

II-299 - ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM PROCESSO DE TRATAMENTO EFLUENTE DA PRODUÇÃO DO TARTARATO DE CÁLCIO COM DESTINAÇÃO FINAL PARA A FERTIRRIGAÇÃO

Cristina Gravina Veronese⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologia da Universidade de Caxias do Sul (PGPROTEC/UCS)

Lademir Luiz Beal⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Fundação Universidade de Rio Grande, Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS

Endereço⁽¹⁾: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Bairro Petrópolis, Caxias do Sul-RS. CEP: 95070-560-Brasil. Tel: +55 (54) 3218 2100 e-mail: cgverone@ucs.br

RESUMO

A vinhaça gerada durante a produção do tartarato de cálcio através do processamento das borras vínicas possui elevadas concentrações de matéria-orgânica, cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo. Quando processos anaeróbios são utilizados para tratar este tipo de efluente é possível realizar a recuperação de energia (biogás) na indústria e recuperar nutrientes através do reuso agrícola. Este artigo avalia a viabilidade econômica e ambiental do tratamento da vinhaça através de processo anaeróbio associado ao reuso agrícola. Os benefícios ambientais desta associação são: a recuperação de energia através da utilização do biogás como fonte energética, o que minimiza a utilização de combustíveis fósseis; a redução da necessidade de complementação da adubação agrícola, o que reduz a mineração para este propósito; a minimização do consumo de água para irrigação. Ainda, a análise econômica confirmou a viabilidade deste processo de tratamento e reuso. O tempo de retorno financeiro do investimento inicial está entre 2,5 e 2,7 anos. Após este período, o processo de tratamento é capaz de se auto-sustentar financeiramente e gerar lucro através da comercialização das culturas fertirrigadas e economia através da substituição da lenha de eucalipto por biogás na caldeira da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Processo anaeróbio, reuso de efluentes, nutrientes, recuperação de energia, avaliação econômica.

INTRODUÇÃO

Atualmente, os resíduos das atividades econômico-sociais cada vez mais são vistos como fontes de recurso, ou seja, sua transformação para reduzir o impacto ambiental está sendo associada sempre que possível à reutilização, reciclagem e recuperação de compostos presentes com valor econômico agregado. Relativamente aos efluentes líquidos, o enfoque principal tem sido dado na recuperação de nutrientes na agricultura, recuperação de energia utilizando-se processos anaeróbios e na própria reutilização da água, seja na indústria, agricultura ou em limpezas de vias públicas, manutenção de vazão de rios, etc.

A utilização de efluentes industriais tratados para a fertirrigação é uma prática que pode trazer benefícios sociais e econômicos imediatos quando observados os critérios de engenharia e de saúde pública envolvidos. Porém, a prática de reuso agrícola exige cuidados especiais para a minimização de riscos em relação à saúde humana; à poluição de corpos hídricos superficiais e subterrâneos; à forma de irrigação; às culturas e suas respectivas necessidades de nutrientes. Ainda, a aplicação do efluente tratado no solo, sob a forma de fertirrigação, não exclui a necessidade de controle de pragas e doenças das culturas, bem como as possíveis necessidades de complementação de adubação e complementação hídrica.

Quando se utiliza efluentes na agricultura deve-se ter o cuidado de monitorar a qualidade do solo relativo às suas características físico-químicas em diversos pontos e a qualidade das águas subterrâneas estabelecendo para tanto uma rede de monitoramento. No Brasil, embora faltem legislações específicas, exige-se a observação de alguns critérios técnicos locais tais como: a área objeto de fertirrigação não pode estar contida no domínio das Áreas de Preservação Permanente ou de reserva legal, definidas pela Lei Federal nº 4.771 (Brasil, 1965); não pode estar contida em áreas de domínio de proteção de poços; a irrigação com efluente tratado não deve

ser realizada em áreas próximas a corpos hídricos superficiais; não pode estar contida em áreas com profundidade do nível de água do aquífero livre inferiores à 1,5 metros; não pode estar contida em áreas que distam menos do que 1.000 metros de áreas urbanas; e no caso de áreas com declividade superior a 15%, deverão ser adotadas medidas de segurança adequadas à prevenção de erosão.

Uma etapa anterior à utilização do efluente na agricultura é o seu tratamento que se minimizem os riscos à saúde humana. Outras ações como a utilização de culturas compatíveis com as características do efluente e o controle da exposição humana também são eficazes na diminuição dos riscos. Ainda, segundo diretrizes da WHO (1989) e da EPA (2004), o efluente a ser reutilizado deve apresentar concentrações de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes inferiores a 1 ovos por litro e 1.000 organismos por 100 NMP/100 mL, respectivamente para irrigação de culturas que serão consumidas cruas.

Assim, pode-se utilizar tanto processos anaeróbios como processos aeróbios de tratamento de efluentes, dependendo do objetivo final. A utilização de processo aeróbio em efluentes com cargas orgânicas elevadas apresenta uma grande demanda energética para possibilitar a degradação da matéria-orgânica presente.

Diante desta perspectiva, o processo anaeróbio de tratamento torna-se mais interessante por não demandar energia para promover a degradação da matéria-orgânica, e por possibilitar a geração de biogás com potencial de recuperação energética e potencial de arrecadação de créditos de carbono. Outra vantagem é a produção de alcalinidade que pode ser utilizada para neutralizar parcialmente o pH do solo.

O efluente oriundo da produção de tartarato de cálcio a partir do processamento de borras vínicas, popularmente conhecido como vinhaça, é um efluente rico em matéria orgânica, cálcio, potássio, nitrogênio e fósforo (Tabela 1). A produção do tartarato de cálcio é sazonal, possuindo um período de entressafra que inicia na segunda quinzena de dezembro e termina na primeira quinzena de março. O efluente gerado possui uma elevada concentração de sulfato em função da utilização do ácido sulfúrico no processo industrial.

Tabela 1: Principais parâmetros do efluente da produção do tartarato de cálcio.

PARÂMETROS	VALOR (mg/L)
DQO	50.000
DBO	20.500
Nitrogênio total	1.588
Fósforo total	205
Sulfato	1.500
Magnésio	34,9
Cálcio	855
Potássio	1.593
Sódio	21,7

Este efluente não apresenta concentrações significativas de substâncias tóxicas, de metais pesados, de coliformes fecais e de ovos de helmintos. Em função destas características, a vinhaça possui alto potencial de recuperação de nutrientes, água e matéria-orgânica através do reuso agrícola.

Desta forma, este trabalho objetiva a avaliação da viabilidade técnica, econômica e ambiental do reuso do efluente, originado através da produção do tartarato de cálcio, tratado por processo anaeróbio com posterior recuperação de nutrientes através da fertirrigação, e aproveitamento energético e de créditos de carbono.

METODOLOGIA

O processo anaeróbio considerado para a análise de viabilidade ambiental e econômica é o de separação de fases. Neste processo, o efluente é inicialmente tratado em um reator um anaeróbio acidogênio, constituído de reator de mistura completa e um sedimentador secundário, posteriormente é conduzido a um reator UASB operando na fase metanogênica. O lodo biológico, produzido nas etapas acidogênicas e metanogênicas é tratado em um biodigestor anaeróbio seguindo após para disposição agrícola. O efluente tratado é direcionado para uma bacia de contenção para possibilitar o seu armazenamento em dias de impossibilidade de aplicação no solo. O ácido sulfídrico gerado no interior do reator acidogênico é tratado em uma torre de absorção de

hidróxido de sódio produzindo sulfeto de sódio (Na_2S), bicarbonato de sódio (NaHCO_3) e hidrosulfuro de sódio (NaHS).

O biogás produzido no processo de tratamento anaeróbio do efluente industrial, e do lodo gerado pelo próprio tratamento, é aproveitado na caldeira da empresa em substituição à lenha de eucalipto utilizada atualmente como fonte energética. Esta utilização habilita a arrecadação de créditos de carbono.

A Figura 2 apresenta um fluxograma do sistema de tratamento de efluente e disposição proposto.

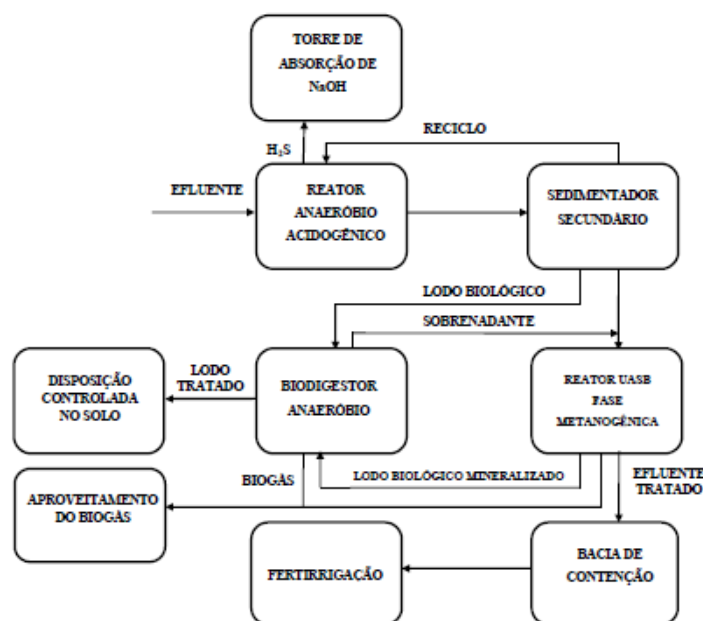


Figura 2: Fluxograma do sistema de tratamento e disposição proposto

Optou-se por realizar a separação das fases acidogênica e metanogênica do tratamento anaeróbio em função das elevadas concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) e de sólidos suspensos totais (SST) no efluente bruto. Com a separação de fases garante-se que não haja sulfeto (S^{2-}) em excesso no reator metanogênico e promove-se uma melhor hidrólise e acidificação dos sólidos suspensos à compostos solúveis facilmente convertidos em metano pelas arqueas metanogênicas. Esta garantia é extremamente importante para a eficiência do tratamento, isto porque o sulfato será transformado em sulfeto no interior do reator acidogênico através da ação das bactérias redutoras de enxofre (BRS) e devido ao pH ácido no qual este reator opera propicia-se a remoção do ácido sulfídrico formado. Assim, evita-se que altas concentrações de sulfeto, as quais são tóxicas para as arqueas metanogênicas que estejam presentes no reator metanogênico.

O ácido sulfídrico presente na fase gasosa do reator acidogênio, é conduzido ao tratamento em uma torre de absorção com hidróxido de sódio. Como produtos deste tratamento têm-se o sulfeto de sódio, o bicarbonato de sódio e o hidrosulfuro de sódio, que serão parcialmente utilizados como fonte de enxofre necessária à biomassa e fonte de alcalinidade para o reator UASB, sendo o excedente comercializado.

O efluente industrial tratado anaerobiamente é reutilizado na agricultura como irrigação e fonte de nutrientes essenciais.

Para a determinação da taxa de aplicação para a fertirrigação foram utilizados os seguintes critérios: a determinação da razão de adsorção de sódio para garantir que não haja salinização do solo; a dose de nutrientes necessárias às culturas; a determinação da capacidade de armazenagem de água no solo; a eficiência do sistema de irrigação; a realização de balanços hídricos periódicos; e a velocidade de infiltração básica de água no solo.

Determinou-se a razão de adsorção de sódio para o efluente tratado através da equação 1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \text{ equação (1)}$$

Onde:

RAS – Razão de adsorção de sódio (meq/L);

Na⁺ - Teor de sódio no efluente a ser utilizado na fertirrigação (meq/L);

Ca⁺² – Teor de cálcio no efluente a ser utilizado na fertirrigação (meq/L);

Mg⁺² – Teor de magnésio no efluente a ser utilizado na fertirrigação (meq/L).

A tabela 02 apresenta valores utilizados de extração de macronutrientes para o milho, o sorgo e a videira (uva Itália) para a região sul do Brasil.

Tabela 2: Extração de macronutrientes em kg/ha por diferentes culturas

CULTURAS	EXTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho ⁽¹⁾	231	26	259	58	32	20
Sorgo ⁽²⁾	198	43	227	50	47	15
Videira ⁽³⁾	156	28	125	22,73	5,92	7,7

FONTE:⁽¹⁾COELHO;FRANÇA 2010)

⁽²⁾COELHO

(2010)

⁽³⁾ALBUQUERQUE (2010)

Determinou-se a dose de nutriente necessária por ciclo para cada cultura através da equação 2.

$$DN = \frac{q_{ne}}{E_f} \text{ equação (2)}$$

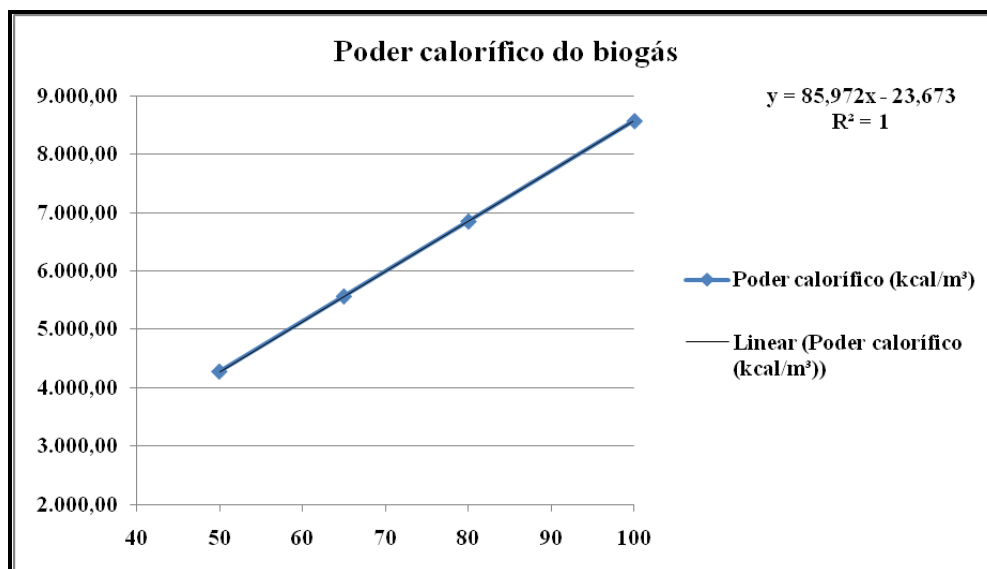
Onde:

DN – Dose de nutriente necessária, kg/ha;

q_{ne} – Quantidade de nutriente exportado pela planta durante o ciclo, kg/ha;

E_f – Eficiência da fertirrigação por aspersão, 0,75.

Para a quantificação teórica da geração de biogás através do processo anaeróbio de tratamento foram consideradas diferentes eficiências (45%, 55%, 65%, 70% e 75%) de degradação de matéria-orgânica no interior do reator UASB metanogênico e do biodigestor anaeróbio. Para a determinação do poder calorífico do biogás utilizaram-se os valores obtidos por Lima (2005), os quais apresentam uma linearidade entre a porcentagem de metano no biogás e o correspondente poder calorífico deste. Assim, foi possível obter a equação da reta (Figura 3).

**Figura 3: Poder calorífico do biogás em função da concentração de metano**

FONTE: LIMA

(2005)

Para o cálculo de produção de energia foram consideradas as seguintes porcentagens de metano na composição do biogás: 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 e 75%.

A análise de viabilidade econômica realizada para o processo em questão considerou dois possíveis cenários. No primeiro cenário foram utilizados como receita oriunda do processo os créditos de carbono a arrecadados; a comercialização das culturas fertirrigadas; e a economia com a substituição do uso de lenha de eucalipto na caldeira da empresa pelo uso do biogás produzido na ETE. No segundo cenário desconsiderou-se a arrecadação de créditos de carbono.

Considerou-se que a receita obtida através da comercialização das culturas fertirrigadas é constante para ambos cenários. Esta receita foi estimada através da utilização da produtividade média por hectare e valores de mercado destas culturas para a região de estudo, para o ano de 2010. Estas receitas estimadas em reais foram convertidas para o dólar utilizando-se uma taxa de câmbio de 1,70 reais.

Ainda, para a realização da análise de viabilidade econômica considerou-se a depreciação dos equipamentos de alto custo necessários para a implantação do processo de tratamento e reuso. Utilizou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL) realizado a partir do fluxo de caixa construído para o processo para um período de vida útil de vinte anos.

Consideraram-se como investimento inicial os custos para implantação do processo de tratamento de efluente para uma vazão de aproximadamente 303 m³/d; e o custo local de aquisição de área para a fertirrigação. Os custos de operação e manutenção do processo de tratamento do efluente e do seu reuso agrícola contemplam os custos com a complementação nutricional para as culturas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aproveitamento do biogás

Para o cálculo da disponibilidade energética oriunda do processo anaeróbio foram consideradas eficiências de 45 a 75% de remoção da DQO. Na Tabela 3 são apresentados os valores referentes à geração teórica de biogás no processo anaeróbio de tratamento da vinhaça, para essas porcentagens.

Tabela 3: Geração teórica de biogás no tratamento anaeróbio

Eficiência de degradação de matéria-orgânica no tratamento do efluente bruto (%)	Geração teórica de biogás no processo anaeróbio de tratamento (m³/d)
45	3.537,6
55	4.079,7
65	4.621,9
70	4.893,1
75	5.163,6

Analizando os resultados da Tabela 3 fica evidente que há uma elevada geração de biogás no processo anaeróbio de tratamento da vinhaça que pode ser explorada como fonte de energia. Isto ocorre devido à elevada concentração de DQO e à rápida biodegradabilidade deste tipo de efluente.

Utilizando a equação da reta obtida para os valores de poder calorífico em função da concentração de metano foram calculados os valores de poder calorífico por metro cúbico de biogás apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Poder Calorífico do biogás em função da presença do CH₄

Porcentagem de CH₄ (por volume)	PC (Poder Calorífico) kcal/m³
40	3.415,21
45	3.845,10
50	4.275,34
55	4.704,80
60	5.015,80
65	5.565,10
70	5.971,10
75	6.424,30

Com os valores das Tabelas 3 e 4 foi possível gerar a série de curvas de produção potencial de energia do biogás apresentadas na Figura 4.

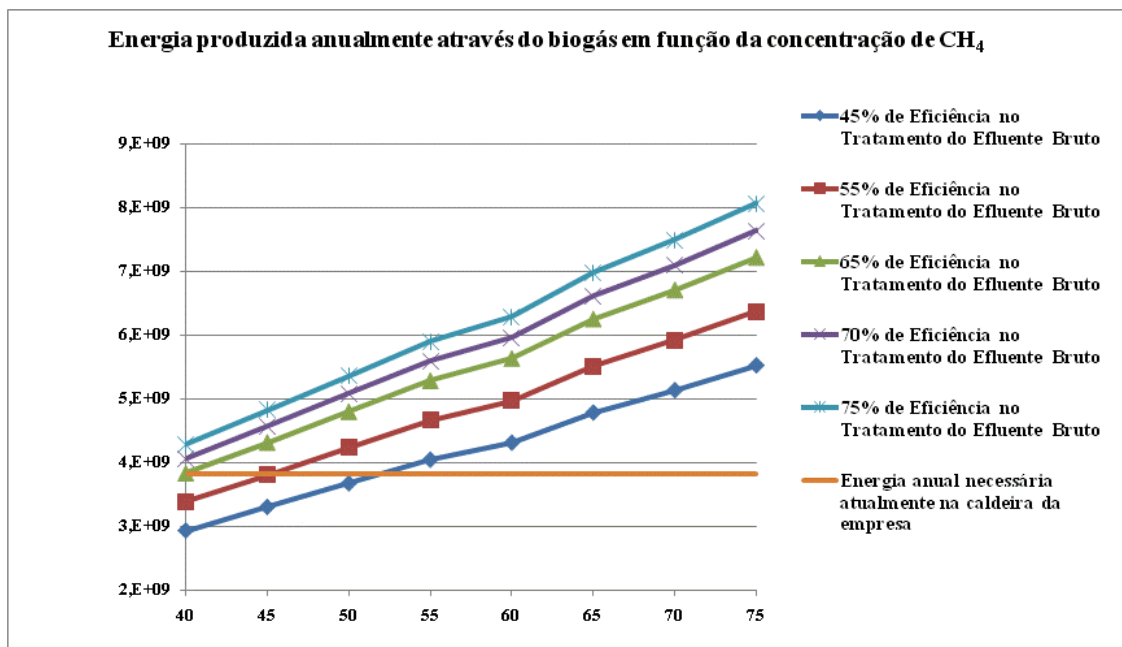


Figura 4: Gráfico da energia potencial produzida anualmente

Com o auxílio da Figura 4 pode-se verificar que para qualquer eficiência de remoção de DQO superior a 55% a demanda energética da caldeira é atendida. Já, para eficiências de 45 a 55% este atendimento somente ocorrerá com concentrações de metano superiores a 50 e 45%, respectivamente.

Os pontos de equilíbrio entre a energia gerada anualmente com o aproveitamento do biogás e a demanda energética da empresa são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Ponto de equilíbrio para a demanda energética em função da quantidade de CH₄ produzida

Eficiência no Tratamento do Efluente Bruto (%)	Ponto de Equilíbrio para Demanda Energética
	Concentração de CH ₄ no Biogás (%)
45	55
55	45
65	40
70	40
75	40

Os resultados obtidos na Tabela 5 e na Figura 4 demonstram a viabilidade energética do uso do processo anaeróbio para efluentes com cargas orgânicas elevadas.

Fertirrigação

Para a avaliação do reuso de efluente tratado para fins agrícolas considerou-se uma eficiência de remoção da matéria-orgânica (DQO) no processo anaeróbio empregado de 70%. Esta eficiência foi adotada para que fosse possível determinar a remoção de nitrogênio e fósforo pela incorporação destes à biomassa anaeróbia. Desta forma, pode-se calcular a dose de nutrientes disponível no efluente tratado para as culturas.

A fertirrigação com efluente industrial tratado será realizada no cultivo de milho e sorgo para silagem e no cultivo da videira (uva Itália). A escolha das culturas foi baseada no consumo de nutrientes por ciclo e na duração e período de ciclo para que durante a época de produção do tartarato de cálcio houvesse cultura plantada para possibilitar o reuso agrícola do efluente industrial tratado.

A Tabela 6 apresenta as durações médias do ciclo de cada cultura utilizada e os meses em que ocorrerá o reuso agrícola do efluente.

Tabela 6: Culturas x Período de reuso agrícola

Cultura	Duração média do ciclo (dias)	Meses de realização do reuso agrícola
Milho	120	Setembro à Dezembro
Sorgo	110	Março à Junho
Videira	Cultura perene	Julho e Agosto

A dose de nutrientes, necessária por ciclo, para as culturas do milho, sorgo e silagem é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Dose de nutriente – DN – cultura x macronutriente

Culturas	Dose de nutriente necessária – DN (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho	308	57,8	345,4	77,33	42,7	26,7
Sorgo	264	57,34	302,7	66,7	62,7	20
Videira	208	37,33	166,7	30,31	7,9	10,26

Em função das elevadas concentrações de potássio no efluente e do seu potencial de salinização do solo, considerou-se este macronutriente como fator limitante para a determinação da taxa de aplicação. Deste modo, a área necessária para que a médio prazo não ocorra a salinização do solo é de 240 hectares. Devido à necessidade de utilização do efluente durante seu período de geração (segunda quinzena de março à primeira quinzena de dezembro) e o consumo de nutrientes por cultura, estabeleceu-se o emprego de 123 hectares para o cultivo perene da videira e, uma área de 117 hectares que abrigará o cultivo do sorgo e do milho em sistema de rotação de culturas. A partir do estabelecimento da área necessária, determinou-se a dose média de nutrientes que será aplicada no solo por ciclo de cada cultura e o valor de razão de adsorção de sódio obtido para o efluente tratado (Tabela 8).

Tabela 8: Dose média de nutrientes aplicados pela fertirrigação

Culturas	Dose de nutriente aplicado (kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Milho	231,9	18,6	345,4	152,8	9,4	0
Sorgo	204,1	21,2	302,7	151,7	8,3	0
Videira	112,2	10,3	166,7	83,1	4,6	0
Razão de adsorção de sódio para o efluente tratado					0,23	

Pode-se verificar, através das Tabelas 7 e 8, o alto potencial de aproveitamento agrícola de nutrientes que o efluente possui. Porém, haverá a necessidade de complementação nutricional de nitrogênio, fósforo, magnésio e enxofre. O valor da razão de adsorção de sódio obtido é baixo, o que significa que não há risco de salinização do solo pela presença excessiva de sódio, cálcio e magnésio, apesar do excesso de cálcio.

A forma de irrigação proposta é a aspersão auxiliada por caminhão-tanque; carretel enrolador autopropelido; conjunto motobomba; aspersor canhão e mangueira. Optou-se por esta forma de distribuição em função da elevada concentração de sólidos no efluente tratado que pode ocasionar entupimentos nos sistemas de irrigação.

A lâmina de irrigação a ser aplicada deverá ser constantemente determinada, uma vez que esta depende da capacidade de armazenamento de água no solo, da sua velocidade de infiltração e, varia de acordo com o volume de precipitação e com o valor de evapotranspiração das culturas de acordo com seu estágio atual de desenvolvimento.

Para que haja garantia da eficiência do processo deverá ser realizado o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas com o auxílio de quatro poços de monitoramento, sendo um à montante e três à jusante da bacia de contenção de efluente tratado.

Análise de Viabilidade Econômica

Com o cruzamento dos resultados obtidos da geração de energia a partir do metano, receita com os créditos de carbono e receita advinda do reuso agrícola do efluente tratado foi possível discutir dois cenários.

A Figura 5 apresenta um gráfico relacionando a receita anual obtida para o cenário 1 (geração de energia, créditos de carbono e reuso agrícola do efluente tratado) no qual as concentrações de metano, no biogás, variam de 40 a 75% e as eficiências de remoção de DQO de variam 45 a 75%.

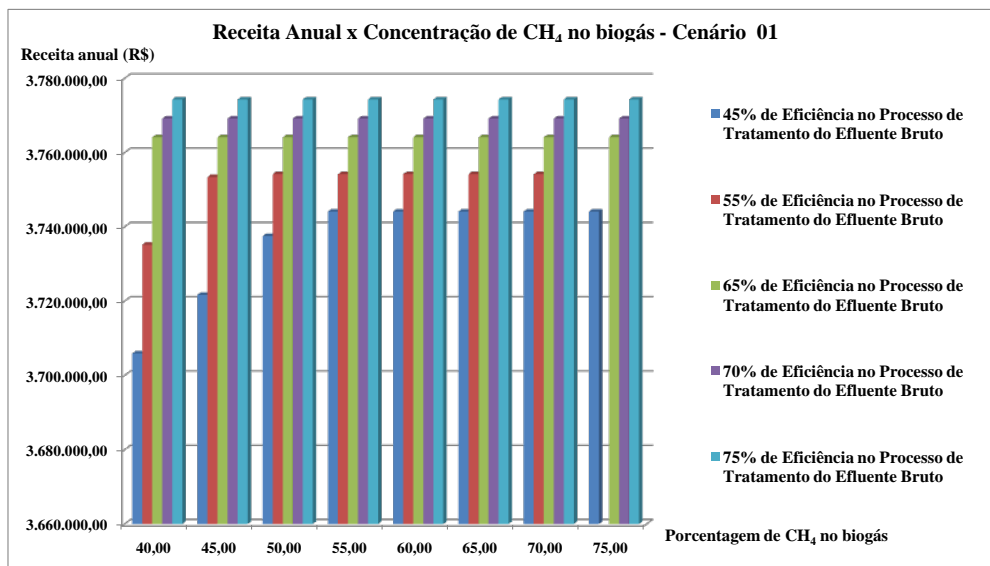


Figura 5: Gráfico do comportamento da receita anual para o cenário 1

Na Figura 5 pode-se verificar que para uma porcentagem de 40% de metano no biogás e uma eficiência de remoção de DQO de 45%, considerando-se ainda o reuso de efluente tratado na agricultura e a arrecadação de créditos de carbono há a geração de uma receita anual superior à R\$ 3.700.000,00. Também podem-se observar que as menores receitas obtidas correspondem às concentrações e eficiências de processo que não suprem a demanda energética da empresa e possuem arrecadação inferior de créditos de carbono em função do menor potencial de geração do biogás. Logo, fica evidente que o montante de receita obtido é predominantemente oriundo do reuso do efluente tratado na agricultura.

A Figura 6 apresenta o comportamento da receita anual obtida para o cenário 2 em função da variação das concentrações de CH₄ no biogás e da eficiência de degradação de matéria-orgânica no processo anaeróbio de tratamento.

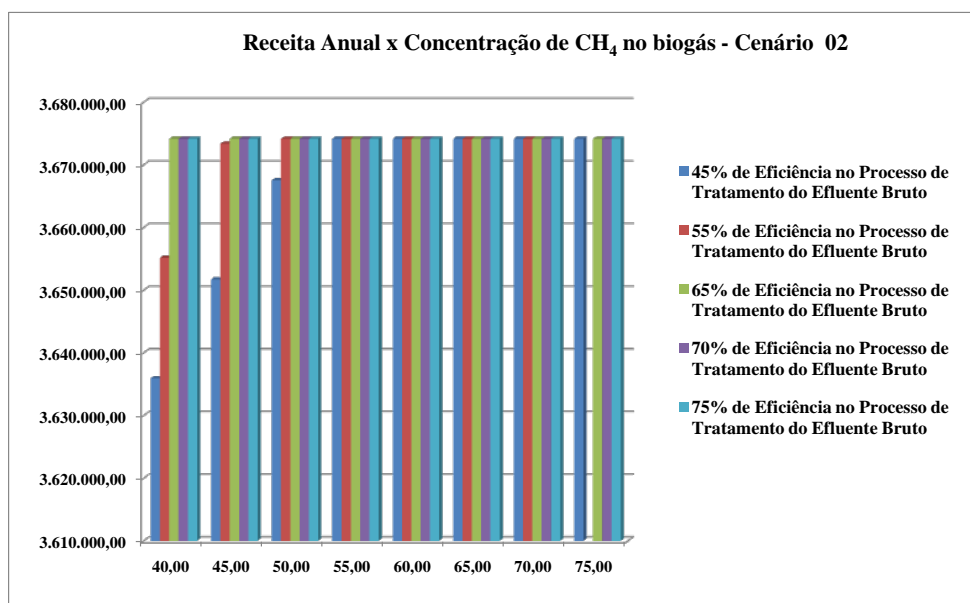


Figura 6: Gráfico do comportamento da receita anual para o cenário 02

Através da Figura 6 pode-se constatar uma constância na receita anual obtida para eficiências de degradação de matéria-orgânica acima de 55% para concentrações de metano variando de 40 a 75%. Para a eficiência de 45 as concentrações de metano que geram menor receita por não suprirem a demanda energética da empresa são: 40, 45 e 50%. Acima de 45% de concentração de metano no biogás também se obtêm o máximo de receita para a eficiência de 55%. Ainda, verifica-se que as receitas obtidas no cenário 02 são levemente inferiores às obtidas no cenário 1 em função da arrecadação de créditos de carbono, ou seja, a receita obtida pelos créditos de carbono não é significativa.

O investimento inicial envolvendo a implantação do processo de tratamento de efluente industrial e seu reuso agrícola, e o custo de operação e manutenção anual deste processo para o primeiro ano, foram calculados em R\$ 5.035.000,00 e R\$ 1.243.000,00, respectivamente. Estes custos de operação e manutenção foram corrigidos anualmente utilizando-se para tanto a indexação brasileira IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo), estimado atualmente em 4,7% ao ano.

A Tabela 9 apresenta a análise de viabilidade financeira realizada para o cenário 1, evidenciando o tempo de retorno do investimento inicial e o saldo de caixa em valor presente após 20 anos de vida útil, para as diferentes eficiências de processo e concentração de metano no biogás.

Tabela 9: Análise de Viabilidade Financeira para o Cenário 1

Cenário 01 – Com Créditos de Carbono			
Eficiência no Tratamento do Efluente Bruto (%)	Concentração de Metano no Biogás (%)	Tempo de Retorno do Investimento Inicial (anos)	Saldo de Caixa em Valor Presente Líquido após 20 de Vida Útil (R\$)
45	40	2,5	22.297.222,00
	45	2,5	22.473.424,00
	50	2,5	22.649.810,00
	55 a 75	2,5	22.723.493,00
55	40	2,5	22.623.953,00
	45	2,5	22.827.156,00
	55 a 75	2,5	22.835.702,00
65	40 a 75	2,5	22.946.656,00
70	40 a 75	2,5	23.002.680,00
75	40 a 75	2,5	23.060.375,00

Verifica-se que apesar do elevado investimento inicial o tempo de retorno deste investimento, considerando-se a arrecadação de créditos de carbono, é de apenas dois anos e meio para todas as eficiências de processo e concentrações de metano avaliadas.

A análise de viabilidade financeira realizada para o cenário 2 é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Análise de Viabilidade Financeira para o Cenário 2

Cenário 02 – Sem Créditos de Carbono			
Eficiência no Tratamento do Efluente Bruto (%)	Concentração de Metano no Biogás (%)	Tempo de Retorno do Investimento Inicial (anos)	Saldo de Caixa em Valor Presente Líquido após 20 de Vida Útil (R\$)
45	40	2,7	21.516.860,00
	45	2,7	21.693.063,00
	50	2,7	21.869.449,00
	55 a 75	2,7	21.943.132,00
55	40	2,7	21.731.383,00
	45	2,7	21.934.586,00
	55 a 75	2,7	21.934.132,00
65	40 a 75	2,7	21.934.132,00
70	40 a 75	2,7	21.934.132,00
75	40 a 75	2,7	21.934.132,00

Para o cenário 2, pode-se constatar que, novamente, apesar do elevado investimento inicial tempo de retorno do mesmo corresponde à apenas 2,7 anos independente da eficiência do processo de tratamento e da concentração de metano no biogás.

Verifica-se ainda que não existem diferenças significativas entre os saldos de caixa em valor presente líquido após 20 anos de vida útil para ambos cenários avaliados.

A diferença de 0,2 anos a mais no tempo de retorno do investimento inicial é devida a não contabilização dos créditos de carbono, ou seja, fica demonstrado que para este caso a ausência desta receita não é em absoluto significativa.

CONCLUSÕES

Este estudo demonstra que a viabilidade ambiental em efluentes com elevada concentração de matéria-orgânica e nutrientes torna-se atraente devido à recuperação da energia contida no biogás, o que minimiza a utilização de outras fontes de combustível. Da mesma forma, pode-se afirmar que a utilização do efluente tratado em culturas promove uma redução da utilização de nutrientes, ou seja, minimiza a exploração de minérios para este fim e também a reutilização da água minimiza a adução desta dos recursos hídricos superficiais para irrigação.

Através da análise de viabilidade econômica verificou-se que, apesar do elevado investimento inicial necessário para a implantação do processo de tratamento e reuso agrícola do efluente industrial, o retorno financeiro fica entre 2,5 e 2,7 anos. A partir deste período o processo se auto-sustenta financeiramente e ainda gera lucro através da economia em função da utilização do biogás na caldeira e comercialização das culturas fertirrigadas.

Ainda, pode-se verificar que, para este caso, a adoção dos benefícios dos créditos de carbono não é economicamente significativa para a sustentabilidade do processo, sendo a fertirrigação o fator determinante para a garantia do retorno do investimento inicial e dos custos de operação de operação e manutenção. Porém, estas significâncias variarão em função da concentração de nutrientes, concentração de matéria-orgânica e volume do efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, T. C. S. Potencial agrícola do solo: fator de nutrição das plantas (portuguese). Disponível em:< <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CPATSA/35799/1/OPB1323.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
2. COELHO, M. A. Cultivo do sorgo – Nutrição e adubação (portuguese). Disponível em:< http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo_3ed/adubacao.htm>. Acesso em: 05 de jun. 2010.
3. COELHO, M. A.; França, G. E. Nutrição e adubação do milho. Disponível em:< <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/NUTRICA0%20E%20ADUB.%20MILHO%20-%20CNPMS.pdf>>. Accessed in: 05 of jun. 2010.
4. DA FONSECA, A.F., HERPIN, U., PAULA, A.M., VICTORIA, R.L., MELFI, A.J., 2007. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomical–environmental implications and perspectives for Brazil. *Sci. Agric.* 64, 194–209.
5. GERBA, C.P., ROSE, J.B., 2003. International guidelines for water recycling: microbiological considerations. *Water Sci. Technol. Water Supply*, v. 3, n. 4, 311–316.
6. LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; HERPIN, U.; DA FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; DIAS, C.T.S.; MELFI, A.J., 2010. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management* 97, 271-276.
7. LIMA, F.P. Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para a conservação de energia e uso do biogás. (portuguese) Master's degree dissertation – Programa de Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2005.
8. SALGOT, M., VERGE'S, C., ANGELAKIS, A.N., 2003. Risk assessment in wastewater recycling and reuse. *Water Sci. Technol. Water Supply* v. 3, n. 4, 301–309.
9. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse. Technical Report.. Washington, DC: USEPA, 2004.
10. WHO – World Health Organization. Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. Geneva: WHO, 1989 (Technical Report Series, 778).
11. WHO - World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO (2006). 213 p.