
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS PROCESSOS
INDUSTRIAIS DE USINAS SUCROENERGÉTICAS: UM ESTUDO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU**

**EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF
INDUSTRIAL PROCESSES OF SUGAR ENERGY PLANTS: A STUDY IN THE
RIVER MOGI GUAÇU BASIN**

Marcelo Giroto Rebelato (UNESP) *mgiroto@fcav.unesp.br*

Leonardo Lucas Madaleno (FATEC) *leoagro@gmail.com*

Andréia Marize Rodrigues (UNESP) *andreamarize@fcav.unesp.br*

Endereço Eletrônico deste artigo: <http://www.raunimep.com.br/ojs/index.php/regen/editor/submissionEditing/641>

Resumo: A agroindústria sucroenergética tem sido alvo de inquietações e julgamentos críticos relativamente aos impactos ambientais negativos que seus processos industriais produzem no meio ambiente. Observa-se que, mesmo já sendo regido por um grande conjunto de leis com vistas à regulação de suas atividades visando à prevenção e à minimização dos impactos ambientais de suas operações, o setor vem constantemente apresentando posturas mais modernas na gestão das suas atividades industriais a partir da adoção de ações e contramedidas que visam mitigar os efeitos prejudiciais dos resíduos e subprodutos ao meio ambiente. Neste contexto, este artigo teve como objetivo avaliar o desempenho ambiental de oito usinas sucroenergéticas pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. Considerando um universo de vinte e cinco usinas em operação atualmente na BHMG, a amostra correspondeu a 32% do universo, o que pode ser considerada uma amostra representativa. A legislação ambiental brasileira recomenda a adoção da bacia hidrográfica como um recorte adequado para avaliação de impactos ambientais. Trata-se de um recorte territorial adequado ao estudo da produção sucroenergética sob o enfoque ambiental, dado tratar-se de uma indústria geradora de resíduos e subprodutos que tem nas águas seu maior impacto. Com a identificação dos resíduos e subprodutos gerados pela indústria sucroenergética, foi possível desenvolver uma estrutura teórico-conceitual de referência com

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

suas características, composição, legislação aplicável e destinações possíveis. Desta forma, para cada usina, avaliou-se a adequabilidade ambiental da destinação dada aos vinte e três resíduos e subprodutos identificados. Como resultado, verificou-se que, com base nas destinações observadas, as usinas apresentam um desempenho ambiental muito bom, com cerca de 98% da destinação dos resíduos e subprodutos sendo consideradas ambientalmente adequadas. A maior inadequação detectada foi relativamente aos gases gerados tanto na combustão do bagaço como na fermentação do mosto. Mesmo que não haja leis ou resoluções que regulamentem a proibição destas emissões diretamente na atmosfera, sabe-se que os gases expelidos são causadores do efeito estufa e que, portanto estas emissões não podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

Palavras-chave: avaliação do desempenho ambiental; usinas sucroenergéticas; bacia do Rio Mogi Guaçu, resíduos, subprodutos

Abstract: The sugar energy agribusiness has been the subject of concerns and critical judgments on the negative environmental impacts that industrial processes produce the environment. It is observed that, even now being governed by a set of laws aimed at regulating their activities intended at preventing and minimizing the environmental impacts of its operations, the industry is constantly introducing more modern attitudes in managing their industrial activities from the adoption of actions and countermeasures intended to mitigate the harmful effects of waste and byproducts to the environment. In this context, this article aims to assess the environmental performance of eight sugar energy plants belonging to the River Mogi Hydrographic Basin. Given a universe of twenty-five plants currently in operation in BHMG, the sample corresponded to 32% of the universe, which can be considered a representative sample. Brazilian environmental legislation recommends the adoption of the watershed as a cutout for proper assessment of environmental impacts. It is an adequate study of the sugarcane production under environmental focus, since this is an industry that generates waste and byproducts that have the greatest impact in the waters. With the identification of waste and by-products generated by the sugar energy industry, it was possible to develop a theoretical and conceptual frame of reference to their characteristics, composition, applicable legislation and possible destinations. Thus, for each plant, it was evaluated the environmental suitability of the allocation given to twenty-three residues and byproducts identified. As a result, it was found that, based on the observed destinations, the plants have a very good

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

environmental performance, about 98% of the disposal of waste and by-products are considered environmentally suitable. The biggest mismatch was detected with respect to both gases generated in the combustion of bagasse as the fermentation of the must. Even if there are no laws or regulations governing the prohibition of these emissions directly into the atmosphere, it is known that these are greenhouse gases and consequently these emissions cannot be considered environmentally sound.

Key-words: environmental performance evaluation; sugar energy plants; River Mogi Guaçu basin, wastes, byproducts.

Artigo recebido em: 24/05/2013

Artigo aprovado em: 25/08/2014

1. Introdução

Nesta primeira década do século XXI o Brasil desenvolveu como nenhum outro país a utilização das fontes renováveis de bioenergia em escala suficiente para atender um mercado de massas. O país tornou-se um competitivo produtor de energia renovável por meio da atuação da sua indústria sucroenergética, a qual apresenta altos padrões de produtividade, em termos mundiais, na fabricação do açúcar e do etanol (ANA, 2009).

O setor sucroenergético é altamente demandador de recursos naturais. Trata-se de um tipo de indústria “hidrointensiva”, ou seja, largamente demandadora de água como recurso produtivo. Além da intensiva utilização da água, o processamento industrial da cana-de-açúcar é realizado por meio de transformações químicas e bioquímicas na matéria-prima, a cana-de-açúcar, as quais são fonte de diversos resíduos e subprodutos potencialmente poluidores tais como a vinhaça, a torta de filtro, o bagaço, o óleo fúsel, os efluentes destinados às lagoas de sedimentação, entre outros.

Entretanto, no mesmo rumo do movimento atual de escalada das questões ambientais, o setor sucroenergético vem apresentando mudanças significativas na gestão de suas atividades industriais a partir da adoção de medidas que visam mitigar os efeitos prejudiciais ao meio ambiente (MACHADO e SILVA, 2010). Para cumprimento da legislação ambiental vigente por força de pressões da sociedade, pela adoção de modelos ambientais mais adequados, pela oportunidade estratégica de diferenciação, as usinas sucroenergéticas vêm

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

adotando práticas ambientais no sentido de incrementar o desempenho ambiental de seus processos produtivos. Dentre estas, Deboleta e Schemmer (2009) destacam o gerenciamento de resíduos, o licenciamento ambiental, a coleta seletiva, a cogeração de energia e a reutilização de recursos hídricos.

As diversas áreas funcionais da indústria impactam de diferentes formas o meio ambiente. Entretanto, são as etapas de fabricação que se relacionam diretamente com o consumo de matérias-primas, com a geração de resíduos durante o processo, com o consumo de água e energia, com a manutenção de instalações e equipamentos, entre outros fatores (DORNAIRE, 2000). Deste modo, a medição e avaliação do impacto ambiental das indústrias não podem prescindir do foco nas operações industriais.

A busca por objetivos produtivos alinhados às questões ambientais leva à necessidade do desenvolvimento de indicadores de desempenho ambiental que possam de fato não só mensurar os impactos ambientais atuais das operações produtivas, mas que também sejam capazes de indicar a evolução da atuação ambiental a partir de intervenções que objetivem o incremento deste desempenho (ROHRICH e CUNHA, 2004). Entretanto, uma avaliação ambiental pressupõe um recorte geográfico, dado que a qualidade ambiental de uma determinada região está diretamente associada às formas de ocupação e uso de seus recursos naturais.

Destarte, a prevenção de problemas ambientais aliada à necessidade de preservação valoriza a importância da gestão ambiental por meio das Bacias Hidrográficas, as quais são reconhecidas como espaços territoriais adequados para tratar assuntos ambientais, como abastecimento de água, tratamento de efluentes, entre outros, constituindo-se em unidade de gerenciamento da estrutura de comando administrativa (RODRIGUES, 2004).

Isto posto, o objetivo deste artigo é realizar a avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de oito usinas sucroenergéticas localizadas na Bacia do Rio Mogi Guaçu. Não constitui objetivo deste artigo realizar avaliação das etapas realizadas na área agrícola, ou seja, plantação, cultivo, corte e carregamento da cana.

Este trabalho tem como pano de fundo os impactos potencialmente perigosos de resíduos e subprodutos gerados pela indústria sucroalcooleira diante da capacidade assimilativa dos seus ecossistemas. E tem como foco o desempenho ambiental das usinas dentro de um contexto regional que concentra a maior porção da produção agrícola e industrial sucroenergética do Estado de São Paulo, a Bacia do Rio Mogi Guaçu. Desta feita, o

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

trabalho contribui academicamente como referência teórica aos que se debruçam sobre a complexidade das questões ambientais que sitiam o setor sucroenergético. E contribui com próprio setor na medida em que diagnostica e apresenta um retrato das práticas atuais das empresas no que concerne à adequabilidade da destinação dos resíduos e subprodutos industriais gerados.

2. A produção sucroenergética e os resíduos/subprodutos gerados em cada etapa

A Figura 2 apresenta simplificada os processos sucroenergéticos. Nesta figura apresentam-se na cor preta os processos produtivos, em azul os resíduos gerados e em vermelho os subprodutos. Conceituamos como resíduo tudo o que é produzido e que não pode ser aproveitado economicamente. Já para poder ser considerado como subproduto, segundo Fipa (2007), a substância ou material deve atender aos seguintes requisitos: a) existir uma utilização futura para este; b) poder ser utilizado sem sofrer alterações; c) fazer parte integrante de um processo de produção contínuo.

2.1 Produção de açúcar e energia

A industrialização da cana-de-açúcar começa com o seu descarregamento na usina (recepção da cana). Depois de descarregada a cana é limpa por meio de lavagem com água ou limpeza a seco. O processo de lavagem com água gera como resíduo o efluente da lavagem da cana.

Em seguida, vem a etapa de preparo da cana em que se utilizam facas e martelos para abrir os colmos da cana de modo a facilitar o processo de extração do caldo. A extração do caldo produz o caldo da cana (produto) e o bagaço (subproduto). O bagaço será utilizado para alimentar as caldeiras para a cogeração de energia. A queima desse subproduto gera calor suficiente para transformar água em vapor que será utilizado para movimentação de turbinas e para aquecimento de equipamentos na usina. O excedente de energia elétrica produzida pode ser comercializado. Neste processo geram-se como subprodutos as cinzas da queima do bagaço e os materiais particulados ascendentes gerados durante esta queima, os quais, uma vez contidos, podem ser adicionados na adubação da cana-de-açúcar. Como resíduos são gerados os gases da queima do bagaço, o efluente do tratamento dos gases de combustão da caldeira, o efluente de descarga das caldeiras e o lodo proveniente da descarga das caldeiras.

O caldo extraído pela moenda ou difusor segue ao processo de tratamento, que consiste na modificação do pH e de aquecimento até (100 a 105° C), para a formação de

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

colóides, que são sólidos em suspensão que podem ser separados do caldo. Depois do aquecimento adiciona-se polímero (o qual aumenta o tamanho dos colóides) e o caldo tratado é enviado para os decantadores, que são aparelhos que permitem que o caldo permaneça em repouso por certo período de tempo. Os colóides, mais densos que o líquido, sedimentam-se e formam o lodo (ou borra) no fundo do decantador. O caldo sem os colóides fica claro e límpido, sendo denominado caldo clarificado e segue para os processos seguintes de fabricação. O lodo citado possui caldo remanescente e por isso, não pode ser descartado, pois pode aumentar a perda de açúcares ali contidos. Esse material é enviado para sistemas de filtração (filtros prensa e rotativos) visando a recuperação do açúcar. O caldo filtrado retorna para o processo de tratamento e o material retido nos filtros é separado, triturado e recebe o nome de torta de filtro. Esse subproduto, após ser deixado em compostagem, pode ser enviado à lavoura para ser utilizado como adubo para cultura da cana-de-açúcar (REBELATO et al., 2011).

Depois do tratamento do caldo segue-se a etapa de concentração do caldo clarificado (realizado principalmente por evaporadores de múltiplo-efeito), que consiste na retirada de água do caldo para o aumento da concentração de sólidos solúveis para uma faixa entre 60 a 65° Brix, quando passa a receber a denominação de xarope. O processo de concentração do caldo gera como resíduos o efluente dos condensadores barométricos ou dos multijatos e o efluente condensado nas calandras dos evaporadores. Essa água condensada pode ser utilizada em outros pontos da usina ou ser descartada em lagoas de decantação.

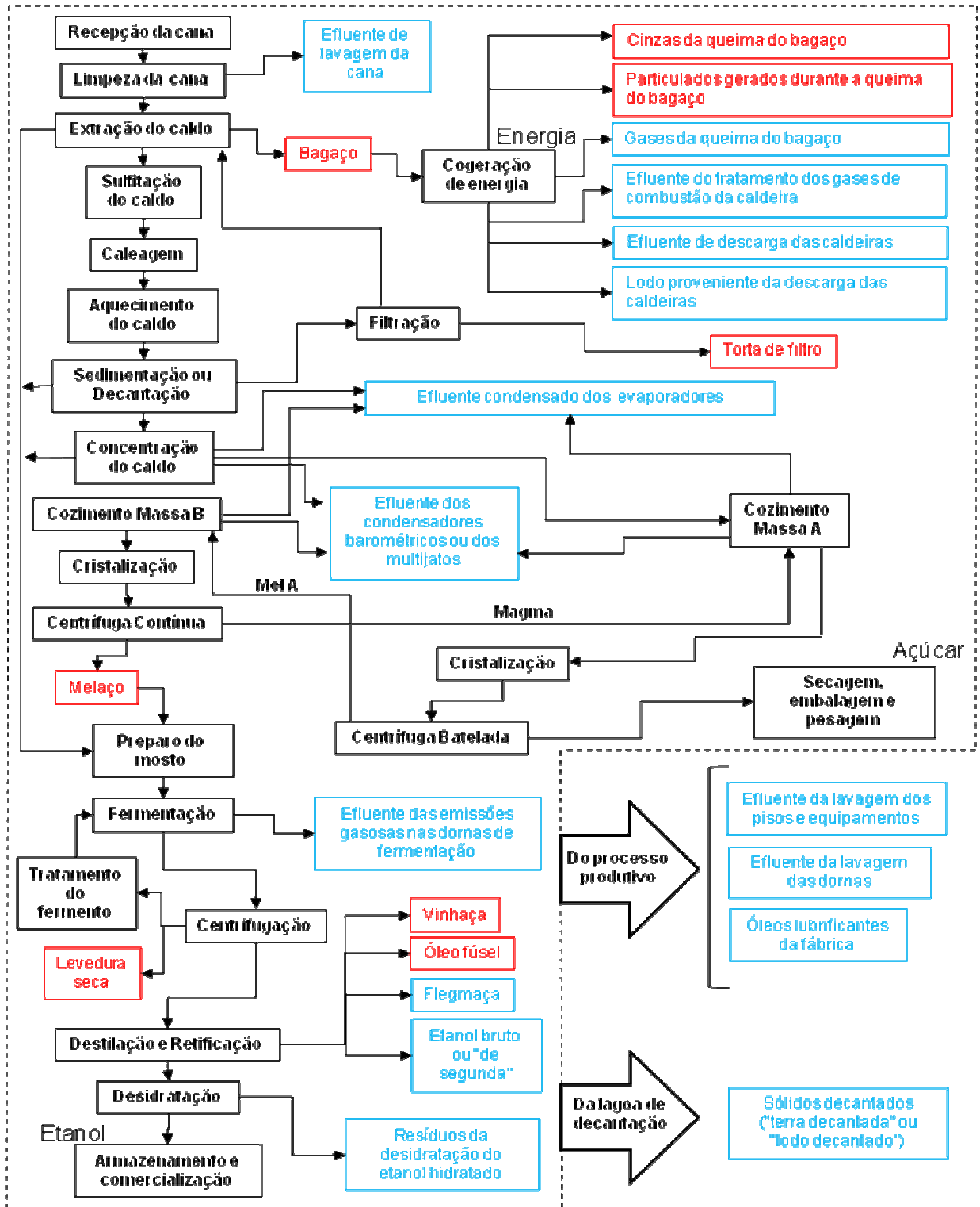
**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Figura 2 - Fluxograma simplificado da produção industrial sucroenergética com destaque para os resíduos e subprodutos gerados

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues



Fonte: elaboração própria

O xarope produzido segue para o processo de cozimento, o qual tem o objetivo de concentrar e recuperar, na forma de cristais, a sacarose presente. Após o cozimento o material

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

obtido é denominado de massa cozida, que consiste de cristais de açúcar envoltos com mel. O esgotamento (recuperação da sacarose na forma de cristais de açúcar) não pode ser feito somente em um cozimento e, geralmente, as usinas possuem conjuntos de cozedores A, B e C ou chamados de primeira, segunda e terceira. No fluxograma da Figura 2 se observam somente os conjuntos A e B, que é o esquema mais utilizado pelas usinas. Cada conjunto de cozedores possui aparelhos de cristalização separados, seguido de centrífugas. Para o eixo dos cozedores A (cozimento de massa cozida A) temos as centrífugas “de batelada” e no eixo dos cozedores da massa B temos a centrífuga contínua.

Os aparelhos cristalizadores localizados abaixo dos cozedores têm a função de armazenar a massa cozida (cristais de açúcar + mel) produzida nos cozedores até a etapa de centrifugação. As centrífugas são responsáveis por separar os cristais de açúcar do mel. O último mel é o subproduto gerado na produção de açúcar. No processo com duas massas o mel B pode ser chamado de melaço (subproduto) que será utilizado para a fabricação do etanol. O processo de cozimento (A e B) também é gerador de efluente dos condensadores barométricos ou dos multijatos e de efluente condensado nas calandras dos tachos de cozimento, conforme se vê na Figura 2 (REBELATO et al, 2011).

2.2 Produção de etanol

Na produção do etanol pode-se utilizar como matéria-prima o caldo extraído da cana, o caldo clarificado, o xarope e o melaço. A produção do etanol se inicia com o preparo do mosto utilizando-se de uma ou mistura dessas matérias-primas. Neste preparo, além da correção da concentração de açúcares, deve ser realizado a redução do pH para 4,5, o acerto da temperatura para em torno de 32° C, e o suprimento de nutrientes.

Após a etapa de preparo do mosto realiza-se a mistura deste com fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) e inicia-se a etapa de fermentação. Por meio desse processo obtém-se o vinho levedurado (vinho + leveduras), que contém o etanol produzido em torno de 8 a 12%. Em seguida, haverá o processo de centrifugação com objetivo de separar o vinho da levedura. Uma parte das leveduras é encaminhada para o setor de tratamento para diminuir a contaminação com bactérias e ser utilizado novamente em outra fermentação. A outra parte, resultante da multiplicação das leveduras durante a fermentação, é direcionada para o processo de secagem (REBELATO et al, 2012).

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Durante o processo de fermentação também há a produção do gás CO₂, que pode ser considerado um efluente das emissões gasosas nas dornas de fermentação. O gás pode arrastar etanol e deve, portanto, passar pela torre de CO₂ para recuperação do álcool etílico arrastado, permitindo a liberação do gás para o ambiente. O vinho delevurado (vinho sem levedura) é então encaminhado para o processo de destilação.

A destilação consiste na separação das substâncias que compõem o vinho, basicamente água, etanol, alcoóis superiores, ácidos orgânicos, aldeídos e ésteres através de seus diferentes pontos de ebulição e solubilidade. Em primeiro lugar, o vinho é levado para a destilação na coluna “A/A1/D”, na qual se injeta vapor e têm-se três saídas: (1) a vinhaça (subproduto), (2) o etanol de cabeça ou “de segunda” (subproduto), com teor de 92 a 94 %, que sai no topo da coluna (D); (3) flegma, uma mistura de vapores hidroalcoólicos de 45 a 50 %, que sai da lateral (entre as colunas A1 e A) e que será submetido ao processo de retificação (MARAFANTE, 1993).

Na segunda destilação, realizada na coluna “B/B1”, eleva-se o grau alcoólico e eliminam-se parte das impurezas. Nesta fase, tem-se a produção de etanol hidratado (95,1% v/v), de flegmaça (resíduo da retificação do flegma, sai na base da coluna B1), de óleo fúsel e de etanol “de segunda”. Os dois últimos são subprodutos comercializáveis, enquanto a flegmaça é incorporada à vinhaça ou utilizada em limpeza de equipamentos por ser de elevada temperatura e limpa. O processo prossegue rumo à produção do etanol anidro (99,6% v/v), através de sua desidratação (MARAFANTE, 1993).

Existem vários métodos para desidratar o etanol hidratado, sendo os mais usados: o extrativo, o azeotrópico e a peneira molecular. Essa última é o método preferido para produção de etanol para exportação (REBELATO et al, 2012). Após o processo de destilação o etanol é enviado para tanques de armazenamento. Depois de comercializados, o etanol hidratado e/ou anidro são transportados até as empresas distribuidoras até chegar ao consumidor final.

A partir dos processos produtivos identificamos também a geração de três resíduos: (1) o efluente da lavagem dos pisos e equipamentos; (2) o efluente da lavagem das dornas, produzido na assepsia das dornas (para processo descontínuo de fermentação); (3) os óleos lubrificantes da fábrica, que são os óleos trocados periodicamente de máquinas como turbinas, sistemas hidráulicos, engrenagens, etc.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Finalmente, das lagoas de decantação temos a geração sólidos decantados (“terra decantada”, “lodo decantado”). Estes sólidos decantados nas lagoas são coletados, geralmente no final da safra, e enviados à lavoura para adubação.

3. Caracterização dos resíduos/subprodutos, legislação pertinente e destinações

A Tabela 1 traz uma relação dos resíduos e subprodutos identificados e estudados, com uma síntese sobre a composição, a legislação aplicável e a forma de destinação mais comum entre as usinas brasileiras.

Tabela 1 – Resíduos/subprodutos gerados, composição, legislação e destinação mais usual

Resíduo/subproduto	Composição	Legislação	Destinação adotada pelas usinas
1. Vinhaça	1. Nitrogênio 2. Fósforo 3. Potássio 4. Óxidos 5. Sulfatos 6. Matéria orgânica 7. Alta DBO 8. Alta DQO	Portaria CETESB P4.231 Portaria CTSA 1/2005	1. Normalmente utilizado na fertirrigação 2. Produção de biogás (biodigestão) 3. Produção de ração animal 4. Produção de fungos 5. Produção de material de construção 6. Incineração
2. Bagaço	1. Fibras (46%) 2. Água (50%)	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Resolução CONAMA nº 313/2002	1. Normalmente utilizado na cogeração de energia (vapor e energia elétrica) 2. Uso como adubo na lavoura 3. Produção de ração animal 4. Produção de aglomerados 5. Produção de celulose 6. Venda para outras indústrias 7. Hidrólise para produção de etanol de segunda geração
3. Torta de filtro	1. Matéria orgânica 2. Nitrogênio 3. Fósforo 4. Potássio 5. Cálcio 6. Magnésio 7. Carbono 8. Manganês 9. Ferro 10. Alumínio 11. Zinco 12. Cinzas	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Resolução CONAMA nº 313/2002	Normalmente utilizado na aplicação na lavoura por conter quantidades significativas de Ca e P ₂ O ₅ . Muito utilizado em cana planta (primeiro corte). Pode, ou não, passar anteriormente por processo de compostagem
4. Melaço	1. Frutose 2. Sacarose 3. Glicose	Lei Estadual Nº 12.300/2006 Instrução Normativa IBAMA Nº6/2001	1. Normalmente direcionado à produção de etanol 2. Fertilizante 3. Ração animal
5. Efluente de lavagem da cana	1. Açúcar 2. Terra	CETESB D3.591	1. Normalmente utilizado na fertirrigação juntamente com a

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Palha 4. Alta DBO (DBO: 200-1200 mg/L) 		<ol style="list-style-type: none"> vinhaça 2. Recirculação 3. Tratamento 4. Para o caso de lançamento em corpos d'água deve ser tratada com decantação (lagoas) e lagoas de estabilização
6. Gases da queima do bagaço	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metano 2. Ozônio 3. Dióxido de carbono 4. Dióxido de enxofre 5. Monóxido de carbono 6. Óxido nitroso (N₂O) 7. Óxidos de Nitrogênio (NO_x) 	<p>Resolução CONAMA No. 3/1990</p> <p>Resolução CONAMA 382/2006 (anexo III)</p> <p>Resolução CONAMA N° 436, de 22 de dezembro de 2011 (Anexo III)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalmente lançados no ambiente
7. Particulados gerados durante a queima do bagaço	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material particulado (bagacilhos queimados e semi queimados) arrastado pelas correntes de ar ascendentes geradas durante a combustão do bagaço 	<p>Resolução CONAMA No. 3/1990</p> <p>Resolução CONAMA 382/2006 (anexo III)</p> <p>Resolução CONAMA N° 436, de 22 de dezembro de 2011 (Anexo III)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalmente aplicados no campo
8. Cinzas da queima do bagaço	<ol style="list-style-type: none"> 1. Óxido de silício 2. Óxido de alumínio 3. Óxido de ferro 4. Óxido de cálcio 5. Óxido de sódio 6. Óxido de potássio 7. Óxido de manganês 8. Óxido de magnésio 9. Óxido de fósforo 	<p>Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010</p> <p>Resolução CONAMA nº 313/2002</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalmente aplicadas no campo 2. Para área de aterro 3. Para produção de cimento 4. Para compostagem com minerais
9. Óleo Fúsel	<ol style="list-style-type: none"> 1. Álcool isoamílico 2. Álcool isobutílico 3. Álcool n-amílico 4. Álcool n-butílico 5. Isopropanol 6. Furfural 7. Ácidos graxos 	<p>Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010</p> <p>Resolução CONAMA nº 313/2002</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalmente utilizado como fixador para perfumes 2. Preparo de sabores artificiais 3. Aromatizantes 4. Solventes
10. Efluente condensado nos evaporadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. DBO: 150 mg/L 2. Resíduo total: 140 mg/L 3. Sólidos sedimentáveis: 0,0 ml/L 4. pH: 7,2 5. Oxigênio dissolvido: 0,0 mg/L 	<p>Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005</p> <p>Resolução CONAMA 410/2009;</p> <p>Resolução CONAMA 430/2011</p>	<p>Normalmente os condensados do pré evaporador (condensadores do vapor vv1) são reutilizados em caldeiras de baixa pressão e os demais (evaporadores), conforme o nível de contaminação podem ser utilizados no processo industrial (os demais condensados, vv2 a vv5, podem ser utilizados em outros pontos do processo ou para limpeza de pisos e equipamentos)</p> <p>Obs.: Algumas usinas não consideram este efluente um resíduo, pois contém energia e</p>

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

			assim retorna ao processo
11. Efluente dos condensadores barométricos ou dos multijatos	Dados para amostras colhidas junto à coluna barométrica: 1. DBO: 10 a 40mg/L 2. Resíduo Total: 176 mg/L 3. Sólidos Sedimentáveis: 0,4 mg/L 4. pH: 6,9 5. Oxigênio Dissolvido: 3,6 mg/L. 6. Média temperatura (~45°C)	Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 Resolução CONAMA 410/2009; Resolução CONAMA 430/2011	1. Normalmente recirculado ao processo depois do tratamento (o tratamento consiste no resfriamento em tanques aspersores ou torres para resfriamento) 2. Lançamento respeitando os padrões de qualidade do corpo receptor Obs.: Algumas usinas não consideram este efluente um resíduo, pois contém energia e assim retorna ao processo
12. Efluente do tratamento dos gases de combustão da caldeira	1. DBO:100 a 300 mg/L 2. Alta temperatura (~80°C)	Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 Resolução CONAMA 410/2009; Resolução CONAMA 430/2011	Normalmente recirculado ao processo de lavagem depois de tratamento em tanque de sedimentação
13. Efluente da lavagem dos pisos e equipamentos	1. DBO: 200 a 2.000 mg/L 2. pH: muito variável (desde extremamente ácido até extremamente alcalino, de acordo com as substâncias químicas utilizadas- ácidos, soda cáustica, detergentes ou sabões)	DIRETORIA CETESB Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005	1. Normalmente utilizado na fertirrigação juntamente com a vinhaça 2. Geralmente estes despejos são tratados em caixas separadoras de óleo antes da incorporação com água residuária aplicada na lavoura de cana
14. Efluente da lavagem das dornas	Tem efeito poluidor semelhante ao da vinhaça, porém bem mais diluído, cerca de 20% da vinhaça	Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 Resolução CONAMA 410/2009; Resolução CONAMA 430/2011	Normalmente utilizado na fertirrigação juntamente com a vinhaça
15. Efluente de descarga das caldeiras	Efluente com DBO bastante baixa	DIRETORIA CETESB Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005	Normalmente incorporado à caixa receptora da vinhaça para fertirrigação
16. Efluente das emissões gasosas nas dornas de fermentação	Gás CO ₂	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010	1. Normalmente é liberado no ambiente 2. Possibilidade de captura do CO ₂ para ser processado e comercializado (prática incomum)
17. Flegmaça	A flegmaça é um líquido que sai na retificação do etanol e contém água em quase totalidade.	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Resolução CONAMA nº 313/2002	1. Pode ser adicionado à vinhaça ou às águas residuárias 2. Pode ser aproveitada para lavagem das dornas de fermentação e de trocadores de calor
18. Óleos lubrificantes da fábrica	1. Ácidos orgânicos 2. Cetonas 3. Compostos aromáticos polinucleares 4. Resinas 5. Lacas	Resolução CONAMA Nº 362 de 23 de junho de 2005 Portaria ANP nº 125 e 126	Normalmente destinado à comercialização com empresas de recuperação de óleos

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

	6. Metais (chumbo, cromo, bário, cádmio)		
19. Lodo proveniente da descarga das caldeiras	1. Sílica 2. Cálcio 3. Magnésio	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Resolução CONAMA nº 313/2002	1. Área de aterro 2. Aplicação no campo
20. Levedura	1. Proteínas 2. Cálcio 3. Fósforo 4. Magnésio 5. Sódio 6. Cloro 7. Enxofre	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Resolução CONAMA nº 313/2002	1. Alimentação animal 2. Alimentação humana 3. Lavoura
21. Etanol bruto (ou etanol “de segunda”)	1. Aldeídos (aldeídos etílicos, aldeídos graxos e furfural) 2. Ésteres 3. Traços de alcoóis superiores (alcoóis amílicos, propílicos, butílicos e traços de metanol) 4. Substâncias constituídas de amoníaco e aminas, combinados com ácidos sob diversas formas, que se liberam no ambiente alcoólico	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 Resolução CONAMA nº 313/2002	1. Retorno do álcool de segunda para a dorna volante 2. Utilização do álcool de segunda para aumentar o poder calorífico do bagaço e assim aumentar o poder calorífico
22. Sólidos decantados (“terra decantada” ou “lodo decantado”)	1. Sílica 2. Fósforo 3. Nitrogênio 4. Potássio 5. Manganês 6. Magnésio 7. Ferro 8. Cálcio 9. Matéria orgânica 10. Alta DBO 11. Alta DQO	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010	Normalmente a empresa faz a análise dos sólidos decantados: a) Se forem detectados resíduos de óleo (tem que haver CADRI) estes devem ser separados e a destinação são empresas de reciclagem b) Se resíduos de óleo não forem detectados, vai para a lavoura
23. Resíduos da desidratação do etanol hidratado (resina zeolítica)	1. Alumínio 2. Sílica 3. Ácidos 4. Aldeídos 5. Ésteres	Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010	Aterro sanitário industrial com CADRI

Fonte: elaboração própria

4. Metodologia

Este trabalho utilizou a metodologia do estudo multi casos, que segundo Yin (2005), tem como objetivo investigar fenômenos contemporâneos dentro de seus contextos reais. O estudo foi realizado em oito usinas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (BHMG).

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Atualmente, muitos especialistas argumentam que o estudo de questões relativas ao meio ambiente seja feito a partir dos recortes definidos pelas bacias hidrográficas. Um dos principais argumentos centra-se no fato de que a qualidade ambiental de uma determinada região está diretamente associada às formas de ocupação e uso de seus recursos naturais, com destaque aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Trata-se de um recorte territorial especialmente adequando ao estudo da produção sucroenergética sob o enfoque ambiental, dado tratar-se de uma indústria que gera resíduos e subprodutos que tem nas águas seu maior impacto. Além disso, a legislação ambiental brasileira também recomenda a adoção da bacia hidrográfica como um recorte adequado para avaliação de impactos ambientais. Com relação à chamada *área geográfica*, o Artigo 5º, III, da Resolução CONAMA n. 001/86 diz: “ Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos (ambientais) ... em todos os casos, a *bacia hidrográfica* no qual se localiza” (MILARÉ, 2000, p.32).

A BHMG (Figura 1) compreende uma área total de 17.460 km², com boa parte da sua totalidade (14.653 km²) localizada na região nordeste do Estado de São Paulo (STORANI & PEREZ FILHO, 2009). No Estado de São Paulo, a BHMG está localizada em uma das regiões mais industrializadas e é considerada uma importante bacia uma vez que engloba 59 municípios, sendo que 38 deles possuem suas sedes nesta bacia, totalizando uma área de 13.061 km², com um total de 1.293.474 de habitantes (SIGRH, 2011). Na porção relativa à BHMG existe um total de vinte e cinco usinas sucroenergéticas. Além disso, merece destaque a cultura de cana-de-açúcar na porção da referida bacia, com produção de 346.293.389 toneladas na safra 2008/2009. Desta maneira, tanto em relação ao cenário socioeconômico quanto em relação à questão ambiental, é destacada a importância do setor sucroenergético para a BHMG (UNICA, 2011; SÃO PAULO, 2008).

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

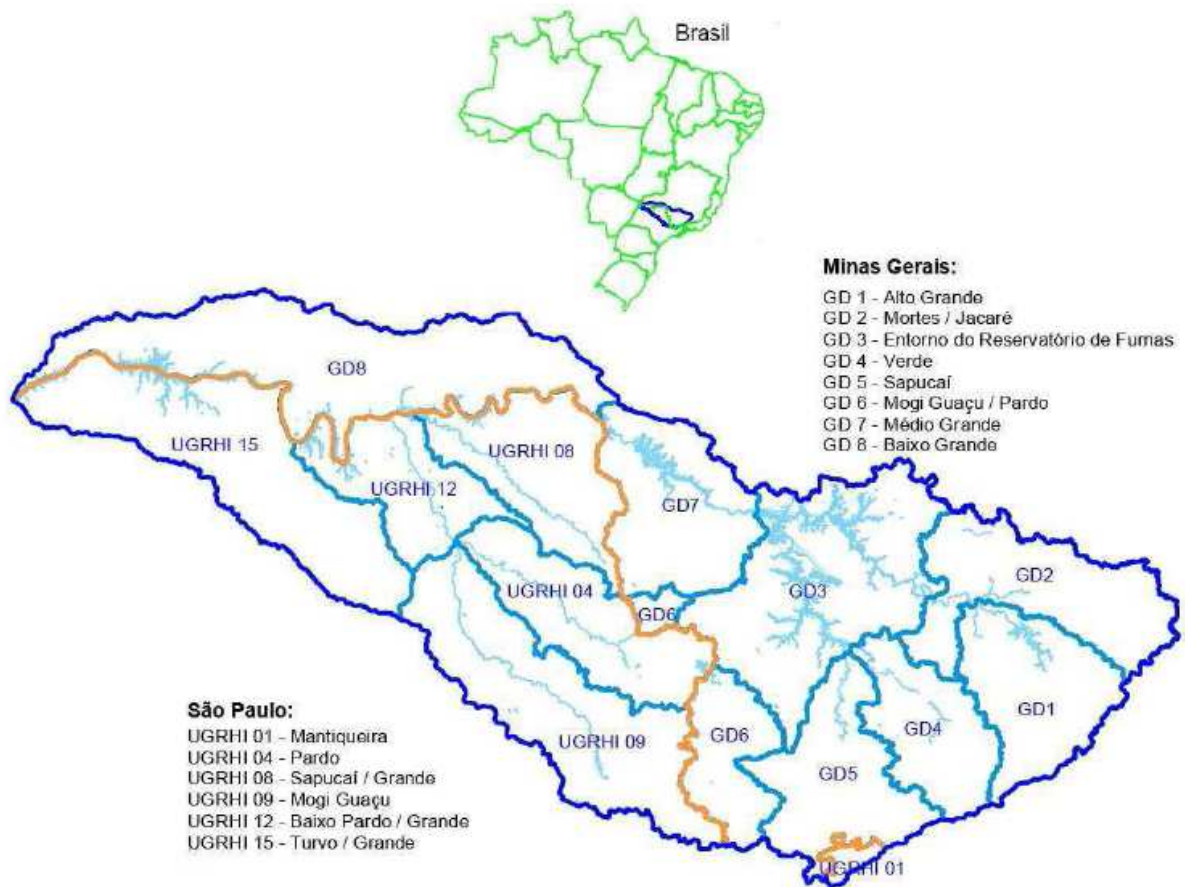


Figura 1- Localização da Bacia do Rio Mogi Guaçu

Fonte: Galvão et al (2013)

Neste estudo, a escolha das empresas foi feita de modo probabilístico. Destaca-se que em geral há grande dificuldade em conseguir dados das usinas. Trata-se de um setor relativamente fechado. Algumas empresas não atendem os pesquisadores ou jamais emitem as respostas dos questionários enviados, mesmo com comprometimento prévio. Das dezoito usinas contatadas obtivemos respostas de oito delas, o que dá um retorno de 44%. Considerando um universo de vinte e cinco usinas em operação atualmente na BHM, nossa amostra correspondeu a 32% do universo, o que pode ser considerada uma amostra representativa.

A estratégia metodológica deste trabalho percorreu quatro etapas:

- a) Estudo dos processos sucroenergéticos – com vistas à identificação dos resíduos e subprodutos gerados pelas operações industriais foram realizados estudos das etapas de fabricação do açúcar e do etanol;

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

- b) Elaboração de uma estrutura teórico-conceitual de referência – esta estrutura foi desenvolvida a partir da identificação de cada resíduo/subproduto gerado, da determinação de suas características, composição, legislação aplicável e destinações possíveis. Tomou-se como parâmetro comparativo à avaliação pretendida a correta destinação dos resíduos/subprodutos. Desta forma, para os resíduos/subprodutos que possuem destinação regulamentada por resoluções, portarias e leis ambientais, o padrão adotado foi o que versam essas resoluções, portarias e leis ambientais. Para aqueles que não possuem legislação específica a esse respeito, o padrão os padrões adotados foram as práticas mais comuns entre as usinas, desde que estas práticas não revelem conflitos com a legislação mais geral que versa sobre os resíduos sólidos, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2010). A única exceção a esta regra ocorreu relativamente aos gases emitidos diretamente na atmosfera. Não existe legislação que impeça a emissão de gases produzidos por processos industriais. No entanto, do ponto de vista ambiental, esta prática foi considerada inadequada;
- c) Elaboração do questionário e coleta de dados – o questionário elaborado teve como objetivo identificar a destinação dada pelas usinas a cada resíduo/subproduto gerado pelos setores de fabricação. Os dados foram coletados nas usinas com os gerentes da área de gestão ambiental e de produção;
- d) Análise das destinações – a análise da adequabilidade das destinações de cada resíduo/subproduto foi realizada com base no corpo de conhecimentos desenvolvido na etapa b. A avaliação aqui conduzida foi feita de maneira qualitativa.

5. Resultados e discussão

A seguir apresentamos o resultado das análises e a discussão da adequabilidade de cada uma das destinações dos resíduos e subprodutos praticadas pelas usinas. Como as usinas trabalham em condições operacionais muito semelhantes, várias práticas são idênticas para diversos resíduos/subprodutos.

5.1 Vinhaça

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

As oito usinas pesquisadas declararam que utilizam toda a vinhaça produzida na fertirrigação durante toda a safra canavieira e que obedecem em 100% a norma CETESB P 4.231. Quanto a isso, não se pode negar que fertirrigação é uma prática atual, do ponto de vista ambiental, muito superior ao antigo expediente de lançamento nas águas superficiais, cujos efeitos nocivos eram óbvios e evidentes. O uso desse efluente na adubação da cana-de-açúcar (BEBÉ et al., 2009) é realizado devido a presença de expressiva quantidade de nutrientes e matéria-orgânica. Os níveis de K (potássio) definem a quantidade a ser utilizada no campo, sem que haja problemas com contaminação do lençol freático.

Entretanto, nos dias atuais, questiona-se ser a fertirrigação uma solução anódina. Vários estudos chamam a atenção para o risco da contaminação de lençóis freáticos pela aplicação de vinhaça na lavoura da cana. Tanto a contaminação das águas subterrâneas quanto a salinização do solo devem ser tomadas como riscos potenciais, apesar de as conclusões científicas sobre essas possibilidades ainda serem insuficientes.

Não se comprova ou se refuta que a utilização da vinhaça segundo as dosagens estipuladas pela norma CETESB P 4.231 cause danos ao meio ambiente. No entanto, a norma estabelece práticas e ações de manuseio complementares relativas ao trabalho de prevenção da contaminação do lençol freático e das áreas ambientalmente sensíveis. Deste modo, esta destinação da vinhaça, considerando as práticas de proteção estabelecidas pela norma, pode ser considerada adequada.

5.2 Bagaço

Sete das oito usinas pesquisadas declararam que o bagaço é totalmente queimado para cogeração. Uma delas declarou que queima o bagaço, porém vende parte deste a terceiros, o qual também é utilizado para geração de energia. Quanto a isso, devemos levar em conta que esta biomassa é uma fonte renovável de energia, pois pode ser regenerada em curto espaço de tempo.

Diferentemente do petróleo, a queima do bagaço não emite SO₂ (gás tóxico, irritante das vias respiratórias, das mucosas dos olhos e da pele) e suas cinzas são menos agressivas ao ambiente do que as provenientes de combustíveis fósseis. O bagaço da cana é considerado por muitos especialistas uma fonte limpa de energia, pois o carbono emitido na queima é recuperado no cultivo da cana-de-açúcar, durante o processo da fotossíntese. Como já citado,

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

apesar de esta hipótese de “soma zero” ser contestável, não há dúvidas que sob este aspecto a biomassa é preferível em relação aos combustíveis fósseis.

Além disso, as usinas geram eletricidade excedente que pode ser exportada às distribuidoras de energia elétrica, o que significa uma geração complementar ao fornecimento das hidrelétricas, o que se torna importante nas épocas de seca. Deste modo, esta destinação dada ao bagaço pode ser considerada ambientalmente adequada.

5.3 Torta de filtro

Todas as oito usinas declararam que este subproduto é utilizado na lavoura como fertilizante. A torta de filtro é um composto basicamente orgânico constituído de fósforo, cálcio, nitrogênio, potássio, enxofre e magnésio, com cerca de 70% do peso em umidade. Apesar de a torta de filtro não conter todos os nutrientes necessários ao crescimento da cana-de-açúcar, incrementa a fertilidade do solo por fornecer maior quantidade de matéria orgânica, o que resulta em maior produtividade dos colmos e de sacarose da planta. Como é um subproduto que apresenta elevada DBO, o que causa poluição é a sua disposição nos corpos d'água, não a aplicação na lavoura. Deste modo, esta destinação dada à torta de filtro pode ser considerada ambientalmente adequada.

5.4 Melaço

Sete das oito usinas declararam utilizar o melaço para produção de etanol. Apenas uma delas vende o melaço a terceiros. Cada tonelada de cana produz até 60 Kg de melaço, e no Brasil, é comum a fabricação do etanol tendo como fonte de matéria-prima exclusivamente o melaço, ou o melaço misturado com o caldo da cana.

O melaço se constitui num subproduto do processo de produção do açúcar. Como este ainda contém sacarose e açúcares redutores como glicose e frutose, além de nutrientes importantes para o metabolismo das leveduras, pode então ser utilizado como matéria-prima para o preparo do mosto e passar pelo processo de fermentação, o qual gerará o vinho a ser destilado e, assim produzir o etanol.

O melaço nunca é descartado no meio ambiente pelas usinas, pois possui substancial valor comercial. Deste modo, as destinações verificadas ao melaço podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

5.5 Efluente de lavagem da cana

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Duas das oito usinas investigadas não realizam a lavagem da cana, pois com a mudança de colheita de cana “queimada” para cana “crua” (sem queima), alterou-se também o sistema de recepção da matéria-prima pelas usinas. O objetivo da lavagem da cana é retirar a terra aderida aos colmos, a qual traz contaminação por microrganismos. A lavagem não pode ser realizada em colmos picados (quando a colheita é mecanizada), pois pode haver perda elevada de açúcares. A limpeza a seco vem sendo incrementada na etapa de recepção da cana, pois com a cana crua a quantidade de impurezas vegetais (folhas, palhas e outros) elevou-se, sendo deste modo, importante removê-las para não prejudicar o processamento industrial. A palha é encaminhada juntamente com o bagaço para serem queimados nas caldeiras. Uma das usinas utiliza o efluente de lavagem na fertirrigação. As outras cinco restantes utilizam este resíduo em circuito fechado com purgas para as águas residuárias.

Do ponto de vista ambiental, a opção mais desejada é a realização da limpeza da cana a seco. Na indústria sucroenergética, a lavagem da cana-de-açúcar é uma das etapas do processo que mais demanda água em todo parque industrial. Desta forma, além de captar menor volume de águas dos mananciais, a usina deixa de produzir o efluente de lavagem da cana.

Depois que a água de lavagem de cana passa pelo peneiramento (peneira “cush-cush”) para remoção de materiais grosseiros (toletes de cana e palhas arrastadas durante a lavagem) pode seguir por dois caminhos. A primeira opção é adotada quando se objetiva lançar o despejo em cursos de água e, para isso, o efluente segue para tratamento, que pode ser lagoa de decantação e estabilização. Este é o chamando sistema aberto, que está praticamente abandonado nas usinas devido às exigências ambientais. A segunda opção é o reuso do efluente num sistema fechado de recirculação em que se tem o tratamento em decantadores circulares precedidos ou não por pré decantadores ou caixas de areia. Neste processo, há a necessidade da manutenção do pH básico da água em circulação para evitar a sua degradação e conseqüentemente corrosão dos equipamentos (ANA, 2009).

Os efluentes de lavagem da cana são considerados, por alguns especialistas, altamente poluidores das águas. Entretanto, considerando que a DBO máxima deste efluente se situa no limite superior de 500 mg/l, podemos dizer que seu potencial poluidor é mediano. Sua aplicação na lavoura não pode ser considerada incorreta. Deste modo, as destinações verificadas ao efluente de lavagem da cana podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

5.6 Gases da queima do bagaço

As oito usinas declararam seguir as resoluções CONAMA pertinentes às emissões máximas de NO_x e CO, que são os únicos gases cuja emissão é regulamentada pelas normas. Apesar de existir atualmente tecnologia disponível capaz de capturar os gases exauridos pelas caldeiras de combustão do bagaço e envasá-los para que fiquem ali contidos, esta tecnologia é muito cara e não há usina brasileira que a utilize.

Em suma, mesmo se considerarmos o bagaço fonte de energia limpa, é fato que a combustão é geradora de gases do efeito estufa e estes são liberados na atmosfera. Deste modo, as destinações verificadas a estes efluentes gasosos não podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

5.7 Particulados gerados durante a queima do bagaço

As oito usinas declararam seguir as resoluções CONAMA concernentes às emissões máximas permitidas de material particulado expelido pelas chaminés, o qual é gerado durante a queima do bagaço. A queimada do bagaço nas caldeiras em zonas urbanas próximas aos canaviais causa problemas respiratórios, sobretudo em crianças e idosos, uma vez que o período de queimada coincide com o período em que a umidade relativa do ar está mais baixa. O material particulado está associado aos resíduos de cinzas, fuligens e outros materiais. Esse material provoca efeitos estéticos indesejáveis em virtude de sua cor escura e causa incômodos ao bem-estar da população, devido à sua precipitação em ruas e residências. Além disso, a inalação de material particulado penetra nos pulmões e diminui a capacidade respiratória (RAMOS e LUCHIARI Jr, 2013). Como todas as usinas controlam essa emissão de particulados as destinações verificadas podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

As usinas têm investido em sistemas de limpeza de gases, para que a emissão de gases tóxicos e particulados pela indústria seja próxima de zero. A colheita sem realização de queima é prática que está aumentando devido à legislação ambiental e também para atendimento ao Protocolo Agro Ambiental assinado pela maioria das usinas dessa bacia hidrográfica para eliminar a queima da cana para colheita até o final de 2014 (DE NOVAES, et al. 2011). É comum a aquisição de máquinas e formação de frentes de colheita que podem ser da própria usina ou de terceiros para a realização da colheita mecanizada. A emissão de particulados por queima nessa região ocorre, atualmente, de forma acidental ou por sabotagem.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

5.8 Cinzas da queima do bagaço

As oito usinas declararam aplicar as cinzas da queima do bagaço na lavoura como fertilizante. As cinzas aplicadas ao solo são uma alternativa ambiental e economicamente viável, uma vez que esse material possibilita alta capacidade de retenção de água, melhorando o desenvolvimento da cultura por serem ricas em nutrientes e reduzindo impactos ambientais provocados pela irrigação (FEITOSA et al., 2009). Deste modo, as destinações dadas às cinzas da queima do bagaço pelas usinas podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

5.9 Óleo fúsel

Na composição do óleo fúsel encontra-se álcool etílico, amílico, isoamílico, propílico, butílico entre outros, além de ter pH baixo na ordem de 4,3. Deste modo, não pode ser utilizado na agricultura como fertilizante e apresenta alto poder poluente se descartado na água. Seis das oito usinas declararam que comercializam o óleo fúsel produzido, destinação considerada ambientalmente correta. Porém, duas delas descartam este subproduto junto às águas residuárias, destinação que é inadequada.

5.10 Efluente condensado nos evaporadores

Das oito usinas investigadas apenas uma delas utiliza este efluente na fertirrigação juntamente com a vinhaça. Três usinas utilizam o efluente nas caldeiras dado que estes são límpidos e quentes. As demais quatro usinas utilizam este efluente no processo. Ou seja, sete das oito usinas utilizam o efluente em operações de fabricação e uma delas o aplica na lavoura, destinações que podem todas ser consideradas adequadas.

O reuso da água dentro da fábrica é muito importante para redução de custos de produção e também por ser ambientalmente correto. As usinas têm investido na reutilização dos efluentes de forma que a aquisição de água de mananciais hídricos seja mínima possível.

5.11 Efluentes dos condensadores barométricos ou multijatos

Das oito usinas investigadas apenas uma delas utiliza este efluente na fertirrigação. Também apenas uma delas utiliza o efluente no processo de destilação do etanol (envio à cabeça da coluna A). Duas delas enviam o efluente ao *spray* de resfriamento em circuito fechado. E quatro usinas reutilizam o efluente no processo de fabricação do açúcar. Ou seja, sete das oito usinas utilizam o efluente em operações de fabricação e uma delas o aplica na lavoura, destinações que podem todas ser consideradas adequadas.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

5.12 Efluente do tratamento dos gases de combustão da caldeira

Das oito usinas pesquisadas cinco delas declararam que utilizam esse efluente em circuito fechado realizando, para isso, o tratamento do mesmo com decantação e/ou filtragem. Três delas aplicam o efluente na lavoura por meio de resfriamento realizado anteriormente, ou com incorporação à vinhaça. A utilização deste efluente em circuito fechado é a melhor opção do ponto de vista ambiental, pois reduz a necessidade de captação de água pelas usinas. No entanto, mesmo tratando-se um efluente com médio teor de matéria orgânica, sua aplicação na lavoura é ambientalmente adequada.

5.13 Efluente de lavagem de pisos e equipamentos

Todas as usinas do estudo declararam incorporar o efluente de lavagem de pisos e equipamentos na vinhaça para fertirrigação da lavoura da cana, tendo os óleos sido separados anteriormente da água por flotação. É certo que a qualidade deste efluente é muito variável, porém pode-se considerar adequada sua aplicação na lavoura.

5.14 Efluente de lavagem das dornas

Sete das oito usinas declararam que realizam a fermentação do mosto “por bateladas” que o efluente de lavagem das dornas é incorporado à vinhaça na fertirrigação. Um delas declarou que não gera este efluente, pois emprega processo de fermentação do tipo contínuo. Como este efluente tem potencial poluidor muito inferior ao da vinhaça, pode-se considerar que as destinações são ambientalmente adequadas.

5.15 Efluente de descarga das caldeiras

Todas as usinas declararam que utilizam o efluente de descarga das caldeiras é incorporado à vinhaça na fertirrigação. Como se trata de um efluente com baixa DBO, esta destinação pode ser considerada ambientalmente adequada.

5.16 Efluentes das emissões gasosas nas dornas de fermentação

Nenhuma das usinas pesquisadas declarou o aproveitamento (captura) do CO₂ gerado no processo de fermentação do mosto, apesar de todas realizarem a lavagem do CO₂ para a recuperação do etanol ali contido, que é liberado na fermentação. A partir da constatação que o CO₂ é um gás do efeito estufa, pode-se considerar esta destinação ambientalmente inadequada.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

O CO₂ pode ser utilizado para fabricação de gelo seco, cultivo de microalgas (que serão matéria prima na produção de biodiesel), e outros produtos que necessitem desse gás, como sua adição em refrigerantes e cerveja. Nos EUA, algumas destilarias possuem fábricas anexas que utilizam o CO₂ gerado na fermentação para produção de subprodutos. No entanto, o investimento é elevado, o que impede a adoção pelas usinas dessa bacia hidrográfica (SANTOS et al., 2012).

5.17 Flegmaça

Quatro das oito usinas declararam que a flegmaça é reutilizada no processo, enquanto as outras quatro declararam que este efluente é aplicado na lavoura juntamente com a vinhaça. A utilização deste fluente em circuito fechado é a melhor opção do ponto de vista ambiental, pois reduz a necessidade de captação de água. Trata-se de um efluente com baixo potencial poluidor e desta forma as destinações podem ser consideradas ambientalmente adequadas e entram nos cálculos de redução de custos por evitar o uso da água de mananciais hídricos.

5.18 Óleos lubrificantes da fábrica

Todas as usinas declararam que encaminham os óleos lubrificantes da fábrica à empresas especializadas que recolhem os óleos e realizam o refino para comercialização. Trata-se de uma destinação ambientalmente adequada.

Os óleos são muito importantes para o perfeito funcionamento de equipamentos e automotivos. A troca ocorre de forma periódica. Algumas usinas possuem laboratórios que analisam a qualidade do óleo para verificar se o óleo mantém suas características operacionais de modo a poder continuar em trabalho, retardando-se sua troca. Assim, também os óleos lubrificantes de moendas e outros equipamentos podem ter maior tempo de utilização.

5.19 Lodo de descarga da caldeira

Das oito usinas pesquisadas, seis delas declararam que enviam o lodo de descarga das caldeiras à lavoura juntamente com a torta de filtro para aplicação na lavoura da cana. Duas usinas afirmaram que suas caldeiras são de tecnologia mais moderna e, portanto não geram este tipo de resíduo. Trata-se de destinação ambientalmente adequada.

5.20 Levedura

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Quatro das oito usinas comercializam toda a levedura em excesso produzida durante o processo de fermentação do mosto. Três usinas misturam a levedura com a vinhaça para aplicação no solo agrícola. Uma delas realiza uma ou outra dessas duas destinações citadas. São destinações que podem ser consideradas ambientalmente adequadas. A comercialização da levedura seca é objetivo da maioria das usinas, pois se trata de um produto de alto valor agregado. No entanto, o custo da instalação, da energia necessária e da manutenção de equipamentos para a secagem da levedura é alto, o que explica o não aproveitamento, em alguns casos, do subproduto. A levedura seca é fonte importante de nitrogênio, e muito requerida para alimentação de bovinos, aves, equinos e suínos.

5.21 Etanol bruto ou de segunda

Sete das oito usinas “redestilam” e reincorporam o etanol bruto ao processo de fabricação de etanol. Somente uma delas comercializa este etanol. São destinações que podem ser consideradas ambientalmente adequadas.

O etanol bruto contém impurezas denominadas “de cabeça” (aldeídos e ésteres principalmente, que saem no topo das colunas de destilação). No entanto, a ANP não fixa para o etanol combustível hidratado e anidro a quantidade mínima desses componentes (PEREIRA et al. 2012). Desse modo, se a quantidade desses compostos não prejudica a qualidade do etanol ao que será destinado (por exemplo, como combustível), a retirada desse subproduto é reduzida, o que explica a reintrodução no processo realizada pelas usinas. No entanto, se a produção de etanol for requerida com maior pureza, então a retirada de etanol bruto passa a ser importante para melhoria da qualidade do mesmo. Esse tipo de etanol é o denominado álcool neutro, que é utilizado para produção de bebidas, produtos farmacêuticos e outros. Há também a possibilidade de se utilizar do etanol bruto para aumentar o poder calorífico nas caldeiras.

5.22 Sólidos ou lodo decantado das lagoas de sedimentação

Todas as oito usinas declararam que incorporam o lodo decantado das lagoas de sedimentação (decantação) ao solo agrícola. Trata-se de destinação que pode ser ambientalmente adequada. No entanto, essa prática deve ser mais bem observada, através de estudos, para verificação de acúmulo de metais pesados entre outros, o que prejudicaria a qualidade do solo agrícola.

5.23 Resíduos da desidratação do etanol hidratado

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Das oito usinas pesquisadas apenas duas delas utilizam as resinas zeolíticas. As empresas declaram que esses resíduos são coletados, armazenados e enviados para empresa especializada e licenciada para destinação em aterro industrial. As outras seis usinas não utilizam deste material, portanto a questão não se aplica. Trata-se de destinações ambientalmente adequadas.

O ciclohexano (desidratação azeotrópica) e monoetilenglicol (desidratação extrativa) podem deixar resíduos no etanol produzido. O ciclohexano inclusive é considerado atóxico, porém, pode ser perdido na forma de gases incondensáveis no condensador do aparelho de destilação. Os colaboradores que trabalham neste local ganham adicional de insalubridade, por estarem em contato direto com as duas substâncias.

6. Considerações finais

A indústria sucroenergética, produtora de açúcar, etanol e energia, além de outros subprodutos comercializáveis, emprega métodos e processos produtivos de alto potencial de impacto no meio ambiente. Trata-se de um tipo de indústria que têm adotado inovações na gestão de seus resíduos industriais, tanto por conta da imposição de novas leis, quanto pela conscientização dos empreendedores do setor relativamente às questões ambientais.

O processamento sucroenergético é gerador de uma ampla extensão de diferentes tipos ou categorias de resíduos/subprodutos. Cabe esclarecer que este trabalho enfocou apenas as operações industriais geradoras ou agregadoras de valor aos produtos, deixando de fora as atividades não agregadoras de valor. Desta forma, não foram levados em consideração resíduos descartados tais como: efluentes de esgoto doméstico gerados pela usina, lixo de laboratório PCTS e industrial, sucatas ferrosas e não ferrosas, pilhas e baterias, estopas, lixo de ambulatório médico, lâmpadas, pneus, borrachas e eletroeletrônicos.

Todos os resíduos e subprodutos gerados pelas usinas têm a destinação precisamente dentro do que regem as leis e resoluções legais pertinentes. Na falta de leis específicas sobre a destinação do resíduo/subproduto, como por exemplo, a levedura, o etanol de segunda, o lodo de descarga das caldeiras, as cinzas, o óleo fúsel, etc. as empresas demonstraram práticas ambientalmente corretas, com exceção de duas delas que destinam o óleo fúsel à lavoura. Apesar do baixo volume produzido, 250 ml de óleo fúsel por 100 litros de etanol em média, esta não é uma destinação adequada. A mistura de óleo fúsel com o etanol combustível pode,

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

segundo Zarpelon (2014), ser uma prática mais adequada, pois não interfere na qualidade e até aumenta a energia da explosão.

Outra constatação de inadequação foi com relação aos gases emitidos. Se levarmos em conta que os efluentes das emissões gasosas de fermentação (gás CO₂ liberado na fermentação do mosto) são liberados diretamente no ambiente não podemos dizer, de um ponto de visto ortodoxo, que esta emissão seja ambientalmente correta. O mesmo se pode dizer dos gases exauridos pelas chaminés das caldeiras de combustão do bagaço. Mesmo que não haja leis ou resoluções que regulamentem a proibição destas emissões na atmosfera, sabemos que os gases expelidos são causadores do efeito estufa e que, portanto estas emissões não podem ser ambientalmente adequadas.

Isto nos levar a crer que, apesar de os especialistas apontarem que o maior impacto ambiental da produção sucroenergética estar sobre os mananciais, acreditamos que, devido às práticas de contenção atuais, o impacto majoritário esteja efetivamente na atmosfera.

Levando em conta todas as observações no caso das empresas em estudo, temos oito usinas produzindo vinte e três resíduos e subprodutos, o que resulta em 184 emissões. Desse total, dezoito delas foram avaliadas como inadequadas (emissão de gases por todas as usinas e emissão de óleo fúsel por duas delas), resultando em um índice de 98% de emissões ambientalmente adequadas. A partir do ponto de vista das destinações, o número revela um bom desempenho ambiental das empresas estudadas.

Este tipo de estudo pode ser aplicado em países importantes na produção sucroenergética como EUA, Índia e Austrália, de modo a se ter uma análise comparativa global no tocante à gestão ambiental deste tipo de indústria.

Estudos análogos a este podem ser conduzidos em outras agroindústrias como processadores de laranja, tomate, goiaba, amendoim, morango, entre outros. Uma comparação com as indústrias de combustíveis fósseis também pode ser realizada para que se tenha idéia comparativa sobre a gestão ambiental entre *players* de diferentes matrizes energéticas.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro à pesquisa.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

Referências

- ANA. **Manual de conservação e reuso da água na agroindústria sucroenergética.** Agência Nacional da Águas – FIESP – ÚNICA- CTC – Brasília, 2009. Disponível em: <www.fiesp.com.br/ambiente/downloads/publicaguab.pdf> Acesso em 13 abril de 2012.
- BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 781-787, 2009.
- DEBOLETTA, A.; SCHEMMER, A.. Gestão de práticas ambientais no setor sucroalcooleiro da região de Marília/SP. **Revista Eletrônica de Graduação da UNIVEM**, v.2, n.2, pp. 6-24, 2009.
- DE NOVAIS, M. R.; RUDORFF, B. F. T.; DE ALMEIDA, C. M.; AGUIAR, D. A. Análise espacial da redução da queima da colheita de cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 3, p. 572-583, 2011.
- DONAIRE, D. *Gestão Ambiental na Empresa*. São Paulo: Atlas, 2000.
- FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L. SILVA, I. P. F Avaliação da cinza oriunda da queima do bagaço da cana de açúcar na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, n.2, v.4, p.2412-2415, 2009
- FIPA. Boletim informativo da Federação das Indústrias Portuguesas Agro-Alimentares. 2007. Disponível em <<http://www.fipa.pt/pdf/fipaflash95.pdf>> acessado em Janeiro/2013.
- GALVÃO, A. Q.; FREITAS, J. C.; VICTORIA, N. G.; BUSER, T. B. **Plano da bacia do Rio Mogi Guaçu**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://200.144.189.97/phd/LeArq.aspx?id_arq=5059> Acesso em : 13 fev 2013.
- MACHADO, A. G. C.; SILVA, J. C. Estratégia empresarial e práticas ambientais: evidências no setor sucroalcooleiro. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 12, n. 37, p. 405-424, 2010.
- MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do açúcar e do álcool**. São Paulo: Ícone, 1993.
- MILARÉ, E. **Direito do Ambiente**. São Paulo: Editora dos Tribunais, 2000.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

PEREIRA, A. R.; SARAN, L. M.; MADALENO, L. L. **Parâmetros físico-químicos e métodos analíticos para o controle da qualidade do etanol combustível**. São Carlos: RiMa Editora, 2012, 140p.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso em 25 mar. 2013.

RAMOS, N. P.; LUCHIARI Jr, A. **Atividade agrícola**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT1.html>> Acesso em 15 maio 2013.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L; RODRIGUES, A. M. Um estudo sobre a aplicabilidade do sistema puxado de produção na fabricação de açúcar. **Revista Gestão Industrial**, v.7, n.1, pp. 228-246, 2011.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L; RODRIGUES, A. M. Um estudo sobre a aplicabilidade do Just-In-Time na fabricação do etanol. **Revista Produção Online**, v.12, n. 3, pp. 703-728, 2012.

RODRIGUES, I. C. **Certificação ambiental e desenvolvimento sustentável: avaliação para o setor sucroalcooleiro localizado na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu-SP**. 299p. 2004. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSCar.

ROHRICH, S. S.; CUNHA, J. C. A Proposição de uma taxonomia para análise da gestão ambiental no Brasil. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 8, n. 4, p. 81-97, 2004.

SANTOS, D. F. L; REBELATO, M. G.; RODRIGUES, A. M. Análise da viabilidade econômica de um planta para captura de CO₂ na indústria alcooleira. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 12, n. 2, p. 64-88, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>>. Acesso em: 23/03/2011.

SIGRH – Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. *CBH-Mogi*. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh_home_colegiado.exe?TEMA=APRESENTACAO&COLEGIADO=CRH/CBH-MOGI&lwgactw=331822>. Acesso em: 17 de março de 2011.

**Avaliação do desempenho ambiental dos processos industriais de usinas sucroenergéticas:
um estudo na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu**

Marcelo Giroto Rebelato, Leonardo Lucas Madaleno, Andréia Marize Rodrigues

STORANI, D. L.; PEREZ FILHO, A. Unidades geossistêmicas na Bacia Hidrográfica do rio Mogi Guaçu/SP. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Viçosa: UFV, 2009.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). **Produção brasileira de açúcar e de etanol**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> Acesso em: 07 de abril de 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZARPELON, F. **As especificações do álcool focadas para o mercado mundial**. 2014. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Especificacoes_do-Alcool_Focado_para_Mercado_Mundial_000fxgfcrtu02wyiv80soht9hal6t8qx.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2014.
