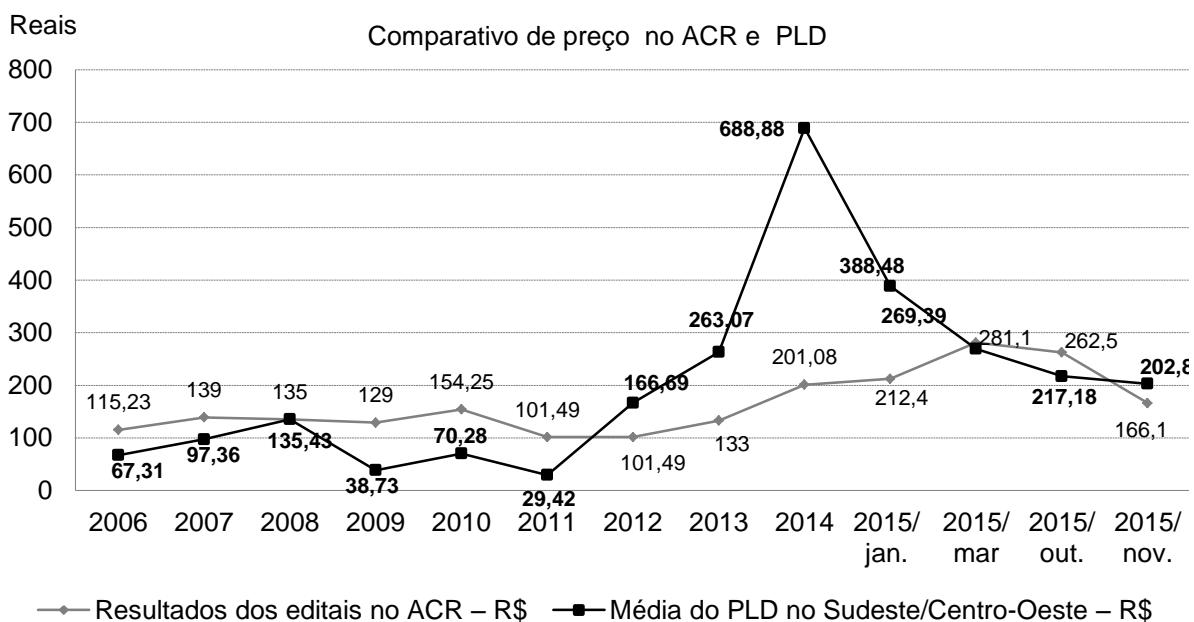


Figura 05 – Variação do preço de comercialização da energia elétrica, conforme os resultados dos leilões no ACR e o preço médio anual do PLD do Sudeste/Centro-Oeste, em R\$ / MWh, no período de 2006 a 2015.

Fonte: CCEE (2015b), CCEE (2015c), CCEE (2015d).

Conforme indicado na Figura 05, os preços médios anualizados do PLD

Sudeste/Centro-Oeste, em R\$ por MWh no período 2006 a 2012 apresentaram pouca oscilação, mas em 2013/14 o preço aumentou de R\$ 166,69 para R\$ 688,88, devido ao crescimento na demanda e à baixa produção de energia pelas hidrelétricas, em função da crise hídrica. No início de 2015, com a produção e o consumo estabilizado, o preço do PLD caiu de R\$ 688,88 para R\$ 388,48 e em novembro do mesmo ano estava em R\$ 202,87.

De acordo com o gerente do setor de eletricidade da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2015a) o leilão A-5 divulgado em março de 2015 era um indicador de que o Governo Federal pretendia estimular a retomada dos investimentos em eletricidade de biomassa. O preço teto do A-5 foi fixado em R\$ 281,10 por MWh, com início de suprimento a partir de 1º de janeiro de 2020 e duração dos contratos de 25 anos. Quando comparado ao último leilão A-5, ocorrido em novembro de 2014, observa-se um acréscimo de 34% do preço teto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estado do Mato Grosso do Sul, as primeiras transações comerciais da energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar foram por meio da venda no Ambiente de Contratação Regulado - ACR, com contratos de longo prazo. Em 2015, o setor sucroalcooleiro do estado contava com 22 unidades em atividade, com capacidade instalada para processar 60 milhões de tonelada de cana-de-açúcar por safra. Dessas, 12 estavam equipadas com caldeiras e complementos necessários para produzir energia elétrica excedente para comercializar no SIN.

A energia elétrica obtida da cana-de-açúcar é comercializada somente por metade das unidades sucroalcooleiras do estado. A ausência das outras unidades sucroalcooleiras estaduais nesse mercado pode se explicar pelos altos investimentos em ativos físicos específicos, com a implantação de caldeiras especiais, geradores e rede de transmissão até a linha da distribuidora. Esses investimentos podem ultrapassar 25% do valor total da usina, valor elevado para muitas empresas, principalmente em função da crise pelo qual passou o setor entre 2013 e 2015.

A interferência do Governo Federal, que mesmo sem intervir nos arranjos de comercialização influenciou grandemente nas orientações do mercado, tem causado grande incerteza no setor de energia elétrica. No entanto, é possível estimar que essa ingerência, que foi um problema para as hidrelétricas em 2013 e 2014, não

tenha afetado o setor de cana-de-açúcar, pois não alterou os contratos do setor. Por outro lado, a intervenção no Preço de Liquidação das Diferenças – PLD pode representar uma influência maior. A redução das flutuações do preço no mercado *spot* impede a adaptação entre oferta e demanda de energia, com potencial para inibir a competitividade no setor. Em paralelo, o valor elevado de investimentos em ativos específicos leva as empresas a selecionar sistemas de governança *mix*, com arranjos híbridos que apresentam maiores níveis de garantias, caso dos arranjos no Ambiente de Contratação Regulado - ACR e no Ambiente de Contratação Livre – ACL, e mercado *spot*, que permite comercializar o excedente de produção e serve para regular os arranjos híbridos.

No entanto, principalmente no ACR, no caso da impossibilidade de entregar as quantidades de energia fixadas em contrato, o que pode acontecer em período de seca prolongada ou depois de geada, a empresa deve se abastecer no mercado *spot* para completar a produção. Com um PLD muito elevado, a empresa corre o risco de comprar energia no mercado *spot* à preço muito elevado para revendê-la no preço fixado no contrato, que chegou a ser quatro vezes menor em 2014.

Assim, o controle do PLD pelo Governo limita os comportamentos mais especulativos, que prejudicam investimentos de longo prazo, com exigência de garantias. A queda do Preço de Liquidação das Diferenças pode obrigar as unidades sucroalcooleiras a focalizarem-se na produção em longo prazo, a partir de contratos no ACR e no ACL. Nesse caso, o mercado *spot* retorna ao seu papel inicial de ajuste de curto prazo. No entanto, esse controle limita também as perdas das empresas que deixaram de atender seus contratos por mau planejamento. Nesse caso, um sistema de proteção contra riscos excepcionais, como fortes períodos de seca ou geada, e a livre flutuação do PLD, teria o mesmo efeito de proteção dos contratos de longo prazo, sem prejudicar a competitividade no setor.

Finalmente, conclui-se que, apesar da importância da interferência do Governo Federal nos arranjos institucionais do setor elétrico brasileiro, os custos de investimentos apresentam impacto maior sobre a decisão de fornecer energia elétrica no SIN.

A crise econômica pela qual passa o Brasil tem um impacto muito maior sobre o nível de investimento em geração de eletricidade pelo setor sucroalcooleiro do que a ingerência do Governo Federal ou o nível de preço do PLD. Em período de crise a tendência é das empresas postergarem os investimentos elevados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - **Banco de Informações de Geração.** Matriz de Energia Elétrica. BIG/ANEEL, Brasília 2015a.

_____.LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA - 3º LER. Minuta do Leilão nº 11/2015 - Processo nº 48500.006535/2014-93, Brasília, 2015b.

_____. **Banco de Informações de Geração.** Resumo Estadual. BIG/ANEEL, Brasília 2014.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA DE MATO GROSSO DO SUL - BIOSUL. **Associadas.** Campo Grade – MS, 2015.

_____. **Série Histórica** - Exportação de Bioeletricidade. MS, 2015.

ARAUJO, J. L. R. H.; COSTA A.M.A.; CORREA T.; MELO E. Energy contracting in Brazil and electricity prices. International Journal of Energy Sector Management, v. 2, n.1, p. 36-51, 2008.

BOCCI, E.; DI CARLO, A.; MARCELO, D. Power plant perspectives for sugarcane mills. **Energy**, v.34 p. 689-698, 2009

BRASIL. Lei Nº 5.899 de 05 de julho de 1973. Dispõe sobre a aquisição dos serviços de eletricidade da ITAIPU e dá outras providências. Brasília, 1973.

_____. Decreto Nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2004a.

_____. Lei Nº 10.847 de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. Brasília, 2004b

_____. Lei Nº 10.848 de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Brasília, 2004c

_____. Decreto Nº 6.048 de 27 de fevereiro de 2007. Altera os arts. 11, 19, 27, 34 e 36 do Decreto no 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia Elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica. Brasília 2007.

_____. Decreto Nº 7.805 de 14 de setembro de 2012. Regulamenta a Medida Provisória no 579, de 11 de setembro de 2012, que dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais, sobre a modicidade tarifária, e dá outras providências. Brasília, 2012.

CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Contratos – Regras de comercialização.** Versão 2015a.

_____.InfoPLD n. 190 maio 2015 e Info Leilão nº 12 abril 2015 – São Paulo.

2015b

_____.InfoPLD n. 017 - 15º Leilão de Energia Existente (A-1) de 11 de dez. 2015c

_____. InfoPLD Nº 220 – Evolução do PLD no Sudeste/C. Oeste (em R\$/MWh) dez. 2015d

_____.Setor elétrico - Com quem se relaciona. São Paulo 2015e.

_____.Visão geral das operações do setor elétrico. Disponível em <<https://vimeo.com/66105371>>, acesso em jun de 2015e.

COASE, R. H. The Nature of the Firm. *Economica, New Series*, v. 4, n. 16. p. 386-405, nov., 1937.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar. Brasília, abr. 2015.

COUTINHO, P. C.; OLIVEIRA A. R.; Trading Forward in the Brazilian Electricity Market. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 3, n. 3, 2013, p. 272-287.

DALBEM, M. C.; BRANDÃO L. E. T.; GOMES L. L. Can the regulated market help foster a free market for wind energy in Brazil? **Energy Policy** v. 66, p. 303-311, 2014.

FIANI, R. Teoria dos custos de transação. In KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticos no Brasil**. Rio de Jan. 2002.

GOMES, C. F. e MAIA, A. C. C. Ordenação de alternativas de biomassa utilizando o apoio multicritério à decisão. **Produção**, v. 23, n. 3, p. 488-499, jul./set. 2013.

GRISI, E. F.; YUSTA, J.M.; DUFO-LÓPEZ, R. Opportunity costs for bioelectricity sales in Brazilian sucro-energetic industries. **Applied Energy**, v. 92, p. 860 - 867, 2012.

HOFSETZ, K.; SILVA M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 564 – 573, nov. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Center for Strategic and International Studies, Washington, Jul., 2013.

_____. NUCLEAR ENERGY AGENCY. **Projected Costs of Generating Electricity**. França, 2015.

KLEVAS, V.; MINKSTIMAS R. The guidelines for state policy of energy efficiency in Lithuania. **Energy Policy**, v. 32, p. 309 – 320, 2004.

MÉNARD, C. The economics of hybrid organizations. **Journal of Institutional and Theoretical Economics JITE**, v. 160, n.3, p. 345-376, 2004.

MICHELAZZO, M. B. e BRAUNBECK O. A. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhço na colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 12, n. 5, p. 546 – 552, 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-MME/EPE/BEN. **Balanço Energético Nacional**. Rio de Janeiro, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Boletim Mensal de Energia**. Brasília, jul., 2015a.

_____. **Resenha Energética Brasileira**. Exercício de 2014. Brasília, Jun. 2015b.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M. **O mapa sucroenergético do Brasil**. In: SOUZA, E. L. de; MACEDO, I. de C. (Coord.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

NORTH, D. Institutions, Institutional Change and Economic Performance. **Cambridge University Press**, p. 152, 1990.

REGO, E. E.; PARENTE V. Brazilian experience in electricity auctions: Comparing outcomes from new and old energy auctions as well as the application of the hybrid Anglo-Dutch design. **Energy Policy**, v. 55, 2013.

RENDEIRO, G.; MACEDO E.N.; PINHEIRO G. Pinho J. Analysis on the feasibility of biomass power plants adding to the electric power system e Economic, regulatory and market aspects e State of Pará, Brazil. **Renewable Energy**, v. 36, p. 1678 e 1684, 2011.

SCARAMUCCI, J. ; PERIN C, P.; BORDONI O. F. J. G.; CUNHA M.P; CORTEZ L. Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model. **Energy Policy**, v. 34, p. 986 – 992, jun., 2006.

SOUZA, F. C.; LEGEY L. F. L. Dynamics of risk management tools and auctions in the second phase of the Brazilian Electricity Market reform. **Energy Policy**, v. 38, p. 1715-1733, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Biomassa espera continuidade na melhoria das condições dos leilões**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/27460993920332180623/biomassa-espera-continuidade-na-melhoria-das-condicoes-dos-leiloes/>>. acesso em jun. 2015a.

URSAIA, G. C.; GUERRA J. B. A; YOUSSEF Y. A.; LORDEMANN J. A. O quadro político e institucional do setor energético brasileiro. Portugal, Leiria. GlobAdvantage of Center of Research in International Business e Strategy. **Working paper**,

Portugal, n. 92, jun. 2013.

VAHL, F. P.; RICARDO RÜTHER, R.; CASAROTTO FILHO N. The influence of distributed generation penetration levels on energy markets. **Energy Policy**, v. 62, p. 226 – 235, nov. 2013.

WILLIAMSON, O. E. Comparative Economic Organization: The Analysis of Discrete Structural Alternatives. **Administrative Science Quarterly**, v. 36, n. 2, p. 269-296, jun. 1991.

_____. **Transaction cost economics and organization theory.** HBS Conference on Organization Design. Dec. 5-6, 2008.

_____. **The Economic Institutions of Capitalism.** New York, The Free. Press, 1985.

_____. **The mechanisms of governance.** New York: Oxford University, 1996.

ZYLBERSZTAJN, D. Papel dos contratos na coordenação Agro-Industrial: um olhar além dos mercados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 43, n.03, p. 385-420, 2005.

_____. **Estruturas de governança e coordenação do agribusiness: uma aplicação da Nova Economia das Instituições.** 1995, 238p. Tese Livre-Docência - Departamento de Administração, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa na qual os artigos tiveram origem, analisou o agronegócio do Mato Grosso do Sul, sob as perspectivas da produção e venda de excedentes de energia elétrica da cana-de-açúcar, como terceiro produto do setor canavieiro. Para isso foi necessário estabelecer o potencial da cogeração das unidades sucroalcooleiras, uma vez que esses dados não se encontravam disponibilizados na literatura. Dos produtos gerados nestas unidades, apenas o açúcar compete em nível internacional com preços reais, o etanol e a energia elétrica são fortemente controlados pelas agências reguladoras do governo federal.

No Brasil, a energia elétrica da cana-de-açúcar, como produto a ser comercializado, começou a ser produzida após 2004 e como efeito do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica do governo federal. Nesse mesmo período, o governo federal fez campanha, para tornar o etanol combustível um produto de exportação. Na região Centro Oeste, houve uma movimentação política, que criou uma grande expectativa junto aos investidores, muitos deles sem grande conhecimento técnico do processo agroindustrial da cana-de-açúcar. Com os financiamentos garantidos, os investidores não se preocuparam muito com a produção de energia elétrica excedente, uma vez que não era o foco do empreendimento. Rapidamente essa posição mudou face às mudanças ocorridas no planejamento energético, com o atraso das obras das hidrelétricas e redes de transmissão de alta tensão.

Outro fato significativo foi o déficit em profissionais capacitados em tecnologias específicas do setor, como foi o caso da gestão industrial e no setor de cogeração, que para ser eficiente exige precisão no sistema operacional das caldeiras e turbinas.

No espírito desta euforia, muitas unidades sucroalcooleiras foram atraídas para o Mato Grosso do Sul, como nova fronteira do cultivo da cana-de-açúcar, o que explica porque a metade das unidades é de destilarias autônomas, que não produzem açúcar, mas que podem perfeitamente produzir energia excedente para a venda. Também explica porque parte das unidades sucroalcooleiras implantadas a partir de 2005, contam com pelo menos uma caldeira de alta pressão.

Apesar da maioria das caldeiras são projetadas para queimar bagaço com 50%

de umidade, já existem melhorias nesse processo, principalmente no sistema de queima com grelhas diferenciadas. No estado uma das unidades possui caldeira com leito fluidizado borbulhante, adequada para queimar diferentes tipos de biomassa, com maior teor de umidade. As caldeiras disponíveis no mercado sofrem desgastes prematuros das partes internas por abrasão e corrosão, causados pela queima de combustível com baixa qualidade em termos de umidade, impurezas minerais e outros, que são características do bagaço. Essas tecnologias são onerosas e para encorajar os investidores a inovar na produção de energia seria necessária a intervenção do poder público, com políticas mais transparentes, duradouras que diminua as incertezas do setor proporcionando maior segurança.

Em relação ao uso do palhiço, apenas uma unidade sucroalcooleira do estado faz cogeração com bagaço com 50% de umidade, em mistura de 30% com palhiço com 14% de umidade.

Na questão central da pesquisa, os resultados demonstram que o Mato Grosso do Sul tem muito potencial para explorar a produção de energia elétrica da biomassa de cana-de-açúcar, não só para atender o consumo do estado, mas para vender o excedente no SIN, caracterizando um estado produtor de energia. Ao injetar no SIN, a energia fica disponível em todo o país.

A pesquisa também identificou que o agronegócio, que é à base da economia nacional, o Mato Grosso do Sul utilizou pouco mais que 10% da energia consumida em 2014, mesmo recebendo subsídio na energia elétrica para uso em irrigação, das áreas cultivadas no estado, menos que 2% são irrigadas.

Além do já descrito, há necessidade de investir em pesquisa e aumentar a produção. Há necessidade de ajuste dos arranjos de comercialização da energia elétrica, com leilões que favoreça a produção de energia elétrica menos poluente, que contribui com as questões climáticas, que são reivindicações mundiais, acordadas entre os países para a redução das emissões dos Gases de Efeito Estufa.

Há também necessidade de que as empresas implantadas como unidades sucroalcooleiras tornem-se profissionalmente mais maduras e competitivas, buscando inovar e procurando antever novas fronteiras de tecnologia, como o fazem muito bem alguns grupos que se destacam no Brasil. Com essas mudanças, o potencial estimado da biomassa de cana-de-açúcar, pode ser efetivamente aceito e concretizado para fazer do Mato Grosso do Sul autossuficiente em energia elétrica

renovável.

Conclui-se que a energia da cana-de-açúcar pode ser estratégica para o desenvolvimento socioeconômico estadual, desde que sejam desenvolvidas políticas públicas, nas três esferas de governo, que favoreçam a produção e uso dessa energia renovável.

APÊNDICE

Roteiro de entrevista para ser usado nas Unidades sucroalcooleiras

Produtos/subprodutos	Unidades	Safra 2014/2015
Capacidade instalada da usina	Toneladas	
Cana processada na safra 2014/2015	Toneladas	
Área plantada geral	Hectare	
Área Plantada para corte	Hectare	
Produção	Hectare	
Cana destinada para etanol	Toneladas	
Cana destinada para açúcar	Toneladas	
Produção de açúcar	Kg	
Produção de açúcar VHP	Sacas de 50 Kg	
Produção de etanol anidro	m ³	
Produção de etanol hidratado	m ³	
Energia elétrica produzida na safra	MW/h	
Energia elétrica produzida por tonelada de cana	MWh	
Energia elétrica para autossuficiência	MW/h	
Energia elétrica exportada	MW/h	
Produção de vinhaça	m ³	
Produção de vinhaça	Por litro de etanol	
Produção de bagaço na safra	Toneladas	
Produção de bagaço – por tonelada de cana	kg	
Produção de torta de filtro na safra	Toneladas	
Produção de torta de filtro por tonelada de cana	kg	
Produção de cinzas na safra	Toneladas	
Produção de cinzas por tonelada de cana	kg	
Recolhimento de palhiço na safra	Toneladas	
Palhiço produzido por tonelada de cana	kg	
Óleo fúsil	Litros	
Planta de cogeração e tecnologia instalada:		