



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
GESTÃO AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PANORAMA SOBRE A UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO FONTE DE
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Amanda Garcete Marquetti

Cássila Alves de Moraes

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

Dourados, MS
Maio de 2016

Amanda Garcete Marquetti
Cássila Alves de Moraes

Panorama sobre a utilização do bagaço da cana-de-açúcar como fonte de geração de energia elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental

Dourados, 10 de maio de 2016.

ORIENTADOR

Prof. Dr. Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joelson Gonçalves Pereira

Prof. Dr. Marcelo Fossa da Paz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M357p Marquetti, Amanda Garoete
Panorama sobre a utilização do bagaço da cana-de-açúcar como fonte na geração de energia elétrica / Amanda Garoete Marquetti, Cássia Alves de Moraes – Dourados: UFGD, 2016.
31f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

TCC (graduação em Gestão Ambiental) - Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Bioenergia. 2. Cana-de-açúcar. 3. Sustentabilidade. I Cássia Alves de Moraes II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	2
1. SUSTENTABILIDADE	2
1.1 Benefícios da sustentabilidade	2
1.2 Dimensões da sustentabilidade	3
2. BREVE HISTÓRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL	4
3. MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL	4
3.1 Tipos de Energias	5
4. BIONERGIA A PARTIR DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	6
4.1 Cadeias de processos e produção relacionadas à cana-de-açúcar	6
4.2 Processos de geração de energia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar	10
4.3 Outros usos para o bagaço de cana-de-açúcar	12
OBJETIVO GERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
MATERIAL E MÉTODOS	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS	20
ANEXO I	24
ANEXO II	28
ANEXO III	30

PANORAMA SOBRE A UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO FONTE NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA¹

RESUMO: Atualmente, o mundo debate diversas questões relacionadas ao meio ambiente, como o consumismo exacerbado, que provoca, por exemplo, o aumento da poluição do solo, do ar e das águas. Em relação aos recursos hídricos, seu uso indiscriminado faz com que a água seja um bem a ser racionado. Sendo assim, alternativas na geração de energia elétrica de forma sustentável veem ganhando cada vez mais espaço, principalmente após os problemas de racionamento de energia enfrentados pelo país devido à falta de chuva, aliada à gestão inadequada e uso indiscriminado dos recursos. A queima do bagaço da cana-de-açúcar é uma dessas formas alternativas de gerar energia, processo que já vem sendo feito por usinas no país. O investimento na venda de seus excedentes de energia pode auxiliar significativamente a complementar a energia proveniente de usinas hidrelétricas, matriz predominante do Brasil. O objetivo do presente trabalho foi discutir a respeito da utilização do bagaço da cana-de-açúcar como fonte alternativa na geração de energia elétrica, avaliando as vantagens e desvantagens na produção de energia e debatendo sobre os usos atuais e potenciais do bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia na região de Dourados (MS). Para tanto, planejou-se trabalhar a partir de três instrumentos de coleta de dados: visitas técnicas às usinas, envio de questionário eletrônico às empresas do setor e consulta aos dados nos *sites* das usinas. Tendo sucesso apenas na última frente, verificou-se pelos dados de produção de açúcar, etanol e bioenergia que as usinas possuem grande potencial na geração e exportação de seus excedentes de energia, embora muitas delas ainda não realizem esse processo. Também foi constatado que, devido à crise no setor sucroalcooleiro, a venda de energia elétrica tem sido cada vez mais utilizada pelas usinas como alternativa para geração de lucro.

Palavras-chave: bioenergia; cana-de-açúcar; sustentabilidade.

OVERVIEW ABOUT USE OF SUGARCANE BAGASSE AS A SOURCE OF ELECTRICAL POWER GENERATION

ABSTRACT: Currently, there is an intense discussion about environmental problems, such as consumerism, which causes, for example, the increased pollution of soil, air and water. In relation to water resources, its indiscriminate use imposes the need to ration them. Thus, sustainable alternatives to electric power generation are increasing, especially after problems related to energy rationing faced by Brazil due to lack of rainfall, combined with inadequate management and indiscriminate use of resources. The burning of sugarcane bagasse is one of these alternative ways of generating energy, a process that is already being done by sugarcane industry in this country. The investment in the sale of their surplus energy can help significantly to complement the energy from hydroelectric plants, which are the main Brazil's energy matrix. The purpose of this study was to discuss about the use of sugarcane bagasse as an alternative source in electric power generation, evaluating the advantages and disadvantages in the production of energy and discussing about the

¹ ¹Trabalho de Conclusão de Curso escrito em forma de artigo seguindo as normas da Revista Brasileira de Ciências Ambientais.

current and potential uses of sugarcane bagasse in energy production in the region of Dourados (state of Mato Grosso do Sul - Brazil). To achieve these goals, we used three data collection instruments: technical visits to sugar cane plants, sending electronic questionnaire to companies and querying of data in the sites of the plants. Being successful just on the last instrument, it was verified by data about production of sugar, ethanol and bio-energy that sugarcane industries have great potential in generating and exporting their surplus energy, although many of them still don't realize this process. It was also noted that, due to the crisis in the sugar-alcohol sector, the sale of electric power has been increasingly used by plants as an alternative to generating profit.

Key-words: bioenergy; sugar cane; sustainability.

INTRODUÇÃO

1. SUSTENTABILIDADE

Devido ao grande crescimento populacional e ao aumento do consumismo intensificado nas últimas décadas, os recursos não-renováveis vêm sendo utilizados de maneira exagerada, tendo como objetivo central produzir cada vez mais, visando principalmente o lucro e a satisfação de uma sociedade consumista, sem pensar nas consequências negativas que isto pode gerar ao meio ambiente (DINIZ, 2011).

Conforme aponta Jacobi (2005, p. 183), "O planeta está chegando num ponto cada vez mais crítico, observando-se que não pode ser mantida a lógica prevalecente de aumento constante do consumo. Já se verificam os seus impactos no plano ecológico global".

Segundo Diniz (2011):

O que acontece no mundo contemporâneo é que sempre parecemos "precisar" de algo novo. [...] Esta urgência da sociedade respaldada no capitalismo e no aumento do poder aquisitivo de grande parte da população gera um ciclo interminável de descarte, onde tudo acaba se inutilizando em pouco tempo. Nessa perspectiva, para suprir as preferências de consumo, o ser humano acaba por interferir com agressividade no meio ambiente, pois quase tudo o que utiliza é proveniente da natureza, ou necessita de algum recurso natural para ser viabilizado. (DINIZ, 2011, s.p.)

Como reação a esse modelo de desenvolvimento, "[...] ganha força o paradigma da sustentabilidade, o qual aponta para a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento que busque integrar crescimento econômico, equidade social e preservação ambiental (BRÜSEKE, 1995 *apud* MATTOS, 2005, p. 2).

Lima (2006, p. 4.) define desenvolvimento sustentável como, "[...] um desenvolvimento viável no tempo, cuja condição essencial é a capacidade do sistema socioeconômico de não perder a energia, e ainda poder estar à disposição das gerações futuras [...]". Ainda segundo Lima (2006, p. 3), "Pode-se afirmar que a sustentabilidade busca conciliar a questão ambiental com a questão econômica incorporando o princípio básico da continuidade, nada pode ser sustentável se não for contínuo."

1.1 Benefícios da sustentabilidade

Para Mikhailova (2004, p. 25):

Em seu sentido lógico sustentabilidade é a capacidade de se sustentar, de se manter. Uma atividade sustentável é aquela que pode ser mantida para sempre. [...] uma exploração de um recurso natural exercida de forma sustentável durará para sempre, não se esgotará nunca. Uma sociedade sustentável é aquela que não coloca em risco os elementos do meio ambiente [...].

Essa autora deixa claro que a sustentabilidade visa suprir as necessidades da atual geração, sem comprometer as futuras gerações, ou seja, o benefício da sustentabilidade está em poder viver bem, com o que precisamos, sem exageros, para que no futuro as novas gerações também tenham qualidade de vida de forma assegurada.

Já Howarth (2007 apud PACCA e MOREIRA, 2013) afirma que a sustentabilidade traz benefícios que serão percebidos ao longo dos anos, pois é por meio dela que será garantido o uso consciente dos recursos sem desperdício, fazendo com que estes sejam assegurados de uma geração à outra: “[...] a sustentabilidade está relacionada a uma visão temporal sobre o meio ambiente. Ou seja, existe uma característica intrínseca ao conceito que é a de perpetuação de certo nível de qualidade ambiental intergerações.” (HOWARTH, 2007 apud PACCA e MOREIRA, 2013, p. 88).

Atualmente, ser sustentável não é mais uma opção, é uma necessidade de sobrevivência: devemos saber usufruir daquilo que a natureza nos oferece, porém sem exageros. O desperdício é o grande vilão da sustentabilidade, e nada melhor do que práticas de reaproveitamento para combatê-lo (LIMA, 2006).

1.2 Dimensões da sustentabilidade

A sustentabilidade abrange algumas dimensões. As três principais são: Sustentabilidade Social, Econômica e Ecológica. Na dimensão da sustentabilidade social,

[...] o objetivo principal é construir acivilização do “ser”, onde exista maior igualdade na distribuição do “ter” e da renda, para melhorar os direitos e as condições de amplas massas de população e diminuir a imensa distância entre os padrões de vida [...].” (GALLO, 2007, p. 39).

Nesse sentido, Gallo (2007, p. 39) nos dá a entender que a sustentabilidade social só acontecerá a partir de uma civilização mais humana, “ser” mais humana para que a diferença entre os povos seja cada vez menor, principalmente no que diz respeito à qualidade de vida das populações.

Ainda conforme esse mesmo autor, “a sustentabilidade econômica [...] é possibilitada pela alocação e gestão eficiente de recursos e por um fluxo regular de investimentos públicos e privados.” (GALLO, 2007, p. 40).

Por fim, segundo Gallo (2007, p. 40):

A terceira dimensão de sustentabilidade é a ecológica e pode ser melhorada com o uso dos seguintes mecanismos: aumento da capacidade de suporte da Terra pela intensificação do uso dos recursos potenciais dos ecossistemas, minimizando os danos a eles causados; limitação do uso de combustíveis fósseis e de recursos esgotáveis ou ecologicamente maléficis, trocando-os por recursos renováveis e/ou abundantes e ambientalmente inofensivos; redução dos resíduos e da poluição, por meio da conservação e reciclagem de energia e recursos; autolimitação do consumo material pelos países ricos e pelas classes sociais privilegiadas em todo o planeta; intensificação da pesquisa de tecnologias limpas e mais eficientes no uso dos recursos; definição de regras para a proteção ambiental, que deve ser acompanhada pela capacitação institucional dos agentes e pela montagem dos instrumentos econômicos, legais e administrativos necessários para a garantia do cumprimento dessas normas. (GALLO, 2007, p. 40)

Aquilo que Gallo (2007, p. 40) diz a respeito da segunda e terceira dimensão é que, para ter um país desenvolvido economicamente, deve-se, além de investir em conjuntos financeiros e administrativos, também preservar seus recursos naturais, aquilo que o país tem a oferecer. Isso

complementa fielmente a terceira dimensão, pois esta diz que só há sustentabilidade ecológica se houver uso discriminado de seus recursos naturais, ou seja, sem exageros, adotando práticas e utilizando ferramentas que auxiliem no uso consciente desses recursos.

2. BREVE HISTÓRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

Segundo Machado (2010, apud UDOP, 2012):

A cana-de-açúcar é, talvez, o único produto de origem agrícola destinado à alimentação que ao longo dos séculos foi alvo de disputas e conquistas [...]. A planta que dá origem ao produto encontrou lugar ideal no Brasil. Durante o Império, o país dependeu basicamente do cultivo da cana e da exportação do açúcar. Calcula-se que naquele período da história, a exportação do açúcar rendeu ao Brasil cinco vezes mais que as divisas proporcionadas por todos os outros produtos agrícolas destinados ao mercado externo. (MACHADO, 2010, apud UDOP, 2012)

Machado (2010) explica que a história da cana-de-açúcar no Brasil começou em 1532, quando a mesma foi trazida por Martim Affonso de Souza. Segundo o mesmo autor, a partir de engenhos criados em Pernambuco e Bahia, o açúcar foi ganhando seu espaço. Ainda conforme Machado (2010), com a grande expansão de açúcar no país, no século XX, engenhos criados no estado de São Paulo de aguardente foram perdendo seu espaço para as usinas de açúcar, e assim foram sendo criados grandes grupos açucareiros naquela região, onde hoje se encontra seus mais tradicionais produtores.

Desse modo, “[...] a cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira. O Brasil não é apenas o maior produtor de cana. É também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol e conquista, cada vez mais, o mercado externo. [...]” (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016). Sendo assim, podemos nos embasar na afirmação de FACHINELLO et al. (2011, p. 21) a respeito do papel econômico da atividade canieira:

Os números do PIB da cadeia evidenciam sua importância na geração de renda à economia brasileira, sendo as atividades de processamento e serviços (que incluem transporte, comércio e demais serviços da cadeia) os destaques. A cadeia da cana-de-açúcar gerou em 2001 R\$ 35,3 bilhões, atingindo em 2009 R\$ 65,8 bilhões (a preços de 2007), crescimento real de 86,1% nos nove anos avaliados (ou 8,1% ao ano, em média).

3. MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL

De acordo com o Portal Brasil (2010), “O Brasil usa energia hidrelétrica desde o final do século 19, mas as décadas de 1960 e 1970 marcaram a fase de maior investimento na construção de grandes usinas.” Conforme aponta Ruic (2010) “A preferência nacional pelas hidrelétricas está diretamente ligada à abundância de recursos hídricos no território brasileiro, são mais de 12 mil rios. Os que compõem a Bacia Amazônica, por exemplo, correspondem a 72% desse total.”

Segundo o *site* Brasil Nosso (2011)

O Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. As usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do País. Vale lembrar que a matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de Países industrializados, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento.

a. Tipos de Energias

O Brasil se tornou um grande exemplo de utilização de energias renováveis no mundo inteiro. Conforme Dantas Filho (2009, s.p.), “O Brasil possui, em relação às outras nações, a vantagem de poder planejar sua matriz energética utilizando grandes quantidades de fontes primárias renováveis.”

Segundo Fontes (2013), “[...] mais de 44% da energia produzida em solo brasileiro vem de fontes renováveis, através das hidrelétricas, energia eólica, biomassa.”. A bioenergia envolve a geração de energia renovável, proveniente de fontes biológicas. Ela “[...] é concebida sob modernas tecnologias de produção e conversão, atendendo aos pressupostos de sustentabilidade e sendo reconhecida como uma forma renovável de suprimento energético.” (FAO 2001 apud BNDES e CGEE, 2008).

Segundo Tanji (2015, s. p.), “[...] muita coisa mudou desde 2001, ano em que o país viveu a pior crise energética de sua história, motivada pela falta de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas e, principalmente, pela diminuição nos investimentos na infraestrutura de distribuição de energia [...]”. Ligando a afirmação da FAO (2001, apud BNDES e CGEE, 2008 p. 35) a de Tanji (2015, s.p.), podemos entender que a crise no abastecimento de energia no ano de 2001, causada pela escassez de água (que é o recurso para geração de energia pelas turbinas das hidrelétricas), fez com que o país viesse, mesmo que de forma lenta, investindo em fontes alternativas que visam à sustentabilidade, em decorrência de acontecimentos como este. Dessa forma, a energia a partir da biomassa vem ganhando espaço, com seu destaque na energia proveniente do bagaço da cana-de-açúcar.

A importância da biomassa está no aproveitamento de materiais que, em tese, seriam descartáveis, como restos agrícolas (principalmente o bagaço da cana-de-açúcar).

Segundo Fernandes e Miguel (2011, p.6), o surgimento de diferentes formas do uso do bagaço de cana-de-açúcar fez com que as usinas buscassem adotar novas ideias, de modo a ter maior competitividade no mercado e melhorar o desempenho de produção:

Nas últimas décadas, as usinas de cana-de-açúcar passaram a adotar diferentes estratégias competitivas e novas formas de organização e administração da produção. As empresas deixaram de apenas fabricar açúcar e segmentaram a produção e a distribuição e o aproveitamento de seus subprodutos como o bagaço da cana-de-açúcar. A cogeração também promove benefícios econômicos, pois o bagaço não teria utilidade e ficaria depositado na natureza esperando a decomposição. Com isso, reduz perdas melhorando o abastecimento de energia, contribuindo para que não falte o recurso em determinadas épocas do ano, pois as fontes são diversificadas.

4. BIONERGIA A PARTIR DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

4.1 Cadeias de processos e produção relacionadas à cana-de-açúcar

A produção de cana-de-açúcar no Brasil vem crescendo cada vez mais, conforme apontam os dados do IBGE/PAM (ano 2010) mostrados na Figura 1. Assim, percebe-se que, em 1960, a produção por toneladas era de cerca de 57 milhões e, em 2010, alcançou quase 800 milhões de toneladas, representando um aumento equivalente a 70,8% em 5 anos. As regiões Centro-Sul e Nordeste são as que concentram as maiores produções de cana-de-açúcar no Brasil (Figura 2).

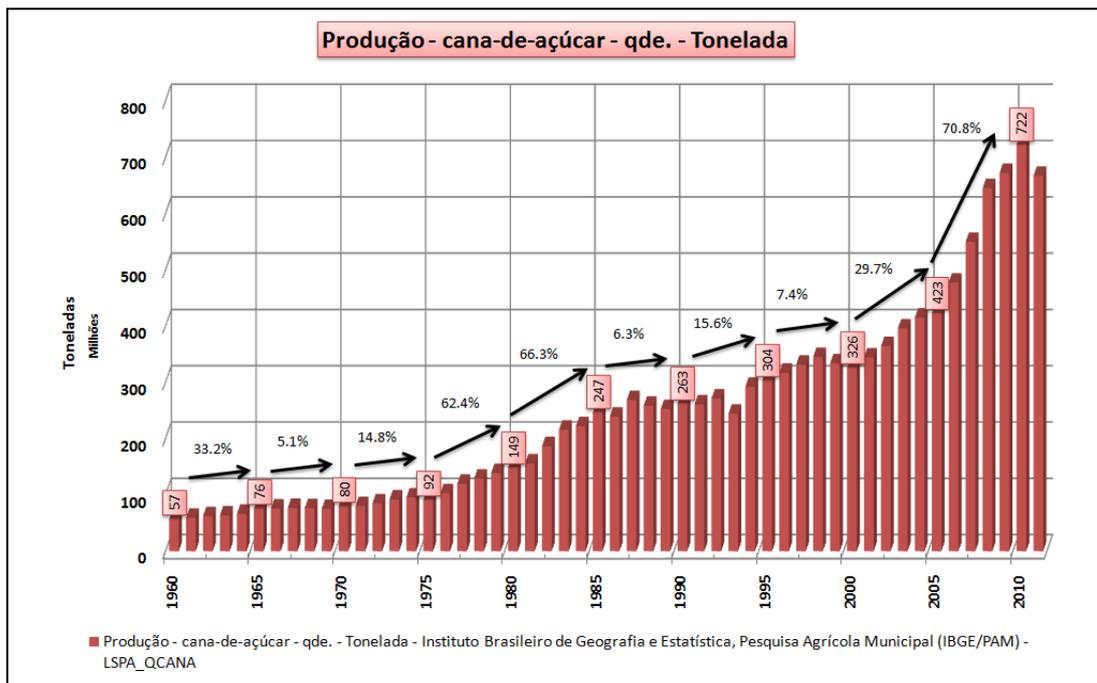


Figura 1: Produção de cana-de-açúcar entre as décadas de 1960 e 2010.-
Fonte: (IBGE/PAM)

Segundo Macedo (2007, p. 160), “O Brasil é o maior produtor mundial de cana (33,9%), açúcar (18,5%) e etanol (36,4%); e também o maior exportador de açúcar e etanol. Etanol corresponde a 40,6% do combustível para veículos leves (total de 19,2 milhões de veículos).”. Para o autor, é evidente a busca por avanços na produção, o que se confirma na crescente produção de açúcar e etanol no decorrer dos anos e no investimento em novas tecnologias que permitem produzir cada vez mais.

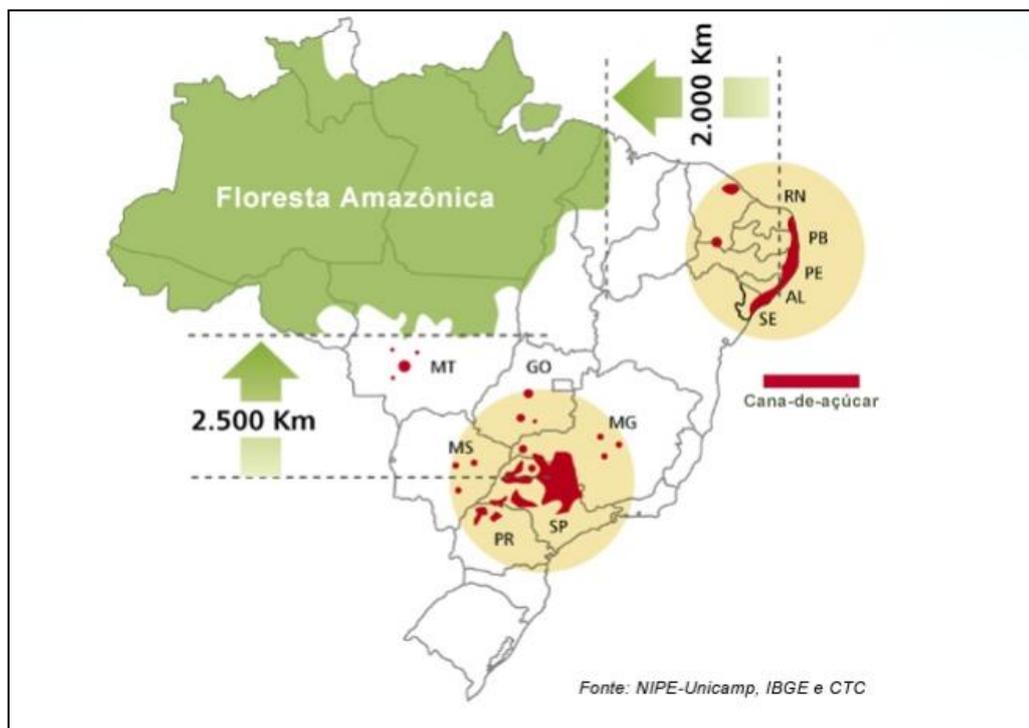


Figura 2: Concentração do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil
 Extraído de: http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs_pdf/eixo_3/abep2010_2411.pdf

Como podemos constatar na Tabela 1, com dados de fevereiro de 2016, a energia proveniente da biomassa já é a 3ª mais utilizada no Brasil (quando as fontes fósseis são agregadas), representando quase 10% da matriz energética do país (UNICA, 2016).

Tabela 1: Fontes utilizadas no Brasil

Fontes utilizadas no Brasil - Unidades em Operação		
Origem	Potência Outorgada (kW)	% Potência Outorgada
Hídrica	94.784.428	64,82
Fóssil	27.289.810	18,66
Biomassa	13.941.701	9,53
Nuclear	1.990.000	1,36
Eólica	8.195.568	5,60
Solar	25.336	0,02
Total	146.226.843	100

Fonte: ANEEL (2016). Elaboração: UNICA (2016).

Se compararmos a Tabela 1, que traz informações do ano de 2016, com a Figura 3, com informações referentes a 2011, ambas mostrando dados sobre as fontes de energia mais utilizadas no país, podemos constatar como a energia proveniente de biomassa, aumentou mais de 3 pontos percentuais nesses cinco anos.

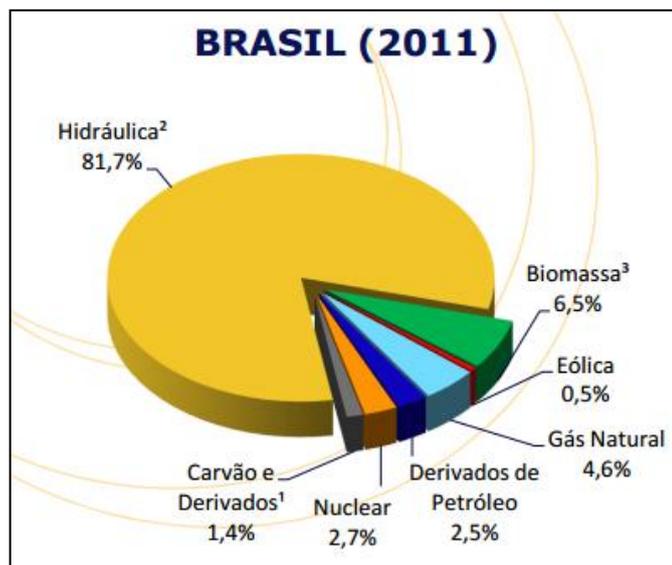


Figura 3: Fontes de energia elétrica mais utilizadas no Brasil em 2011.
Fonte: Matrizes, 2011.

Em relação à matriz energética brasileira, Brandão et al. (2009, p. 29) apontam que:

Como complemento à energia de origem hídrica, entra a alternativa da biomassa da cana-de-açúcar, que é o bagaço, além da palha. Essa bioeletricidade tem diversas vantagens, além de ser limpa e renovável, é em grande parte gerada perto dos maiores centros de demanda por energia elétrica. Mas, igualmente importante, e até estratégico, é o fato de ser complementar à hidrologia em termos sazonais: nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, o potencial de eletricidade da biomassa da cana-de-açúcar é concentrado entre os meses de abril a novembro, exatamente no período mais seco do ano.

Assim, como mencionado pelos autores citados, o que complementa a distribuição de energia por meio de hidrelétricas é a fonte alternativa de energia proveniente do bagaço da cana-de-açúcar, muito encontrada no país, já que estão instaladas no Brasil usinas com enorme capacidade na produção de açúcar e etanol, conseqüentemente gerando grande quantidade de bagaço, tornando viável a geração de bioenergia, como auxílio à matriz predominante. Isto fica evidente na Tabela 2, na qual podemos ver a cana-de-açúcar no topo das fontes de energia por meio de biomassa, com quase 79% de uso para a geração de energia (UNICA, 2016).

Tabela 2: Fontes de biomassa utilizadas no Brasil

Fontes de biomassa utilizadas no Brasil - Unidades em Operação		
Origem	Potência Outorgada(kW)	% Potência Outorgada
Biomassa de Cana de Açúcar	10.961.941	78,63
Floresta	2.779.647	19,94
Resíduos sólidos urbanos	81.083	0,58
Resíduos animais	1.924	0,01
Biocombustíveis líquidos	4.350	0,03
Casca de Arroz	45.333	0,33
Biogás-Agroindustrial	1.722	0,01
Capim Elefante	65.700	0,47
Total	13.941.700	100

Fonte: ANEEL (2016). Elaboração: UNICA (2016).

Conforme aponta a CONAB (2011, p. 19):

A geração elétrica com a queima do bagaço não é novidade no setor sucroalcooleiro. [...] A grande novidade está na geração de excedentes exportáveis para o sistema elétrico nacional, que somente em tempos recentes está se transformando em negócio corrente e a maior parte do seu potencial ainda está por ser explorado. [...] A venda do excedente de energia elétrica como novo negócio, de forma bastante tímida, surgiu no final dos anos 80. Somente passou a ser seriamente discutida como uma fonte alternativa interessante a partir de 2001, quando o país passou por sérias dificuldades de oferta de energia e foi necessária a implementação de um severo programa de racionamento no consumo da energia elétrica e de racionalização de seu uso.

Assim como afirma Conab (2011), a novidade na geração de energia pelo bagaço da cana-de-açúcar está na venda de energia que excede quanto a seu uso. Pode-se confirmar isso com dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que disponibiliza a quantidade de energia que foi comercializada em leilões entre os anos de 2004 até 2015 (Tabela 3).

Tabela 3: Bioeletricidade sucroenergética comercializada nos leilões regulados

Bioeletricidade sucroenergética comercializada nos leilões regulados		
Ano de venda no leilão	MW médios	Projetos
2004	135	19
2005	64	5
2006	119	9
2007	115	11
2008	541	31
2009	10	1
2010	191	12
2011	102	12
2012	-	-
2013	203	11
2014	90	6
2015	52	3
Total	1.622	120

Fonte: CCEE (2015). Somente UTEs com Custo Variável Nulo e 2004 refere-se ao PROINFA. Elaboração: UNICA (2015).

4.2 Processo de geração de energia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar

BERNARDES (2012, s.p.) explica como é realizado o processo de geração da energia a partir da queima do bagaço nas usinas de cana-de-açúcar:

O bagaço é queimado em caldeiras produtoras de vapor, substituindo combustíveis de fontes não-renováveis, como gás natural e carvão. O vapor alimenta uma turbina, movimentando hélices que geram energia mecânica. Na extremidade da turbina há um gerador que converte a energia mecânica em energia elétrica, a partir do ranking de produção das usinas de médio porte no Estado de São Paulo, a pesquisa estimou uma média anual de 2 milhões de toneladas de cana moídas por usina. Com 500 mil toneladas de resíduos, cada termelétrica poderia produzir 42 megawatts de eletricidade por hora, durante 4.600 horas por ano.

Ainda, conforme Bernardes (2012, s.p.), entende-se que a produção de energia proveniente do bagaço da cana-de-açúcar é viável do ponto de vista econômico e ambiental, pois é uma energia renovável, aproveitando-se de um subproduto da cana-de-açúcar, que é o bagaço que sobra. Assim sendo, algumas usinas a utilizam para gerar energia para própria empresa ou para vender para algumas companhias de energia do Brasil. Com essa fonte, não necessariamente ficamos dependente somente da energia gerada através de usinas hidrelétricas, já que vivemos uma crise hídrica no país.

Segundo ComCiência (2001 apud GUIMARAES et al. 2012, p.313), não há nenhuma desvantagem no processo da queima do bagaço de cana para a geração e energia, já que “o possível dano ambiental poderia ser a fumaça produzida na queima do bagaço, mas a fuligem produzida é retida em filtros. A própria fuligem acaba se tornando adubo para plantios futuros nas usinas [...]”

Fernandes e Miguel (2011) explicam todo o processo de como acontece a transformação de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar, desde a queima até o produto final. O processo se dá seguinte forma (FERNANDES e MIGUEL, 2011, p. 4): o bagaço é direcionado para a caldeira; logo em seguida, na caldeira, que possui dutos de água (a qual é tratada para que não haja problema nas tubulações), o bagaço é queimado e o calor gerado faz com que a água que se encontra nos dutos se transforme em vapor. Esse vapor se direciona para turbina, a qual aciona o gerador; a energia gerada é conduzida, através de fios e cabos, para um transformador, que distribuiu a energia para a rede. O vapor que fica no gerador e aciona as pás é depois levado para o condensador, no qual volta ao estado líquido e, assim, fecha-se o ciclo. Os autores afirmam que a queima do bagaço gera gás carbônico, oxigênio, outros tipos de gases e fuligem, sendo que os três primeiros saem pela chaminé e o último vai para o lavador de gases, para que não saia pela chaminé e assim não polua o meio ambiente.

As Figuras 4 e 5 mostram de forma esquemática, respectivamente, a planta de uma central de cogeração de bioeletricidade e as fases do processo de transformação do bagaço da cana-de-açúcar em bioenergia.



Figura 4: Planta de Central de Cogeração de Bioeletricidade.

Fonte: UDOP (2016) (disponível

em:http://www.udop.com.br/download/estatistica/biomassa/bioeletricidade_central_cogerao.pdf)

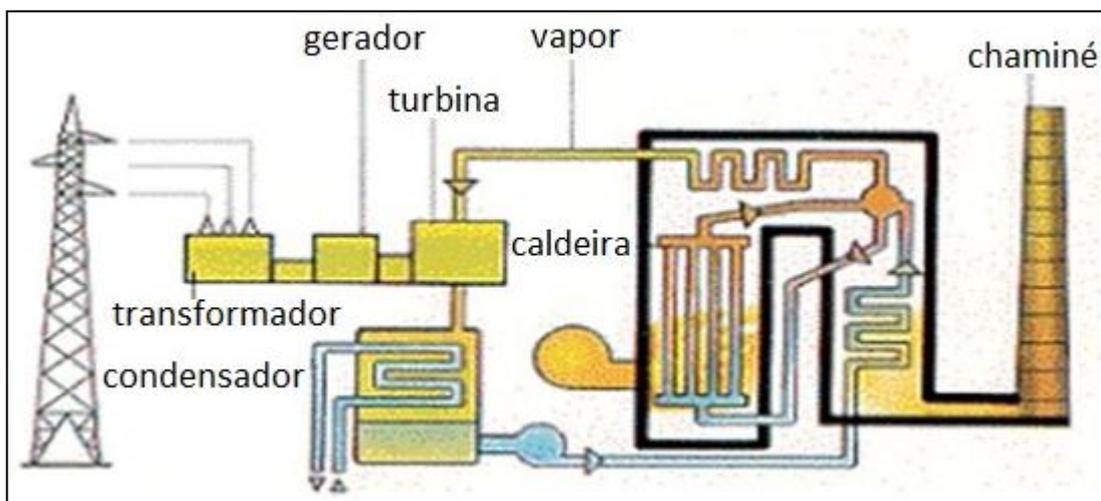


Figura 5: Esquema de funcionamento de uma Usina Termelétrica.

Fonte: Fernandes e Miguel (2011)

Guimarães et al. (2012, p. 313) explicam de uma maneira mais simples o processo:

Imaginemos uma enorme chaleira no fogo. Numa primeira etapa, o bagaço é queimado em caldeiras e gera vapor. O vapor de alta pressão alimenta uma turbina que produz energia elétrica, enquanto o vapor de baixa pressão é utilizado no processo produtivo das usinas. [...] Depois de passar pelas turbinas e geradores, o vapor produzido na queima do bagaço da cana gera a energia elétrica.

4.3 Outros usos para o bagaço de cana-de-açúcar

Segundo Zardo et. al. (2004),

O bagaço [da cana-de-açúcar] é o resultado da extração do caldo após esmagamento nas moendas, rico em conteúdo celular, que serve para fabricação de açúcar e álcool. [...] Apesar de ser utilizado também na geração de energia, a sobra de bagaço nas usinas é significativa e seu potencial como complemento volumoso para ruminantes é viável tecnicamente. (ZARDO et. al., 2004)

Conforme afirmação de Zardo et. al. (2004), além do uso do bagaço para geração de energia, ele também tem a função de servir como complemento para ruminantes, porém, sua viabilidade não se restringe apenas a essas atividades, como podemos constatar em um estudo realizado por Mendonça, (et. al. 2012 s. p.) em que se pesquisou um outro uso dado às cinzas do bagaço da cana-de-açúcar: “[...] tijolos solo-cimento com adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, tornam-se uma alternativa sustentável por estar substituindo de forma parcial o cimento Portland que é responsável por emitir dióxido de carbono para atmosfera, agravando assim o efeito estufa.” (MENDONÇA, 2015)

Ainda nesse contexto, Soares et al.(2015, p. 3.838) deixa claro que, apesar de seu aproveitamento, o uso do bagaço não pode ser 100% utilizado de forma plena,

Embora o bagaço de cana seja largamente utilizado como combustível e produção de papel, seu potencial nutritivo na alimentação animal ainda não foi suficientemente explorado, devido às características químicas e/ou físicas que reduzem o seu aproveitamento. (SOARES, 2015)

Ligando as ideias de Zardo et al. (2004, p.3), Mendonça et al.(2015) e Soares et al. (2015), percebe-se que, além de servir como fonte de energia, o bagaço pode ser utilizado de várias outras formas, como os tijolos feitos com cimento a partir da cinza do bagaço, a ração animal, além da bioenergia. Para que haja inovação no uso do bagaço, deve-se investir em pesquisas, mesmo que seu uso não seja 100% aproveitado.

OBJETIVO GERAL

O presente trabalho busca apresentar um panorama sobre a utilização do bagaço da cana-de-açúcar como fonte de geração de energia elétrica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos do trabalho:

- relacionar as vantagens e desvantagens do bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia como forma de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, utilizando uma fonte de energia renovável e minimizando o desperdício de resíduos; e
- discutir sobre os usos atuais e potenciais do bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia na região de Dourados-MS.

MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos elencados anteriormente, foram realizados os seguintes procedimentos:

- **Revisão bibliográfica sobre temas relacionados ao objetivo da pesquisa;**

Estas revisões foram feitas a partir de pesquisas a artigos relacionados ao tema que se encontravam disponíveis *online* e pesquisas em livros sobre o tema, disponíveis na Biblioteca Central da UFGD.

- **Levantamento e análise de dados da geração de energia por meio do bagaço de cana-de-açúcar em usinas brasileiras, com auxílio de:**

- a) Visitas técnicas;
- b) Aplicação de questionário eletrônico; e
- c) Dados disponíveis em sites das usinas de cana-de-açúcar, da União da Indústria de Cana-de-açúcar (ÚNICA) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

a) Visitas técnicas:

A partir de contatos telefônicos e via e-mails enviados às usinas São Fernando e Bunge Monte Verde, buscou-se um possível agendamento de visita técnica, na qual entrevistáramos os responsáveis nas usinas pelo processo de disposição e/ou tratamento do bagaço da cana-de-açúcar e registraríamos com fotos todo o processo de disposição e/ou tratamento do bagaço da cana-de-açúcar nas usinas até a geração de energia.

b) Questionário eletrônico:

Outra ação para o levantamento de dados foi à elaboração de um questionário *online* no *site* Google Docs. O questionário foi formulado com perguntas simples, de identificação e de múltipla escolha, totalizando 14 questões (Anexo 1). As perguntas eram sobre identificação referente às usinas e sobre o processo de tratamento e disposição do bagaço da cana-de-açúcar.

Foram selecionadas 36 usinas de açúcar e álcool no Brasil para envio do questionário. Esta seleção foi feita a partir do *site* Nova Cana (www.novacana.com/usinas-brasil/), o qual lista as principais usinas no país. Para a escolha das usinas, foram considerados critérios como: usinas mais conhecidas; mais próximas a região de Dourados (MS); e usinas que dispunham de informações sobre seus produtos gerados em seus respectivos sites.

c) Dados disponíveis em sites

Após selecionarmos as 36 usinas, foram coletados dados de produção daquelas que dispunham dessa informação em seus *sites*, como capacidade de moagem de cana-de-açúcar, e produção anual dos seguintes produtos: açúcar, etanol e geração de bioenergia.

Os dados obtidos a partir dos *sites* das respectivas usinas foram confrontados com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a fim de se verificar possíveis incompatibilidades entre as fontes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos três instrumentos de levantamento de dados foram os seguintes:

Visitas técnicas

Diversas vezes entramos em contato via e-mail e telefone com responsáveis por agendar visita nas usinas São Fernando, Bunge Monte Verde e Biosev Rio Brilhante, todas situadas na região de Dourados (MS) (conforme consta no Anexo 2). Não obtivemos retorno, apenas promessa de agendamento pela Bunge Monte Verde, que se arrastou por meses sem nenhuma data marcada. Talvez nenhuma visita tenha se realizado devido à entressafra (embora as solicitações de visitas técnicas terem sido feitas também fora dessa época), já que neste período as visitas não são permitidas, pois os equipamentos passam por manutenção. Também vale considerar que é grande a demanda de pedidos para conhecer os processos de uma usina, o que conseqüentemente deixa ainda mais difícil agendar um horário, pois as usinas são muito restritivas quanto a visitas ou até mesmo não permitindo visitas.

Aplicação de questionário eletrônico

O questionário eletrônico foi encaminhado duas vezes as 36 usinas em seus respectivos *sites* e/ou e-mails. Não obtivemos resposta de nenhuma das usinas, talvez pelo fato das usinas não terem interesse em ceder informações ou até mesmo por seus funcionários serem proibidas de fornecerem tais informações.

Dados disponíveis em sites

Das 36 usinas selecionadas, apenas 12 dispunham de informações online pertinentes ao objetivo deste trabalho (quantidade de produção de cana-de-açúcar, de açúcar, etanol, e geração de bioenergia por meio do bagaço da cana-de-açúcar), sendo elas as usinas: Alcídia, Alcoazul, Alto Alegre, Angélica, Barralcool, Biosev (Rio Brilhante), Grupo Clealco, Grupo Raízen, Itamarati, Libra, Matriz de Vista Alegre do Alto, e São Fernando.

Tabela 4: Dados de produção das usinas pesquisadas e comparação de bioenergia gerada com dados das usinas e ANEEL.

USINAS	DADOS EXTRAÍDOS DOS SITES DAS USINAS				DADOS EXTRAÍDOS DO SITE DA ANEEL	
	MOAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR (milhões de toneladas/ano)	PRODUÇÃO DE AÇÚCAR (toneladas/ano)	PRODUÇÃO DE ETANOL (m ³ /ano)	GERAÇÃO DE BIOENERGIA (MW)	POTÊNCIA OUTORGADA(MW)	POTÊNCIA FISCALIZADA (MW)
Alcídia	2,1	90.000	150.000	183.000	38,1	38,1
Alcoazul (Grupo Aralco)	2,2	60.000	192.000	Não gera	7,4	7,4

Alto Alegre	9	Não divulga	330.000	240.000	200,2	202,2
Angélica (Adecoagro)	4	90.000	120.000	Não divulga	96	96
Barralcool	Não divulga	Não divulga	1.250	100.000	30	30
Biosev	5	200.000	80.000	90	90	90
Grupo Clealco (3 unidades)	12	645.000	300.000	112	56,2	56,2
Raízen (24 unidades)	Não divulga	4,100.000	2,000.000	2,200.000	37,4	44,6
Itamarati	6,3	488.000	366.000	36	37,5	37,5
Libra Destilaria	1	Não produz	146.000	Não gera	-	-
Grupo Nardini	3,7	Não divulga	Não divulga	190.000	12,9	54
São Fernando	4,5	330.000	150.000	122,2	98	98

Fonte: Sites das empresas mencionadas e site ANEEL.

- **Capacidade de moagem de cana-de-açúcar**

Das doze usinas pesquisadas, dez disponibilizam nos sites a capacidade de moagem por ano da cana-de-açúcar, e duas não disponibilizam essa informação, sendo elas: Grupo Raízen e Usina Barralcool. Das que disponibilizam, somam um total de mais de 49 milhões de toneladas por ano na capacidade de moagem da cana-de-açúcar (Tabela 4).

- **Produção de açúcar**

Entre as doze usinas selecionadas, oito tinham disponíveis em seus sites a quantidade em toneladas na produção de açúcar (Tabela 4). Num total, as usinas somam quase seis milhões de toneladas na produção de açúcar anualmente. Dentre as quatro usinas restantes, três não mencionam quantidade na produção do açúcar, sendo elas: Usina Alto Alegre, Usina Barralcool, e Grupo Nardini; e a Destilaria Libra não produz o açúcar.

- **Produção de etanol**

O etanol é produzido nas doze usinas, mas somente onze dispunham a informação de quantidade em seus respectivos sites. A Tabela 4 mostra a produção anual de etanol em m³ para cada usina, que somadas chega a dar quase 3,7 milhões de m³ por ano.

- **Produção de Bioenergia**

As nove usinas que disponibilizam seus dados na geração de energia, somam mais de 2.800.000 MW produzidos por ano (Tabela 4). Das usinas restantes, duas não geram energia, e uma não disponibiliza essa informação.

- **Comparação entre os dados de geração de bioenergia em MW, obtidos em *sites* das usinas e no *site* da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).**

Os dados apresentados nas duas últimas colunas, na Tabela 4, apresentam informações sobre geração de bioenergia das usinas pesquisadas, provenientes de seus *sites*, e informações obtidas no *site* da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), tendo por finalidade comparar os dados obtidos nos *sites* das usinas e aqueles fornecidos por um órgão oficial.

Essa comparação deixa explícita a grande diferença entre os dados que os sites disponibilizam e aqueles referentes à fiscalização realizada pela ANEEL. Podemos interpretar que estes dados estejam com uma diferença tão significativa supondo que talvez nos sites das usinas estejam informando qual seu potencial em capacidade de gerar bioenergia, porém isso não significa que elas estejam conseguindo gerar energia nesse limite total. Outra explicação possível é de que os dados da ANEEL representem apenas os excedentes que são vendidos para as concessionárias de energia elétrica. Estas seriam explicações para tamanha diferença entre esses dados, porém são apenas suposições, pois não foi possível confirmá-las a partir das fontes consultadas.

Apesar, da enorme diferença entre os dados, podemos notar que, com base nos dados da ANEEL, ainda é grande o potencial entre as usinas listadas, pois conforme dados divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010), o gasto médio em KW pelas famílias brasileiras foi, em 2010, de 154 KWh por mês. Sendo assim, se uma usina como a Usina São Fernando, localizada na região de Dourados (MS), cuja produção de bioenergia é de 98KWh, seu potencial é mais que suficiente para auxiliar no fornecimento de energia para as famílias da cidade de Dourados, pois, conforme informa em seu próprio *site*, uma produção de 48 MW (48.000 KW) é o suficiente para suprir a necessidade de 100 mil habitantes, ou seja, metade da população da cidade de Dourados (MS).

- **Usos atuais e potenciais do bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia na região de Dourados-MS**

A região de Dourados – MS possui três usinas de açúcar e etanol que geram bioenergia e fazem uso dessa energia gerada, sendo elas a Usina São Fernando, Bunge Monte Verde e Biosev Rio Brillhante. Daremos enfoque apenas às usinas nas quais obtivemos dados de seus *sites*, que são as Usinas São Fernando e Biosev Rio Brillhante.

A Usina São Fernando, situada na zona rural de Dourados, possui um projeto de geração de energia utilizando o bagaço da cana-de-açúcar, com capacidade na geração de 122,2 MW de bioenergia. Parte desta energia gerada é utilizada pela própria usina, e seu excedente é vendido para a concessionária SD Dourados Santa Cruz. Conforme dados do site da usina, esta produz o máximo

possível em geração de energia por meio do bagaço da cana-de-açúcar, ou seja, essa quantidade produzida é o limite em que seus geradores podem produzir. O *site* traz a informação de que a UTE possui dois geradores com capacidade de 48 MW cada em geração de energia, porém seu dado atual em capacidade de produção é de 122,2 MW em bioenergia, sendo assim, podemos concluir a possibilidade em expansão desta atividade, como, por exemplo, investimento em novos equipamentos para a realização da mesma.

A Usina Biosev Rio Brilhante, localizada na cidade de Rio Brilhante – MS, investiu, conforme informações em seu *site*, na geração de bioenergia no ano de 2013, inaugurando a UTE Passa Tempo, com um custo de R\$163 milhões. Possui três turbinas geradoras de energia e capacidade em geração de 50 MW em energia excedente. Segundo o *site* da empresa, este excedente é direcionado a um sistema de transmissão, que possui 76 km de extensão, sendo interligada a Subestação Sidrolândia, que faz parte da propriedade da Brilhante Transmissora de Energia, onde é recebida a energia exportada. Em períodos com baixo estoque de bagaço, a UTE ainda tem potencial em gerar energia, utilizando apenas uma ou até duas de suas turbinas.

Com todos estes resultados obtidos, e apesar das enormes diferenças entre os dados das empresas e da ANEEL, podemos confirmar que, apesar de nem todas as usinas do país gerarem bioenergia, podemos mesmo assim perceber que esta é uma atividade crescente no país, conforme aponta o gráfico elaborado pelo site Unica, entre os anos de 2005 a 2014 (Figura 5).

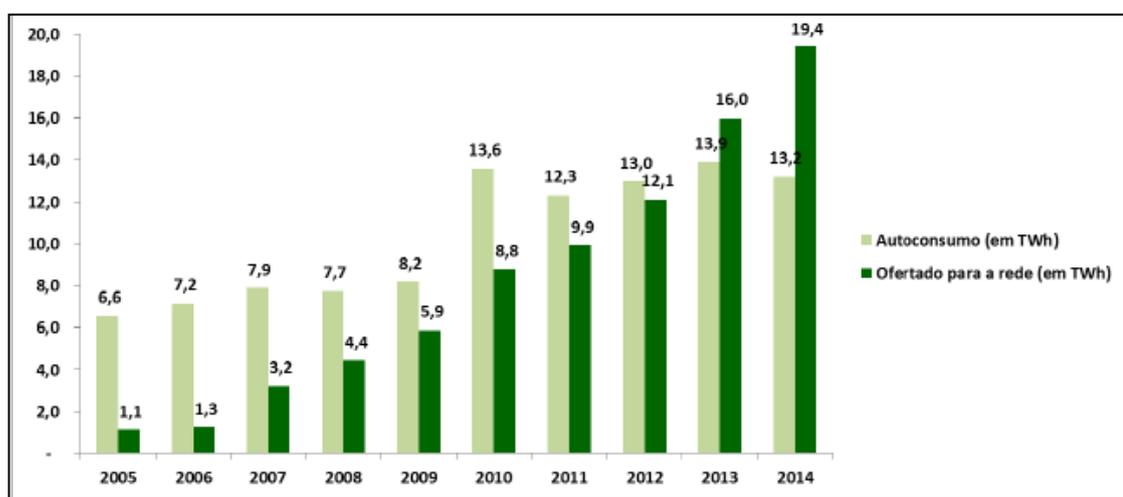


Figura 5: Geração de bioeletricidade sucroenergética, 2005 – 2014, Brasil (TWh).

Fonte: MME (2015). Elaboração: UNICA (2015).

Podemos perceber pela Figura 5 o índice crescente de geração de bioenergia pelas usinas brasileiras. Entre esses nove anos analisados, o consumo de energia gerado pela própria usina teve um pequeno aumento até o ano de 2009, seguido de um aumento em 5 TWh até o ano de 2010, tendo seu ápice em 13,9 TWh, porém com uma pequena queda no ano de 2014 (13,2 TWh).

Já a prática em ofertar o excedente de bioenergia gerado à rede elétrica, só aumentou nesses nove anos: um aumento quase imperceptível entre 2005 e 2006, que aos poucos deslanchou, alcançando em 2014 quase 20 TWh. Isto representa uma diminuição do uso de hidrelétricas em 13%, tendo neste mesmo ano suprido a necessidade de 10 milhões de residências, principalmente nas regiões Sudeste e Centro Oeste, onde nesta época tiveram seu período mais seco (UNICA, 2015). Esses dados comprovam as afirmações feitas neste trabalho relacionadas ao crescente uso no país da

bioenergia gerada a partir da queima do bagaço para uso próprio nas usinas e venda para a rede elétrica, auxiliando a fonte energética predominante no país.

Na Figura 6, podemos constatar o potencial das usinas na oferta em bioenergia para as companhias energéticas.

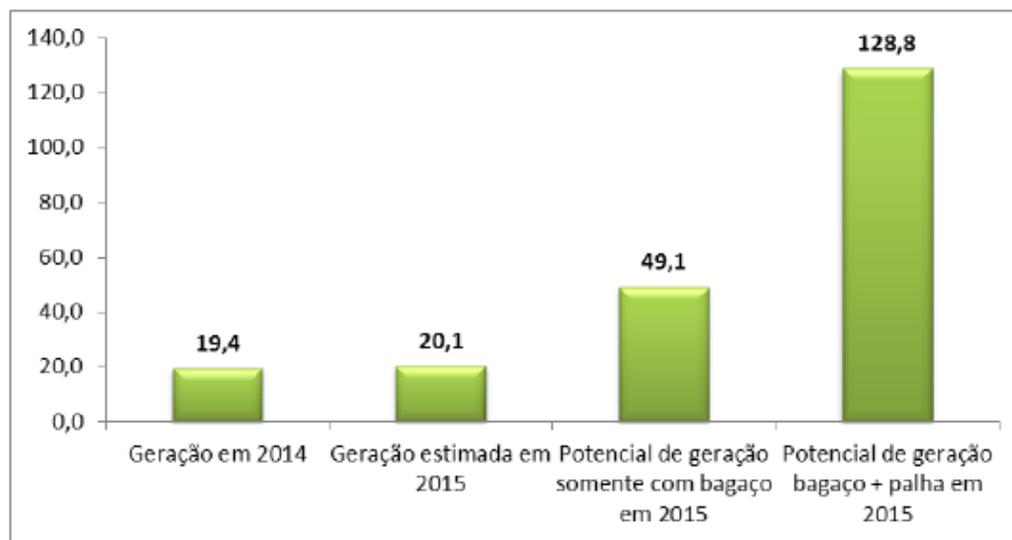


Figura 6: Potencial técnico de oferta da bioeletricidade sucroenergética para rede elétrica (TWh)
Fonte: MME e EPE (2015). Elaboração: UNICA (2016).

Com base nos dados, podemos perceber que entre os anos de 2014 e 2015, a expectativa de oferta em bioeletricidade teve um pequeno aumento de 0,7 TWh. Este aumento não é tão significativo quanto ao uso total a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, que é maior que o dobro da geração somente pelo bagaço, chegando a 128,8 TWh. Este volume é 7 vezes maior, se comparado somente ao ano de 2014.

Conforme aponta o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2024), se a biomassa for aproveitada de forma plena, para a geração de bioenergia, estima-se que até o ano de 2024, sua capacidade de geração alcance 165 TWh por ano, equivalendo a quase duas usinas do porte da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

- **Vantagens e desvantagens do bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia**

Com base na revisão bibliográfica e nos dados coletados, podemos fazer uma relação entre as vantagens e desvantagens da geração de energia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar. As vantagens estão no fato dessa nova fonte biológica auxiliar a matriz energética predominante, as usinas hidrelétricas, uma vez que estas operam com mais dificuldades em períodos de estiagem; diminuição do uso de combustíveis fósseis, como o petróleo, e o gás natural, que vem sendo usados indiscriminadamente, levando seus reservatórios a baixos níveis e ainda emitem gases de efeito estufa; e minimização no descarte de resíduos gerados (bagaço da cana-de-açúcar), por ser utilizado na geração de bioenergia.

A vantagem também é significativa sob uma perspectiva econômica, tendo em vista o quanto de energia é gerado pelas usinas, cujos excedentes são vendidos às concessionárias de energia.

Segundo informações, do Prof. Dr. Marcelo Paz, da Universidade Federal da Grande Dourados (comunicação pessoal, 10/05/2016), a usina São Fernando, já mencionada neste trabalho,

vende seu excedente de energia a um valor de R\$ 800,00 por MW. Considerando que, segundo os dados obtidos, a Usina São Fernando produz 122,2 MW de energia por ano, o seu lucro seria de R\$ 97.760,00, representando uma importante alternativa econômica diante da atual crise no setor sucroalcooleiro.

As desvantagens atribuídas a este processo envolvem as dimensões social e ambiental, considerando todo o processo do cultivo da cana-de-açúcar, desde seu plantio até a queima para geração de energia. O impacto pode começar desde a área escolhida para o plantio, principalmente em regiões onde há muitos conflitos por terra, como é o caso do Mato Grosso do Sul, na qual há disputas entre comunidades indígenas e grandes produtores rurais. Outro aspecto negativo está, também, na emissão de poluentes na atmosfera, já que é necessário haver a queima do bagaço da cana para gerar energia, emitindo então poluentes como o dióxido de carbono. Mesmo que esta atividade seja menos impactante, se comparado ao uso de combustíveis fósseis, ela ainda é um agravante ao efeito estufa. Para isso, torna-se fundamental, além de obrigatório, que as usinas sigam leis e normas quanto à emissão de poluentes, conforme define a Resolução CONAMA 382/06, a qual especifica, em seu Anexo III, limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar (Anexo 3).

Com toda essa explanação entre as vantagens e desvantagens, voltamos nossas atenções à medidas que poderiam aliar-se a essa atividade de geração de energia, seguindo alguns instrumentos que a tornariam mais creditadas no que diz respeito ao meio ambiente. Sendo assim, podemos destacar instrumentos de gestão ambiental, como as certificações ambientais. Estas reconhecem as empresas que seguem critérios ligados aos três eixos da sustentabilidade (social, econômico, e ambiental), causando o menor impacto possível. Tais são os casos do Grupo Raízen (com suas unidades em Jataí, Univali, Ipaussu e Bonfim) e do Grupo Adecoagro, que receberam pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) pela a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) o Selo Energia Verde, reconhecendo-as como empresas produtoras de energia renovável (PORTAL BRASIL, 2015). Em 2012, a unidade Raízen de Piracicaba – SP também recebeu a certificação Valore (programa de certificação do Grupo Bayer CropScience), atestando o cumprimento dos princípios básicos do programa, que incluem sistema de gestão integrado, adoção de boas práticas agrícolas, preocupação com o meio ambiente e com a segurança dos trabalhadores, além de atendimento rigoroso à legislação brasileira (RAÍZEN, 2012). A certificação por entidades independentes e com credibilidade internacionalmente reconhecida deve ser uma das metas para que a geração de bioenergia a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar seja avaliada de modo isento e seguindo critérios adequados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o intenso crescimento populacional, e conseqüentemente, o aumento do consumismo, o uso dos recursos aumenta continuamente, em decorrência de tentar suprir as necessidades do ser humano, como o uso da água, que muitas vezes é utilizada de maneira exagerada. Dessa forma, a procura por fontes renováveis para abranger essas necessidades, vão se fazendo presentes, como, por exemplo, as fontes biológicas para geração de energia, que podem auxiliar a matriz energética predominante brasileira, as hidrelétricas.

Podemos perceber, a partir desse panorama feito ao longo do trabalho, que o potencial de geração de bioenergia a partir do bagaço da cana-de-açúcar das usinas pesquisadas é significativamente grande, pois, se todas pudessem vender seu excedente de energia gerado para algumas cidades no país, diminuiria a necessidade de construção de novas hidrelétricas e atenderia

parte da demanda de energia por meio dessa fonte biológica. Do ponto de vista econômico, a maior oferta de energia poderia levar à diminuição das tarifas pagas pelas pessoas físicas e jurídicas, além de ser fonte de lucro para as usinas, especialmente no momento atual de crise no setor sucroalcooleiro.

A cogeração de energia proveniente do bagaço da cana-de-açúcar é uma das fontes que tem ganhado mais representatividade na matriz energética brasileira. Seria um recurso acessível para a região da cidade de Dourados - MS, já que nela se encontram duas grandes usinas sucroalcooleiras que realizam essa geração de energia. Uma delas, inclusive com capacidade de abastecimento para 100 mil habitantes, metade da quantidade de habitantes da cidade de Dourados.

Apesar de todos os impactos causados desde o cultivo da cana-de-açúcar até a geração de energia, seja no ar, no solo ou no meio socioeconômico, durante o processo, destacamos que a grande quantidade de usinas no país faz com que elas acabem se tornando uma nova forma de fornecer energia para consumo próprio e para a população, auxiliando assim as hidrelétricas, tendo em vista a dificuldade da fonte predominante de energia em suprir a necessidade de toda população, especialmente em períodos de estiagem.

REFERÊNCIAS

ADECOAGRO, 2016. Usina Angélica. Disponível em <http://www.adecoagro.com/DinamicPage.aspx?midpid=84&mimid=19&miid=80>. Acesso em fevereiro de 2016.

ALTO ALEGRE, 2016. Usina Alto Alegre. Disponível em <http://www.altoalegre.com.br/>. Acesso em fevereiro de 2016.

BERNARDES, J. **Bagaço de cana move turbina a vapor em termelétrica**. Agência da USP- São Carlos. <Disponível em <http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/bagaco-de-cana-move-turbina-a-vapor-em-termeletrica>> Acesso em Abril de 2015.

BIOSEV, 2016. Usina Biosev Rio Brilhante. Disponível em <http://www.biosev.com/a-biosev/unidades/>. Acesso em fevereiro de 2016.

BRANDÃO, R., CASTRO, N. J., DANTAS, G. A. **Etanol e Bioeletricidade. A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. 2009. Organizadores, Macedo, I. C. Sousa, E. L. Disponível em <http://www.siamig.org.br/dmdocuments/EtanoleBioeletricidade.pdf>. Acesso em março de 2016.

BRASILAGRO. **Uma breve história sobre a cultura da cana no Brasil**. S/ data. Disponível em <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=991>. Acesso em março de 2016.

BRASIL NOSSO. **Matrizes energéticas do Brasil**. 2011. Disponível em <https://brasilnosso.wordpress.com/matrizes-energeticas-do-brasil/>. Acesso em março de 2016.

CLEALCO Açúcar e Alcool, 2016. Disponível em <http://www.clealco.com.br/clealco/Portugues/>. Acesso em fevereiro de 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**. Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. Publicado em Março de 2011. Disponível

em<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf> Acesso em abril de 2015.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de Custos na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um Estudo de Caso em Quatro Usinas de São Paulo**. 2009. Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Energia. Tese de mestrado. Disponível em http://www.iee.usp.br/producao/2009/Teses/DissertacaoPauloDantas_apos_defesa.pdf. Acesso em Maio de 2015.

DINIZ, J. **O crescimento populacional e a sociedade do consumo**. Instituto de Pesquisa Maurício de Nassau. Publicado em 17 de Novembro de 2011. Disponível em <<http://www.institutomauriciodenassau.com.br/blog/o-crescimento-populacional-e-a-sociedade-do-consumo/>> Acesso em maio de 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010. **Consumo médio de energia por residência deve crescer 24% até 2020**. Disponível em <http://economia.uol.com.br/ultimas-noticias/infomoney/2011/02/22/consumo-medio-de-energia-por-residencia-deve-crescer-24-ate-2020.jhtm>. Acesso em abril de 2016.

FACHINELLO, A. L. SILVA, A. F. **Desenvolvimento metodológico e cálculo do PIB das cadeias produtivas do algodão, cana-de-açúcar, soja, pecuária de corte e leite no Brasil**. Coordenado por Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. 2011. Disponível em http://www.cepea.esalq.usp.br/pibpec/PIB_Cadeias_relatorio2009_10.pdf. Acesso em abril de 2016.

FERNANDES, A, S., MIGUEL, R, E. **A importância da utilização do bagaço de cana-de-açúcar na geração de energia em termelétricas**. III ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO UNISALESIANO Educação e Pesquisa: a produção do conhecimento e a formação de pesquisadores Lins, 17 – 21 de outubro de 2011. Disponível em<<http://www.unisaesiano.edu.br/simposio2011/publicado/artigo0034.pdf>> acesso em 03 abril de 2015.

FONTES de Energias Renováveis mais utilizadas no Brasil. Pensamento Verde. 2013. Publicado por Redação. Disponível em <http://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/as-fontes-de-energia-renovavel-mais-utilizadas-no-brasil/>. Acesso em abril de 2016.

GALLO, Z. **Ethos. A grande Morada Humana**. Economia, Ecologia e Ética. Editora Ottoni. 2007. Disponível em https://books.google.com.br/books?id=-7_me2NXqFYC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em abril de 2016.

GRUPO BARRALCOOL, 2016. Usina Barralcool. Disponível em http://barralcool.com.br/?page_id=72. Acesso em fevereiro de 2016.

GUIMARÃES, A., MONTANARI, I. FARIA, S. **Usinas autossustentáveis: combustíveis e energia a partir da cana-de-açúcar**. Disponível em <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/viewFile/2433/1321>> Acesso em Abril de 2016.

JACOBI, P. **Sustentabilidade Ambiental, Consumo e Cidadania**. São Paulo, Cortez Editora, 2005, 255pp. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v9n1/a10v9n1.pdf>. Acesso em março de 2016.

LIBRA Destilaria de Álcool, 2016. Disponível em <http://www.libraetanol.com.br/portal/>. Acesso em fevereiro de 2016.

LIMA, S. F. **Introdução ao conceito de sustentabilidade aplicabilidade e limites**. Caderno da escola de negócios. Vol4, Número 4, Jan/Dez 2006. p. 3 e p. 4 UNIBRASIL – Faculdades Integradas do Brasil. Disponível em <<http://apps.unibrasil.com.br/revista/index.php/negociosonline/article/view/37/30>> Acesso em abril de 2015.

MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Unicamp, Campinas (SP) 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a11v2159.pdf> Acesso em Abril 2016.

MACHADO, F. B. P. **Brasil, a doce terra** - História do Setor. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/historia_da_cana_000fhc62u4b02wyiv80efhb2attuk4ec.pdf. Acesso em março de 2016.

MATTOS, S. H. V. L. Avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Piçarrão (Campinas-SP). Agosto de 2005. Campinas (SP). Disponível em <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000374006>. Acesso em abril de 2016.

MENDONÇA, S. F., TENÓRIO, T. M., MARQUES, S. K. J. **Estudo da incorporação de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em formulações para fabricação de tijolos solo-cimento**. 2012. Disponível em <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/5141/2201>. Acesso em abril de 2016

MIKHAILOVA, I. **Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática**. Revista Economia e Desenvolvimento, n° 16. 2004. Disponível em http://w3.ufsm.br/depcie/arquivos/artigo/ii_sustentabilidade.pdf. Acesso em abril de 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Cana-de-açúcar**. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. Acesso em março de 2016.

NARDINI, 2016. Disponível em <http://www.nardini.ind.br/pt/produtos>. Acesso em fevereiro de 2016.

NOVA ARALCO, 2016. Usina Nova Aralco, unidade Alcoazul. Disponível em <http://www.aralco.com.br/unidades.php>. Acesso em fevereiro de 2016.

ODEBRECHT AGROINDUSTRIAL, 2016. Unidade Alcídia. Disponível em <http://www.odebrechtagroindustrial.com/polos-e-unidades/polo-sao-paulo/unidade-alcidia>. Acesso em fevereiro de 2016.

PACCA, S. A., MOREIRA, J. R. **Perspectivas para a bioenergia no Mato Grosso do Sul**. Cap. "Bioenergia, Sustentabilidade, Meio Ambiente e Avaliação do Ciclo de Vida. p. 88. Editora UFMS. Organizador Flávio Aristone. 2013.

PENA, R. F. A. **Fontes de Energia do Brasil**. Mundo Educação>Geografia>Geografia humana do Brasil. Disponível em <http://www.mundoeducacao.com/geografia/fontes-energia-brasil.htm>. Acesso em Maio de 2015.

PORTAL BRASIL. **Matriz energética**. 2010. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>. Acesso em março de 2016.

PORTAL BRASIL. **UNICA e CCEE emitem primeiras certificações do Selo Energia Verde.** 27 de Janeiro de 2015. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/01/unica-e-ccee-emitem-primeiras-certificacoes-do-selo-energia-verde>. Acesso em maio de 2016.

RAÍZEN, 2016. Disponível em <http://www.raizen.com/>. Acesso em fevereiro de 2016.

RUIC, G. **Entenda por que hidrelétricas dominam matriz energética brasileira.** Publicado em Revista Exame. 2010. Disponível em <http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/entenda-hidreletricas-dominam-matriz-energetica-brasileira-553035>. Acesso em abril de 2016.

S. A. **Mapa de Produção.** (s/d) Disponível em: <<http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/>> Acesso em Março de 2016.

SÃO FERNANDO, Açúcar e Alcool. Disponível em http://www.usinasaofernando.com.br/conteudo_site.asp?tipoID=1. Acesso em fevereiro de 2016.

SOARES, M. S. PIRES, A. J. V. SILVA, L. G. GUIMARÃES, J. O. MACHADO, T. C. FRAZÃO, O. S. **Utilização do bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes.** 2015. Disponível em http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/ARTIGO287.pdf. Acesso em abril de 2015.

TANJI, T. **Dossiê: energia e a crise no Brasil.** 2015. Disponível em <http://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2015/03/dossie-energia-e-crise-no-brasil.html>. Acesso em abril de 2016.

UDOP. União dos produtores de bioenergia. **A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais.** 2012 Disponível em <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993>. Acesso em abril de 2016.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **A Bioeletricidade da cana em números - Fevereiro de 2016.** Disponível em <file:///D:/Dados/Downloads/3dced5dfc20f3f357b15f677660b672e.pdf>. Acesso em abril de 2016.

USINAS ITAMARATI, 2016. Usina Itamarati. Disponível em <http://www.usinasitamarati.com.br/itamarati/producao.html>. Acesso em fevereiro de 2016.

ZARDO, A. M., BEZERRA, E. M., MARTELLO, L .S., SAVASTANO, H. **Utilização da Cinza de Bagaço da Cana-De-Açúcar Como “FILLER” em Compostos de Fibrocimento.** 2004. Disponível em: http://www.usp.br/constrambi/producao_arquivos/utilizacao_da_cinza_de_bagaco.pdf> Acesso em Março de 2016.

ANEXO I

Questionário eletrônico enviado às usinas brasileiras de açúcar e álcool para levantamento de dados.

Nós, Amanda Garcete Marquetti e Cássila Alves de Moraes, somos acadêmicas do curso de Gestão Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), e estamos desenvolvendo, sob orientação do Prof. Dr. Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos, nosso Trabalho de Conclusão de Curso sobre a seguinte temática "UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO FONTE ALTERNATIVA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA."

O objetivo do trabalho é avaliar as vantagens e desvantagens do uso bagaço da cana-de-açúcar na produção de energia por usinas canavieiras como forma de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, utilizando uma fonte de energia limpa e renovável e minimizando o desperdício de resíduos.

Sendo assim, solicitamos a colaboração desta empresa na referida pesquisa por meio do preenchimento de um rápido questionário.

Desde já, agradecemos pela ajuda e nos colocamos à disposição para maiores esclarecimentos.

Amanda Garcete Marquetti

Cel.: (67) 9840-4828

E-mail: amandagmarquetti@gmail.com

Cássila Alves de Moraes

Cel.: (67) 9609-0672

E-mail: kassilaalves@hotmail.com

Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos

Fones: (67) 3410-2290/(67) 9995-2414

E-mail: sergiomattos@ufgd.edu.br

Identificação e dados

Descrição (opcional)

Nome da empresa.

Texto de resposta longa

Qual a localização da empresa (município/estado)?

Texto de resposta longa

Qual o número de funcionários?

Texto de resposta longa

Qual a quantidade de matéria-prima processada por ano?

Texto de resposta longa

Quais os produtos gerados?

- Açúcar
- Etanol
- Álcool hidratado
- Álcool anidro
- Levedura

Qual a quantidade de bagaço gerado por ano?

Texto de resposta curta

Qual o consumo anual de energia elétrica?

Texto de resposta longa

- Rede?

Texto de resposta curta

- Geração própria?

Texto de resposta curta

- Outras fontes?

Texto de resposta longa

- Total?

Texto de resposta curta

1) A empresa utiliza o bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia?

- SIM
- NÃO

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

2) a) Em caso de resposta afirmativa na questão anterior, qual o grau de dificuldade no processo de geração de energia?

- Elevado
- Moderado
- Baixo
- Não há dificuldades

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

b) Em caso de resposta negativa na questão anterior, qual(is) o(s) motivo(s) para a empresa não utilizar o bagaço da cana-de-açúcar para a geração de energia? (marque mais de uma alternativa se necessitar)

- Inviabilidade econômica
- Inviabilidade ambiental
- Inviabilidade técnica
- Outro (especificar)

Outro

Texto de resposta longa

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

3) Há controle no processo de queima do bagaço (filtro)?

SIM

NÃO

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

4) Existe(m) outra(s) finalidade(s) para uso do bagaço de cana-de-açúcar além da queima para geração de energia?

SIM

NÃO

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

5) O excedente de energia produzido pela usina é destinado para venda às concessionárias de energia na região?

SIM

NÃO

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

6) Há presença de profissionais da área ambiental na usina?

SIM

NÃO

Justifique e/ou comente

Texto de resposta longa

ANEXO II

Solicitações de visita técnica enviada à Usina Bunge Monte Verde via e-mail.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS

Dourados - MS, 29 de fevereiro de 2016.

De: Prof. Dr.Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos
Professor Adjunto – Curso de Geografia/FCH/UFGD

Para: Bunge - Filial Monteverde
A/C: Carolina Lima

Assunto: Solicitação de visita técnica à Usina

Venho por meio desta solicitar a realização de visita técnica à Usina de Cana-de-Açúcar - Filial Monteverde com a finalidade de levantamento de informações para pesquisa relativa ao trabalho de conclusão de curso das acadêmicas Cassila Alves de Moraes e Amanda Garcete Marquetti do curso de Gestão Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados, pesquisa essa que tem como tema " Bioenergia: geração de energia através do bagaço da cana-de-açúcar".

Coloco-me à disposição para maiores esclarecimentos.
Grato pela compreensão,
Desde já agradeço!

Prof. Dr. Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos (orientador)
E-mail: sergiomattos@ufgd.edu.br
Telefones: (67)9995-2414/3038-0978



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS**

Dourados - MS, 01 de setembro de 2015.

De: Prof. Dr. Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos
Professor Adjunto – Curso de Geografia/FCH/UFGD

Para: Bunge - Filial Monteverde
A/C: Carolina Lima

Assunto: Solicitação de visita técnica à Usina

Venho por meio desta solicitar a realização de visita técnica à Usina de Cana-de-Açúcar - Filial Monteverde com a finalidade de levantamento de informações para pesquisa relativa ao trabalho de conclusão de curso das acadêmicas Cassila Alves de Moraes e Amanda Garcete Marquetti do curso de Gestão Ambiental da Universidade Federal da Grande Dourados, pesquisa essa que tem como tema " Bioenergia: geração de energia através do bagaço da cana-de-açúcar".

Coloco-me à disposição para maiores esclarecimentos.

Grato pela compreensão,

Desde já agradeço!

Prof. Dr. Sérgio Henrique Vannucchi Leme de Mattos (orientador)
E-mail: sergiomattos@ufgd.edu.br
Telefones: (67)9995-2414/3038-0978

ANEXO III

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 382, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.

ANEXO III

Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar.

1. Ficam aqui definidos os limites de emissão de poluentes atmosféricos gerados em processos de geração de calor a partir da combustão de bagaço de cana-de-açúcar.

2. Para aplicação deste anexo devem ser consideradas as seguintes definições dos termos:

- bagaço de cana de açúcar: subproduto da moagem da cana;
- capacidade nominal: condição máxima de operação da unidade de geração de calor para a qual o equipamento foi projetado, determinada em termos de potência térmica, com base no poder calorífico inferior (PCI), calculada a partir da multiplicação do PCI do combustível pela quantidade de combustível queimado por unidade de tempo;
- condições típicas de operação: condição de operação da unidade de geração de calor que prevalece na maioria das horas operadas;
- plena carga: condição de operação em que é utilizada pelo menos 90% da capacidade nominal;
- processo de geração de calor por combustão externa: processo de queima de bagaço de cana-de-açúcar, realizado em qualquer forno ou caldeira cujos produtos de combustão não entram em contato direto com o material ou produto processado.

3. Ficam estabelecidos, na tabela a seguir, os seguintes limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor, a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar:

Potência térmica nominal (MW)	MP ⁽¹⁾	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/Nm³, em base seca e 8% de excesso de oxigênio.

N.A. - Não aplicável.

3.1. Em teste de desempenho de novos equipamentos, o atendimento aos limites estabelecidos deverá ser verificado nas condições de plena carga.

3.2. Na avaliação periódica, o atendimento aos limites estabelecidos poderá ser verificado em condições típicas de operação, a critério do órgão ambiental licenciador.

3.3. Para sistemas com potência de até 10 MW, poderá o órgão ambiental licenciador aceitar o monitoramento periódico apenas de monóxido de carbono, sendo que, neste caso, o limite máximo de emissão para este poluente será o estabelecido na seguinte tabela.

Potência térmica nominal (MW)	CO ⁽¹⁾
Até 0,05	6500
Entre > 0,05 e ≤ 0,15	3250
Entre > 0,15 e ≤ 1,0	1700
Entre > 1,0 e ≤ 10	1300

⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.

4. As atividades ou fontes emissoras de poluentes deverão, quando da realização da amostragem, contar com a estrutura necessária e/ou determinação direta de poluentes em dutos e chaminés, de acordo com metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador.

5. Na ocorrência de duas ou mais fontes cujo lançamento final seja efetuado em duto ou chaminé comum, as medições devem ser feitas individualmente.

5.1. Quando houver impossibilidade de realização de medições individuais, de acordo com a metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador, estas poderão ser efetuadas no duto ou chaminé comum e os limites de emissão devem ser ponderados individualmente com as respectivas potências térmicas nominais das fontes em questão para o cálculo do novo limite de emissão resultante conforme o exemplo a seguir:

$$LE_{res} = \frac{\sum_1^n PN_n * LE_n}{\sum_1^n PN_n}, \text{ sendo:}$$

LE_{res} = limite de emissão resultante;

PN = potência térmica nominal;

LE = limite de emissão individual.

Exemplo:

Caldeira 1 - potência térmica nominal = 5 MW e LE = 280 mg/Nm³ para MP

Caldeira 2 - potência térmica nominal = 35 MW e LE = 230 mg/Nm³ para MP

$$LE_{res} = \frac{(5 \times 280 + 35 \times 230)}{(5 + 35)} = 236 \text{ mg / Nm}^3$$

6. O lançamento de efluentes gasosos na atmosfera deverá ser realizado através de dutos ou chaminés, cujo projeto deve levar em consideração as edificações do entorno à fonte poluidora e os padrões de qualidade do ar estabelecidos.

7. Em função das características locais da área de influência da fonte poluidora sobre a qualidade do ar, o órgão ambiental licenciador poderá estabelecer limites de emissão mais restritivos, inclusive considerando a alternativa de utilização de combustíveis com menor potencial poluidor.