

**ENGENHARIA SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO SOBRE A REUTILIZAÇÃO
DO DIÓXIDO DE CARBONO RESIDUAL EM PROCESSOS
FERMENTATIVOS**
Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

Marcos Daniel Gomes de Castro
marcosdg_12@hotmail.com

Fernanda Serotini Gordono
fernandagordono@hotmail.com

Hitalo Silva Roldan
htsilva@hotmail.com

Márcia Eliane Rodrigues Mari
meliane@hotmail.com

Rodolfo Prado
rdpr@hotmail.com

Resumo: *Devido o cenário competitivo na atualidade, as empresas tendem otimizar seus processos, aumentando suas receitas, aproveitando ao máximo seus espaços físicos disponíveis. Uma das alternativas é reaproveitamento utilizando resíduos com forte potencial aproveitável, conduzindo as empresas desenvolver maneiras de conciliar o tripé da sustentabilidade, na sua conjuntura econômica, social e ambiental. O dióxido de carbono gerado em demasia em processos fermentativos deixaria de ser um residual problemático e se torna a matéria-prima ou insumo importante em outro processo dentro ou fora da empresa. O seguinte trabalho demonstra as vantagens econômica, sociais e financeiras que esse reaproveitamento do CO² gera para a empresa, colaborando com o cenário atual no setor de produção industrial.*

Palavras-chaves: *Engenharia Sustentável, Dióxido de carbono, Bicarbonato de Sódio.*

1 INTRODUÇÃO

A Usina estudada é uma tradicional unidade industrial produtora de cana, açúcar, etanol e levedura seca, localizada no Centro Oeste Paulista. Atualmente esmaga 4,1 milhões de toneladas de cana para produzir 240 mil toneladas de açúcar, 180 milhões de litros de etanol e 3.500 toneladas de levedura por ano.

Persistente na busca de contínuo aprimoramento, a empresa valoriza o ser humano, a integração com a sociedade e a preservação do meio ambiente, o que lhe permite crescer de maneira ordenada e sustentável com garantia de qualidade nos processos e nos produtos finais derivados da cana-de-açúcar.

O presente trabalho faz um estudo exploratório para mostrar a viabilidade social, econômica e financeira de um projeto que utiliza e reaproveita em seu processo o dióxido de carbono gerado em grande escala em processos fermentativo.

O Brasil ainda não está na lista dos países que precisam reduzir com urgência suas taxas de emissão de gases. Embora seja o décimo na lista dos mais poluidores, suas taxas ainda são desprezíveis se comparadas às dos países que fazem parte do ranking. Para se ter uma ideia, segundo relatório da SBPC, países como EUA, Japão e emitem, respectivamente, 19; 8,8 e 6,3 toneladas per capita de CO₂ por ano, enquanto o Brasil emite cerca de 1,4 toneladas per capita de CO₂ por ano.

As indústrias do setor sucroalcooleiro, entre os subprodutos existentes, o bagaço de cana atualmente é destinado à geração de energia calorífica em unidades termoelétricas e para fabricação do etanol de segunda geração (fabricado a partir da quebra e fermentação do bagaço da cana), a levedura seca que é muito utilizada como complemento de ração animal e tem como matéria prima o excedente da fermentação alcoólica ainda, torta de filtro, a liberação de gases como CO₂, que lançados ao meio ambiente é prejudicial à camada de ozônio (BERNA, 2006)

Com o objetivo de aproveitar o CO₂ liberado por esse processo, protegendo assim o meio ambiente como um todo e minimizando o impacto de emissão de gases que venham a aumentar a concentração na atmosfera e pelos aspectos financeiros que venha a agregar no capital da empresa, tornando-a mais competitiva no plano mundial para que se torne uma empresa perene e para isso temos que agir de modo sustentável e nos

basearmos no tripé da sustentabilidade para que não nos falte capital, pessoas para trabalho e o meio ambiente para usufruir de seus recursos

1.1 Objetivos

Mostrar formas de reutilizar o dióxido de carbono residual em processos fermentativos em uma usina localizada no Centro Oeste Paulista.

1.2 Engenharia Sustentável

O setor industrial é um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental, uma vez que seus processos produtivos lançam no meio ambiente grande quantidade de resíduos, que em grande maioria não recebem tratamento adequado.

Assim, a engenharia sustentável surge, pois é considerada uma ciência que estuda a elaboração de projetos de sistemas que integrem a natureza e as organizações humanas visando o mútuo benefício (HATAKEYAMA, 2011).

Através de projetos que a engenharia sustentável promove as organizações podem se beneficiar, pois é possível conseguir vários benefícios como linhas de crédito especiais que são oferecidas nos bancos para projetos voltados a sustentabilidade, bem como incentivos fiscais oferecidos pelo governo e prêmios dados às empresas que se empenham para este fim.

1.3 Fermentação alcoólica

Fermentação alcoólica é o processo de transformação do açúcar em álcool por meio da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, em condições de anaerobiose. Muitos fatores exercem influência nessa fermentação, tais como: qualidade do substrato, temperatura de processo, pH, oxigenação, teor alcoólico, aditivos químicos, contaminação microbiana, floculação celular, tipo de processo fermentativo, entre outros. A fermentação alcoólica é uma das principais etapas para a produção de álcool,

seu rendimento é determinante para a definição da eficiência global desse processo. (DIAS, 2008).

Para Limiro (2008), o processo de fermentação alcoólica ocorre quando leveduras e algumas bactérias fermentam açúcares, produzindo duas moléculas de ácido pirúvico, que serão convertidos em álcool etílico (etanol), com a liberação de duas moléculas de dióxido de carbono CO₂ e a formação de duas moléculas de ATP. Essa conversão é realizada por um processo chamado *Zimase* onde enzimas do levedo, provoca a decomposição da glicose em álcool e em gás carbônico, na fermentação alcoólica. Fases da fermentação alcoólica:

- I. INICIAL: contato da levedura com monossacarídeo.
- II. INTERMEDIÁRIA: leveduras degradam monossacarídeos, eliminando CO₂, ocasionando a sua multiplicação.
- III. TUMULTUOSA: intensa liberação de CO₂, temos a impressão de que a mistura está fervendo.
- IV. FINAL: quantidade de álcool atinge 10% do volume total, a levedura se intoxica, cessando a produção de álcool etílico. Como demonstra a equação: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_6O + 2CO_2 + \text{Energia (2ATP + calor)}$

O grande desafio das indústrias sucroalcooleiras é aperfeiçoar os seus processos produtivos, visando aumento de lucro e melhorias no contexto socioambiental.

2 PROCESSO DE CAPTAÇÃO, PURIFICAÇÃO E ARMAZENAGEM DO DIÓXIDO DE CARBONO

De acordo com Berga (2006), o gerador de dióxido de carbono no processo de fermentação do etanol, o setor sucroalcooleiro tem um potencial grande de reaproveitamento do gás e ainda de deixar de emitir um dos principais contribuidores do efeito estufa.

Ainda segundo o autor, as usinas de açúcar e álcool tem uma estrutura onde esses gases são lavados em uma torre, o etanol é reaproveitado voltando para o processo e o dióxido de carbono é descartado na atmosfera. O projeto de captura e utilização do

dióxido de carbono aproveita o sistema de captura da usina, usado para a lavagem de gases. O dióxido de carbono chega através de tubulações instaladas nos lavadores de gases das dornas de fermentação.

O gás entra pela parte inferior de um vaso que é lavado com água num sistema de chuveiro para que seja realizada a primeira lavagem, o gás segue para um segundo vaso com o mesmo sistema de lavagem, depois de um ciclo de duas lavagens com água ele vai para um terceiro vaso, com uma solução de Permanganato onde vai circular com o gás para uma purificação e oxidação dos resíduos, após, esse processo ele vai para uma última lavagem com água no mesmo sistema da primeira para retirar o residual de permanganato.

Depois de lavado esse gás vai para um balão onde ele alimentará compressores de ar turbo onde irão aumentar a pressão do gás nas tubulações.

Saindo dos compressores de ar com uma pressão elevada ele entrará em vasos para uma secagem com sílica onde será feita a adsorção do gás e a umidade e diminuirá sua pressão.

O gás é encaminhado para um filtro tipo carvão onde serão retiradas impurezas e odores oriundos do processo. Depois de purificado o gás segue para liquefação através de um condensador tubular com amônia, atingirá um grau de pureza excelente para o processo. O gás liquefeito segue para uma última lavagem tipo *stripper* onde o gás do condensador entra em um vaso pela parte inferior e é lavado com CO₂ já pronto para armazenamento, por um tipo de *reboiler* onde ocorrerá um choque térmico entre os gases fazendo o gás que entrou mais quente ferver e assim desprender mais impurezas. E por fim o gás é armazenado em tanques térmicos (LOUETTE, 2008).

O gás dióxido de carbono para ser armazenado tem que estar em estado líquido com uma determinada temperatura e pressão, assim poder ser transportado através de tubos até o seu destino fim que poder ser de duas formas com geológica ou tanques.) armazenamento em tanques: o dióxido de carbono em sua fase fim já todo limpo pode ser estocado em tanques isotérmicos com sua espessura variando conforme a dimensão necessária.

2.1 Clarificação do caldo

O processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar, destinado à produção de açúcar branco, empregado na maioria das usinas brasileiras é a sulfitação. Consiste, basicamente, na adição de dióxido de enxofre gasoso (SO_2) ao caldo misto, até atingir o pH entre 3,8 e 4,2 e posterior alcalinização com leite de cal até pH 7,0-7,2. A neutralização do caldo sulfitado, conduz à formação do precipitado pouco solúvel, sulfato de cálcio, o qual atua na adsorção dos compostos coloridos e outras impurezas. Em seguida, o caldo é aquecido a 100-105°C e enviado aos sedimentadores para remoção dos compostos precipitados (LOUETTE, 2008).

No entanto alguns aspectos têm restringido a aplicação deste método, destacam-se as normas de segurança alimentar que exigem níveis cada vez menores de compostos à base de enxofre nos alimentos; as perdas de sacarose por inversão pelos baixos valores de pH empregados no processo e os problemas de ordem ambiental, provocados pela emissão de gases sulfurosos como as chuvas ácidas e a corrosão de metais nas instalações industriais.

Devido a grande toxicidade do enxofre e seus derivados e seu impacto ao meio ambiente as empresas que o utilizam precisam de meios para sua substituição. Sendo o enxofre um insumo de alto valor tem se pesquisado outros meios para o processo de tratamento do caldo e um deles é o método de carbonatação, a carbonatação pode ser um grande potencial. Este processo consiste em adicionar leite de cal e gás carbônico (CO_2) ao caldo de cana, em condições controladas, formando o precipitado cristalino carbonato de cálcio. Este, por sua vez, adsorve e incorpora grande parte da matéria coloidal e insolúvel, a matéria inorgânica e as substâncias que conferem cor ao caldo. Na sequência, o precipitado é separado do caldo clarificado por filtração. (LIMIRO, 2008).

Para Berna (2006), a carbonatação é comum na purificação do caldo de beterraba, e, em países como Inglaterra, Austrália e África do Sul, é empregado no refino de açúcares brutos. No entanto, ainda não foi suficientemente explorado na clarificação do caldo de cana-de-açúcar.

2.2 Concentração do dióxido

Para Amado (2011), após o processo de captura e armazenagem do dióxido de carbono o gás pode ser concentrado para que esse excesso não utilizado na própria usina possa ser vendido para empresas que tenha ele como parte de um processo, as alternativas para sua utilização são varias como, por exemplo, a produção de águas gaseificadas e refrigerantes utiliza o gás carbônico dissolvido (ácido carbônico), responsável pela efervescência característica desse tipo de bebidas. Por não ser condutor de energia, o gás carbônico é muito empregado em extintores de incêndio, em embalagens, congelamento e resfriamento, uso medicinal em misturas metabólicas. Além disso, esse gás também é utilizado como anestésico em animais que vão para o abate e para a regulação do pH de águas do aquário.

Ainda para o autor, outra aplicação sustentável para o dióxido de carbono pode ser a substituição pelo ar comprimido que alimenta válvulas pneumáticas. Sendo o ar comprimido de alto valor e com custo elevado para se obter o dióxido de carbono também poderia alimentar toda a estrutura da usina estudada e por ser um gás que dificilmente vai entrar em estado liquido teria uma vantagem em cima do ar comprimido. Assim gerando um ótimo custo-benefício por ter um melhor controle de válvulas pneumáticas na indústria e diminuindo o gasto com manutenções e troca de equipamentos danificados pela umidade.

2.3 Fabricação do bicarbonato de sódio

Um das utilizações mais atraentes do dióxido de carbono residual em processos fermentativos é a fabricação do bicarbonato de sódio. O bicarbonato de sódio é composto de fórmula NaHCO_3 , é um sólido cristalino de cor branca, solúvel em água, com um sabor ligeiramente alcalino com pH de 8,3 e peso molecular de 84,01g.mol. (BERNA, 2006).

O NaHCO_3 é um potente elemento tampão produzido pelo organismo e se for misturado a um ácido qualquer libera dióxido de carbono e água. Seu uso mais conhecido é como antiácido estomacal porque tem o poder de neutralizar o excesso de

HCl do suco gástrico. É usado como fermento químico, no feitiço de quitandas como bolo, roscas e pães, o crescimento da massa deve-se à liberação de CO₂ gasoso. Outras utilizações desse composto: reagente de laboratório, na eletrodeposição de ouro e platina; em curtumes; no tratamento de lã e da seda; na nutrição de animais; na cerâmica; para preservação da manteiga e de madeiras; é um dos componentes dos talcos desodorantes (LIMIRO, 2008).

Esse sal é utilizado também na fabricação de extintores de incêndio de espuma. No extintor há NaHCO₃ (sólido) e uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄), em compartimentos separados. Quando o extintor é acionado, o NaHCO₃ e o H₂SO₄ se misturam e reagem, produzindo a espuma com liberação de CO₂. Esses extintores, contudo, não podem ser usados para apagar fogo de instalações elétricas, pois a espuma conduz corrente elétrica.

Por sua ampla utilidade, o mercado brasileiro de bicarbonato de sódio é bastante explorado tendo um consumo médio anual de 120.000 toneladas com um preço variante de R\$ 5,00 /kg a R\$ 10,00/kg, de acordo com a qualidade e aplicabilidade do produto e com um crescente de 11% ao ano.

Os produtores nacionais de bicarbonato de sódio, segundo a ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química) são: QGN (Química Geral do Nordeste S.A), Raudi Indústria e Comércio Ltda. e IPC do Nordeste Ltda.

Atualmente o processo de Solvay é o mais utilizado mundialmente para produção do bicarbonato de sódio. Sendo um processo industrial criado pelo químico belga Ernest Solvay no século XIX, ele é atualmente responsável pela produção de três quartos da produção mundial de Bicarbonato. O Processo Solvay utiliza como insumos salmoura e carbonato de cálcio, também há a utilização de amônia, mas esta é reciclada durante o processo. Em efeito, considerando as solubilidades, se colocamos junto, na água, o cloreto de cálcio e o carbonato de sódio, irão se formar um precipitado de carbonato de cálcio e uma solução de cloreto de sódio. O processo Solvay contorna este problema. Na primeira reação, o anidrido carbônico borbulha numa solução amoniacal de cloreto de sódio obtendo bicarbonato de sódio e cloreto de amônio: $\text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$

Na fabricação de bicarbonato de sódio em uma usina sucroalcooleira vemos o dióxido de carbono residual gerado na fermentação alcoólica não como um problema ambiental, mas sim como uma matéria prima de grande valor.

A usina estudada apresenta uma fabricação media de 1.000.000 de litros de etanol por dia. Com essa produção de etanol diária obtém-se 756 toneladas de CO²/ dia.

Dado pelos seguintes dados, conforme mostra o quadro 1:

Quadro 1. Dados da Usina estudada

Massa Molar do Etanol: 46g/mol

Massa Molar do CO₂: 44g./mol

Densidade etanol 790g/L

$(790 \times M) = (46 \times 1) \rightarrow x = (46/790) \rightarrow M = 0,058L$, logo 1 Mol de etanol tem 0,058L.

Então:

$(1Mol/ 0,058L) = 17,2mol/ L$

Fonte: Os autores

Segundo a literatura a cada duas moléculas de etanol formadas na fermentação formam-se duas moléculas de dióxido de carbono + energia.

Como a formula demonstra $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_6O + 2 CO_2 + Energia$

$(17,2molL \times 10^6) = 17.200.000mol$ de etanol. Logo sabe-se que se formam $1,72 \times 10^7$ mols de CO²

$(1,72 \times 10^7 \times 44g/ mol) = 756$ toneladas de Co² por dia

A literatura apresenta métodos diversos para a produção do bicarbonato de sódio. Dentre eles, os de maior interesse ambiental e de retorno financeiro para empresa em questão utilizam o dióxido de carbono como matéria-prima. Neste trabalho, estes

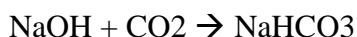
métodos serão chamados de “método soda”, que utiliza soda cáustica como reagente, e “método carbonato”, cujo reagente é o carbonato de sódio.

O método carbonato utiliza o dióxido de carbono (CO₂) e o carbonato de sódio (Na₂CO₃) como reagentes. A reação química do processo:



O nível de impurezas da matéria-prima carbonato de sódio é maior quando comparado à soda cáustica e, portanto, os cristais de bicarbonato de sódio provenientes desse processo apresentam qualidade inferior, demandando maiores operações para purificação do produto.

No método soda, o dióxido de carbono é alimentado de forma excedente em um reator batelada em contracorrente com uma mistura de soda cáustica. O produto resultante é transferido para um tanque pulmão e encaminhado para centrifugas onde ele vai ser centrifugado para ser feita a separação física do produto mais concentrado de soda e da água, na centrifugação também acontece a lavagem de alguns contaminantes esses mesmo sendo eliminados junto a água, encaminhado a um secador com um sistema de spray-dryer onde ele vai ser pulverizado dentro da câmara de secagem para que o choque com o ar aquecido pelo vapor gerado nas caldeiras realize uma secagem homogênea e de granulometria fina e constante, ao ciclone para separação dos finos, é armazenado em silos e ensacado. Uma das principais vantagens deste método é a possibilidade de se obter cristais de bicarbonato com grau de pureza variado, dependendo da qualidade da soda cáustica utilizada. O processo é representado basicamente pela reação:



Para a produção de bicarbonato de sódio pelo método da soda, estequiometricamente, utiliza-se 476 kg de NaOH e 523 kg de CO₂ para a produção de 1000 kg de NaHCO₃

2.4 Protocolo Kyoto e mercado de carbono

A emissão cada vez mais alta de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa, os chamados gases do efeito estufa (GEE), tem feito com que países de diversas partes do mundo voltem sua atenção para esse problema (LOUETTE, 2008).

Como muito bem destaca Amado (2011, p. 1) “na medida em que cresce a degradação irracional ao meio ambiente, em especial o natural, afetando negativamente a qualidade de vida das pessoas e colocando em risco as futuras gerações, torna-se crucial a maior e eficaz tutela dos recursos ambientais pelo Poder Público e por toda a coletividade”.

Antes de citarmos protocolo de Kyoto temos que lembrar a Convenção-Quadro das Nações Unidas que por sua vez vem a fazer o estudo sobre o efeito estufa e demais gases que contribui para o aquecimento global com dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e os clorofluorcarbonetos (CFCs), entre outros.

Com a criação de um painel climático o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) e o estudo do aumento da temperatura terrestre com as atividades relacionadas pelo desenvolvimento com relação humana.

Como muito bem adverte Limiro (2008, p. 17) “o fenômeno das mudanças climáticas vem sendo considerado pela comunidade científica como a mais séria ameaça para todas as formas de vida do planeta, com impactos adversos sobre o meio ambiente, a saúde humana, a segurança alimentar, as atividades econômicas”.

Está convenção tem por objetivos, conforme ensina Amado (2011, p. 552): “estabilizar a concentração de gases efeitos estufa na atmosfera num nível que possa evitar uma interferência perigosa com o sistema climático; assegurar que a produção alimentar não seja ameaçada; possibilitar que o desenvolvimento econômico se dê de forma sustentável”.

A Convenção-quadro, visa, assim, através da ação conjunta dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, utilizando um sistema de responsabilidades conjuntas, porém diferenciadas, “proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras (LOUETTE, 2008).

Em decorrência da primeira Conferência das Partes (COP 1), realizada em 1995, na Alemanha, assim como da segunda (COP 2), que ocorreu em 1996 na Suíça, restou convencionado a necessidade da elaboração de um Protocolo à Convenção-quadro com obrigações legais e metas vinculantes para a diminuição da emissão de gases do efeito estufa. Em decorrência da primeira Conferência das Partes (COP 1), realizada em 1995, na Alemanha, assim como da segunda (COP 2), que ocorreu em 1996 na Suíça, restou convencionado a necessidade da elaboração de um Protocolo à Convenção-quadro com obrigações legais e metas vinculantes para a diminuição da emissão de gases do efeito estufa (LIMIRO, 2008).

Por sua vez a convenção-quadro das Nações Unidas não trava compromissos legais com a emissão de gases do efeito estufa dos países desenvolvidos. Assim veio a assinar o protocolo de Kyoto para relacionar vínculo com os gases que são lançados na atmosfera.

Desta forma, como consectário da Convenção-Quadro das Nações Unidas, o Protocolo de Kyoto foi aberto para assinaturas em 1998. Trata-se de um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa (LOUETTE, 2008).

No ano de 1997 oitenta e quatro países se reuniram para discutir acerca do assunto na cidade japonesa de Kyoto, cujo deu nome ao protocolo resultante desta reunião. O Protocolo de Kyoto, que entrou em vigor entre os anos de 2008 e 2012, visa diminuir a emissão dos gases-estufa e amenizar o efeito do aquecimento global.

O ano que marcou o início efetivo do Protocolo de Kyoto foi 2005, vigorando a partir do mês de fevereiro. Com a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, cresceu a possibilidade do carbono se tornar moeda de troca. O mercado de créditos de carbono pode aumentar muito, pois países que assinaram o Protocolo podem comprar e vender créditos de carbono.

Na verdade, o comércio de carbono já existe há algum tempo, a bolsa de Chicago, por exemplo, já negociava os créditos de carbono ao valor de 1,8 dólares por tonelada, já os programas com consentimento do Protocolo de Kyoto conseguem comercializar carbono com valores de 5 a 6 dólares a tonelada.

3 METODOLOGIA

Buscou como metodologia as pesquisas de mercado atuais para conhecer e saber sobre os preços dos insumos utilizados para fabricação dos produtos e para possíveis substituições de insumos já utilizados atualmente em processos da usina. Preços para levantamento de custos de equipamentos necessários para montagem do processo de captação e armazenagem, clarificação do caldo, concentração para venda e fabricação do bicarbonato de sódio.

Foram realizadas visitas técnicas em uma usina que também utiliza o dióxido de carbono como matéria prima para fabricação de seus produtos, afim de conhecer o processo utilizados e estudar como poderia ser implantado o processo de captura e armazenagem.

Pesquisas bibliográficas para estudo e compreensão de que os autores que estudaram sobre o assunto disseram. As pesquisas realizadas em livros e trabalhos publicados serviram de apoio para a confecção deste trabalho.

Nos ensaios teóricos (cálculos estequiométricos) e ensaios práticos realizados no laboratório da usina estuda.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho possibilitou perceber a importância de se criar políticas e ações voltadas à sustentabilidade, sendo que a engenharia sustentável é um das responsáveis por esses processos.

Criar e implantar ações sustentáveis na empresa pode trazer vários benefícios fiscais, comerciais e de imagem e reutilizar o dióxido de carbono residual dos processos pode trazer diminuição de custos, melhoria na poluição ambiental, bem como lucratividade, uma vez que é possível negociar carbono no mercado atualmente.

Assim, o trabalho teve seus objetivos propostos alcançáveis, uma vez que pretendia demonstrar as vantagens econômica, sociais e financeiras que esse reaproveitamento do CO² gera para a empresa, principalmente na usina estudada.

REFERÊNCIAS

- AMADO, F. A. D. T. **Direito Ambiental**. 2. Ed. São Paulo: Método, 2011.
- BERNA, V., **Revista do Meio Ambiente**, vol.1, n 2, p. 1-10, 2006.
- BRASIL. Decreto nº 2.652, de 1º de julho 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. **Diário Oficial [da] República do Brasil**, Brasília, DF, 8 dez. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2652.htm>. Acesso em: 30. set.. 2015.
- DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção do etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço**. Campinas, 2008, p. 16-22. (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química/UNICAMP). Disponível em:<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/15157>. Acesso em: 30. set.. 2015.
- HATAKEYAMA, K. **Desenvolvimento Sustentável o Desafio para a Profissão de Engenheiro**. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. COBENGE, 2011. Disponível em:<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sextoestec/art1874.pdf>. Acesso em: 02 out. 2015.
- LIMIRO, D. **Créditos de Carbono: Protocolo de Kyoto e Projetos de MDL**. Curitiba: Juruá, 2008.
- LOUETTE, A. (Org.). **Compêndio para Sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.compendiosustentabilidade.com.br/2008/default.asp?actA=12&conteudoID=82&it_idioma=1>. Acesso em: 03 out. 2015.