



34º Congresso Anual de Celulose e Papel
34th Annual Pulp and Paper Meeting
22 a 25 de Outubro de 2001 / October 22nd – 25th, 2001

Sustentabilidade ambiental e geração de energia na indústria de papel com o uso de reator anaeróbio no tratamento de efluentes.

Environmental sustainability and energy generation in the paper industry using anaerobic reactor in waste water treatment

Mauro Donizeti Berni
Sérgio Valdir Bajay
(Universidade Estadual de Campinas – Unicamp)



Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
Rua Ximbó, 165 – Acimação CEP 04108-040 - São Paulo / SP – Brasil
Fone: (11) 5574-0166 - Fax: (11) 5571-6485 / 5549-1844 E-mail: expo@abtcp.com.br

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E GERAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE PAPEL COM O USO DE REATOR ANAERÓBICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Mauro Donizeti Berni

NIPE/UNICAMP – Campinas – Brasil

E-mail: mberni@uol.com.br

Sergio Valdir Bajay

Depto de Energia, Fac. Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP

E-mail: bajay@fem.unicamp.br

RESUMO

A questão dos efluentes industriais e agrícolas, coloca a humanidade frente a problemas ambientais sem precedentes de recuperação, estocagem e tratamento, os quais ameaçam diariamente sua segurança, comprometendo sua relação com o espaço e o seu próprio futuro no planeta. Por outro lado, a crescente necessidade de reduzir custos de produção, aliado à consciência ambiental crescente e as pressões ambientalistas, tem favorecido a busca e a efetiva utilização de novas tecnologias de tratamento de efluentes, que contemplem o desenvolvimento sustentado. Neste contexto, a digestão anaeróbica de efluentes tem sido uma das principais tecnologias consideradas, tendo como seus principais alavancadores, a sua fácil implementação, possibilita a minimização do uso da água e de insumos de processo, bem como a geração de energia. A utilização de reatores anaeróbicos pode ser efetivamente utilizado no tratamento de efluentes, sejam estes agrícolas, urbanos - esgotos e lixos - ou industriais. Este trabalho, objetiva mostrar as perspectivas do tratamento de efluentes através da digestão anaeróbica, bem como relatar a experiência obtida com a utilização de Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente com Manto de Lodo, em uma indústria de papel, onde tem-se como um dos principais objetivos a conversão da matéria orgânica em metano, visando a geração de energia. Finalmente, o trabalho, procura discutir o potencial da digestão anaeróbica na indústria brasileira de papel e as suas necessidades de energia térmica.

ABSTRACT

The issue of industrial and agricultural residues represents an unprecedented environmental challenge to humanity, in terms of their recovery, storage and treatment. They jeopardise the current spatial distribution of human activities and, in the longer term, mankind future in the planet. In the other hand, the growing need to reduce production costs, together with the also growing environmental awareness and corresponding public pressures, have favoured the search for and the effective use of new technologies to treat effluents, within the scope of a sustainable development. One of such technologies has been the anaerobic digestion of residues, which is starting to be widely used due to its easy implementation and possibility to minimise the use of water and process inputs, together with the production of energy. It can be used to process agricultural, urban (sewage and waste) and industrial residues. This paper discusses the perspectives of treating effluents through anaerobic digestion, as well as reports the experience of using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket -UASB Reactor - in a paper producing plant, involving the conversion of organic matter into methane gas, to be burned in the plant boilers. Finally, the paper industry thermal energy needs and the potential scope of anaerobic digestion to meet them is addressed in the paper.

Palavras-chave: **Papel, Efluentes, reator anaeróbico, energia e meio ambiente**
Paper, effluents, anaerobic reactor, energy and environment

INTRODUÇÃO

O tratamento biológico de efluentes é uma imitação de processos que ocorrem normalmente na natureza, denominando-se de autodepuração. O princípio do tratamento biológico de efluentes apoia-se na atividade de bactérias e microorganismos que se alimentam de matéria orgânica dos próprios resíduos, podendo-se ocorrer na presença de oxigênio - processo aeróbico - e na ausência de oxigênio - processo anaeróbico.

Os sistemas de tratamento biológico de efluentes mais comumente utilizados na indústria de papel são: os filtros biológicos, lodos ativados, lagoas de estabilização e os reatores anaeróbicos.

Os filtros biológicos são constituídos de cascalhos de pedra ou enchimento plástico, onde o efluente percola formando um húmus constituído de bactérias, fungos e protozoários, entre outros microorganismos. Na presença de oxigênio, estes microorganismos, desenvolvem-se e depuram a matéria orgânica, transformando-a em dióxido de carbono (CO₂) e sais minerais.

O processo de lodos ativados, constituem-se de um tanque de aeração e um decantador secundário. No tanque de aeração desenvolvem-se uma cultura microbiológica na forma de flocos, o lodo ativado, a partir da alimentação do efluente que está sendo tratado. Após um tempo de retenção determinado, os flocos, são separados no sistema de decantação.

No processo de lagoas de estabilização, não existe nenhum tipo de equipamento mecânico em operação, exceto em casos em que se deseja aceleração do processo de depuração, quando utiliza-se aeradores. De uma forma geral, este processo baseia-se na decomposição bacteriana aeróbica, em que o oxigênio é fornecido por fotossíntese. O processo de decomposição da matéria orgânica de efluentes na ausência de oxigênio, é realizado no chamado reator anaeróbico. Neste processo, a decomposição da matéria orgânica é efetuada pela alimentação de microorganismos anaeróbicos. Baseia-se em uma série de reações químicas em sequência, desencadeadas por uma cultura diversificada de microorganismos anaeróbicos, os quais, promovem a redução das moléculas orgânicas mais complexas, como os lipídios, carboidratos e proteínas, a estruturas moleculares mais simples como aminoácidos, açúcares, ácidos graxos, aldeídos e álcoois, para em seguida, por fermentação e oxidação anaeróbica, transformarem-se em CO_2 , hidrogênio e ácido acético, este último, precursor primário do produto final, o metano (CH_4). Este processo, tem-se tornado uma opção viável, para aqueles efluentes mais facilmente biodegradáveis, caso dos efluentes da agroindústria e da produção de papel.

Na fabricação de papel, os processos citados, podem ter sua utilização de forma combinada, visando equacionar vazões crescentes de efluentes e/ou a reutilização do efluente tratado no processo de fabricação (FRADERICK, 1996).

PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBICA

O processo de digestão anaeróbica da matéria orgânica são anteriores à existência do homem na Terra, sendo que a quantidade de microorganismos e a intensidade de sua ação no ambiente primitivo colaborou na determinação da composição da atmosfera, propiciando as condições de desenvolvimento da vida. A literatura registra a descoberta do metano pelo químico italiano Alessandro Volta (1745-1827), em 1776; entretanto, é de se supor que este gás combustível já fosse reconhecido e até mesmo utilizado de alguma maneira desde antes desta data. Volta identificou o metano no gás dos pântanos, resultante da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados, verificando que o mesmo conferia ao gás suas características combustíveis (CASSEB, 1996). Mais recentemente, em países limitados pela falta ou distribuição inadequada de energia, aliado às crises energéticas da década de 70, a digestão anaeróbica foi adaptada para atender as necessidades rurais, caso clássico, são os biodigestores da Índia e China.

Apesar da digestão anaeróbica ter atingido seu auge na década de 70, como fonte de produção de combustível - o biogás -, o fato desta tecnologia proporcionar a depuração de efluentes contaminantes e gerar produtos que podem ter entre outras características a de biofertilização, favoreceu grandes avanços tecnológicos na digestão anaeróbica, nos anos 90. Assim sendo, a produção de biogás, antes vista como objetivo principal da opção de digestão anaeróbica, atualmente, passa a ser apresentada, juntamente com a depuração de efluentes biologicamente aproveitáveis como justificativa para a implantação e desenvolvimento desta tecnologia.

A digestão anaeróbia de resíduos poluentes vem despertando grande interesse e sendo utilizada, com sucesso, para vários tipos de efluentes, tanto domésticos quanto industriais, em diversas partes do mundo. Comparado com o método convencional de tratamento aeróbio e do ponto

de vista da implementação de tecnologias sustentáveis, o processo anaeróbio resolve o problema dos efluentes de uma maneira mais abrangente, pois requer pouco espaço para a sua implementação, requer menores custos de investimentos para maiores cargas volumétricas, produz energia útil na forma de biogás; produção de pouco lodo, pode ser operado com baixo custo, pois os reatores são relativamente simples e utiliza pouco ou nenhum aditivo de alto conteúdo energético; pode ser combinado com métodos de pós-tratamento do efluente para a recuperação de produtos úteis, como amônia, enxofre, ou algum outro, dependendo da natureza do efluente tratado. No caso da indústria de papel, tem-se a possibilidade da redução de sulfatos e a eliminação de metais pesados por precipitação.

No processo de digestão anaeróbica, a matéria orgânica presente nos efluentes é transformada pela ação dos microorganismos em aproximadamente 78 % em biogás, sendo uma mistura de CH_4 e CO_2 , 20 % de material orgânico que continua em dissolução, e entre 1 a 2 % de novos microorganismos (ARRIETA e CANTERA, 1999).

Tecnologias anaeróbicas

Entre as várias opções tecnológicas de reatores anaeróbicos, cabe destacar:

- a) Os reatores de contato (CSTR). Esta tecnologia é uma derivação da lagoa anaeróbica com redução do volume do reator, onde a concentração da biomassa é aumentada pela separação e recirculação dos sólidos efluentes. A biomassa não tem suporte físico, sendo que um agitador possibilita o contato entre os microorganismos e o efluente, evitando a sedimentação de sólidos no interior do reator;
- b) O filtro anaeróbico (AF). O primeiro filtro anaeróbico implantado na indústria de papel e celulose foi construído em 1987 em um processo de fabricação integrado com polpação na Bélgica. Nesta tecnologia, a manta de filtração serve de suporte para a biomassa separada do efluente. Os filtros podem ser operados com fluxo ascendente ou descendente. O fluxo ascendente produz alta concentração de biomassa suspensa na formação do biofilme na estrutura do leito fixo. O fluxo descendente pode ser aplicado em efluentes com alta concentração de enxofre inorgânico e com razão entre degradabilidade da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO) e enxofre inorgânico baixa, entre 10 ou 15, que se aplica a indústria de papel e celulose integrada (DINSMORE, 1989).
- c) Reatores anaeróbico de leito fluidizado (FB) e o de leito expandido (EGSB) não apresentam suporte para a biomassa, tendo o fluxo ascendente de efluente a função de manter a biomassa em suspensão, assegurando um bom contato entre os microorganismos e o material orgânico.

Dentro do contexto das tecnologias de tratamento de efluentes via anaeróbica, tem-se ainda as chamadas lagoas anaeróbicas(LG), cuja eficiência é pequena e raramente utilizada no âmbito industrial (Figura1). Esta tecnologia, foi a pioneira entre os grandes processos anaeróbicos, podendo ser configurada com uma célula ou com várias células em série ou em paralelo.

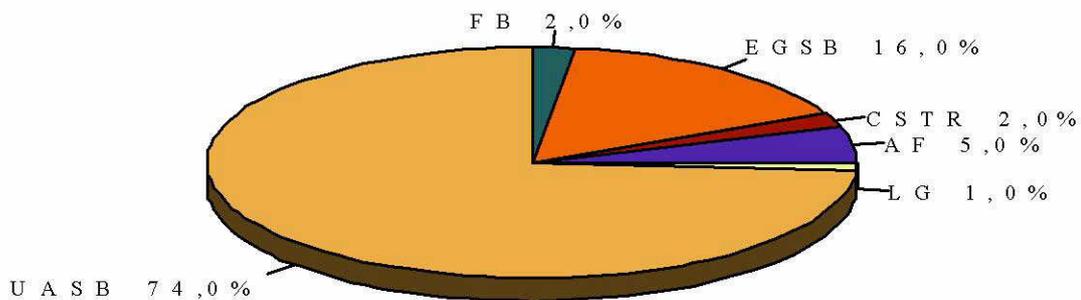


Figura 1 Tecnologias Anaeróbicas

Fonte: ARRIETA e CANTERA, 1999

De todas as tecnologias anaeróbicas, o reator anaeróbico de fluxo ascendente com manto de lodo (UASB), tem sido o mais utilizado, sobretudo, naqueles casos onde objetiva-se a eliminação ou a conversão da matéria orgânica em metano e a reutilização de água pós-tratamento no processo industrial.

Além disso, o processo anaeróbico em reatores convencionais é lento, comparativamente ao reator UASB, em termos do tempo de retenção hidráulica da biomassa do efluente dentro do reator. Em um reator UASB a redução do tempo de retenção hidráulica pode ser obtida mantendo-se uma elevada concentração de microorganismos no interior do reator, através de recirculação externa ou retenção interna dos microorganismos.

Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo - UASB

O desenvolvimento do reator UASB ocorreu em princípio da década de 70, quando se construiu e operou o primeiro reator em escala de laboratório na Universidade de Agricultura de Wageningen na Holanda. O reator UASB possui elevada eficiência, sendo o mais estudado e mais utilizado em plantas industriais, notadamente nas de papel e celulose, a nível mundial (Figura 1). O princípio de funcionamento deste tipo de reator consistem em bombear o efluente de baixo para cima, através do reator, que se encontra sob estritas condições anaeróbicas, a uma velocidade de ascensão que varia de 0,5 a 1,5 m/h. No interior do reator ocorre um processo de seleção, que pode resultar no crescimento de microorganismos anaeróbios em conglomerados compactos na forma de grânulos de tamanho variando entre 0,5 e 5 mm. Estes grânulos funcionam como catalizadores biológicos que podem converter a matéria orgânica degradável em biogás, de maneira rápida e completa.

Entre as principais características do reator UASB, destaca-se o sistema de distribuição do afluente e o chamado separador de três fases.

No reator UASB, o substrato a ser tratado é distribuído ao longo da parte inferior, através de uma densa camada de lodo anaeróbico. O resíduo flui na direção da parte superior, passando pelo leito de lodo, no qual sua DQO é parcialmente convertida em biogás.

No topo do reator, o separador de três fases atua sobre o efluente tratado, o lodo bacteriano granulado que foi arrastado torna-se o biogás. Enquanto o biogás é retirado do sistema, o lodo granulado, mais pesado, volta a se depositar no fundo e o efluente sai pela parte mais alta do reator. Um bom contato entre o resíduo a ser tratado e o lodo anaeróbico é de fundamental importância para a performance do reator, daí é necessário um sistema de distribuição que evite recirculação e espaços desperdiçados, e seja de fácil limpeza por causa de entupimentos.

Em geral, os reatores UASB podem ser limpos durante a operação, não sendo preciso esvaziá-los para realizar a manutenção. A retenção da biomassa dentro do reator influi de maneira decisiva na capacidade de conversão da DQO em biogás. Devido a importância do separador nesta tecnologia, este deve ser construído com um material de qualidade para minimizar os riscos de corrosão, causada quase sempre pelo H₂S presente em pequena quantidade no biogás, bem como permitir a inspeção e quando necessário, a limpeza. Entre os materiais mais utilizados para a prevenção da corrosão, está o polipropileno.

Cabe salientar que com o surgimento de limitações do reator UASB, sobretudo, no caso da necessidade de tratamento de altas cargas de matéria orgânica nos efluentes, novos desenhos tem sido estudados, destacando-se o reator UASB/IC, desenvolvido pela firma holandesa Paques Water System.

A Paques Water System iniciou estudos do reator UASB/IC (Internal Circulation) a partir de 1988, tendo-se como piloto uma planta de 70 m³ e, posteriormente, em uma planta em escala real, tratando efluentes do beneficiamento de batatas.

A principal alteração do reator UASB convencional para o reator UASB/IC, foi a colocação de compartimentos sobrepostos. Assim, pelo compartimento inferior passa efluente com alta carga de matéria orgânica e o superior com baixa carga, tendo-se uma separação de biogás por compartimento (ARRIETA e CANTERA, 1999).

ESTUDO DE CASO: REATOR UASB EM UMA PLANTA DE PRODUÇÃO DE PAPEL NÃO INTEGRADA

A indústria em que procedeu-se a implantação do reator UASB, tem como única fonte de matéria prima papel velho (aparas). O processamento desta matéria prima, visando a fabricação de papel para embalagem, acaba gerando uma grande quantidade de efluente líquido. Este efluente, deve ser tratado conforme Legislação Estadual estabelecida nos Artigos 18 e 19.

A partir de 1998, com a ampliação da planta industrial, o sistema de tratamento de efluentes existente na empresa, precisou ser redimensionado, tendo-se escolhido a tecnologia do reator UASB.

A escolha desta tecnologia, deu-se devido, principalmente, à rapidez para a implantação de todo o sistema, custos envolvidos para a implantação, a interface com parte do sistema existente, bem como pelas possibilidades abertas para o fechamento de circuito de águas da fábrica e pelas perspectivas de complementação das necessidades energéticas da empresa, bem como a garantia de que os efluentes finais estariam enquadrados ao padrões de lançamento em corpo receptor, conforme exigidos pela legislação em vigor.

O suporte técnico desde o projeto até a efetiva implantação do sistema anaeróbico, incluindo a inoculação do reator, foi realizado pela empresa Engenharia e Consultoria em Tecnologia Ambiental - ECTA, de São Carlos, Estado de São Paulo. Durante a fase de "start-up", foi definida uma vazão inicial de alimentação do efluente do reator em 10% da vazão de projeto, prevendo-se aumentos gradativos sempre que a remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) atingisse 85% e o pH do efluente tratado estivesse entre 7,2 e 7,8. As vazões foram sendo aumentadas sucessivamente, até atingir-se 100% de efluente decantado. Saliente-se, que as sequências de aumento de vazão

foram por vezes interrompidas, para manutenção dos defletores dos separadores de gás, líquido e sólidos. Quando uma unidade do reator estava em manutenção a outra, para garantir-se o não interrompimento do processo anaeróbico, recebia apenas metade da vazão.

Descrição do Processo de Tratamento

O reator UASB, foi incorporado ao sistema de tratamento de efluentes existente, conforme pode ser observado na figura 2. A configuração do novo sistema contemplou: o tratamento primário, compreendendo o peneiramento, tanque de equalização e flotores; o tratamento secundário representado pelo reator UASB; e o tratamento terciário representado pela lagoa aeróbica de polimento.

Todos os efluentes do processo industrial, são reunidos em um poço de sucção, ainda dentro da fábrica. Do poço, os efluentes são bombeados para um tanque elevado de onde escoam por gravidade até uma peneira a vácuo (SD-Side Hill), de onde os sólidos retidos retornam ao processo, pós-polpação. Parte do líquido resultante do peneiramento do SD é bombeado para a preparação de massa, sendo utilizado principalmente na polpação das aparas, enquanto o excedente é encaminhado ao tanque de equalização, constituindo-se, portanto, no efluente a ser tratado. Do tanque de equalização, os efluentes são recalçados para um tanque de mistura, após receberem a adição de polieletrólito e de ar. Após o tanque de mistura, os efluentes são enviados para dois tanques de flotação, funcionamento em paralelo. No caso, o polieletrólito favorece a formação de flocos de fibras celulósicas, enquanto o ar permite a elevação hidráulica destes flocos nos flotores, os quais, são separados com raspadores. A massa recuperada nos flotores segue para a polpação de aparas, enquanto o efluente líquido resultante segue para o reator UASB. Do reator UASB, obtém-se o biogás e o efluente tratado, que pode seguir dois caminhos. O primeiro é o retorno do efluente tratado para o processo industrial, principalmente para o uso em chuveiros da máquina úmida. O segundo, quando existe o excedente de efluente tratado é a sua canalização para a lagoa aeróbica de polimento, para finalmente, após retenção hidráulica para oxigenação, retorna à natureza, ao corpo receptor. O sistema de tratamento acima descrito, vem atendendo a legislação vigente no Estado de São Paulo para efluentes industriais.

Reator UASB de Manta de Lodo

O volume de efluentes que chega ao reator UASB é da ordem de 3600 m³/dia, tendo-se um tempo de retenção hidráulica de 16 horas, o que resulta um volume útil de 2400 m³/dia. Para o tratamento deste volume útil, possui-se duas unidades de reatores, com um volume útil de 1200 m³/dia cada uma. Cada reator, possui 6,00 metros de profundidade útil, e 10,00 metros de largura por 20,00 metros de comprimento.

Carga Orgânica nos Reatores

Os resultados das análises físico-químicas do efluente bruto que chegam aos flotores indicam o valor de 1500 mg/l para a DBO. Além disso, tem-se um pH entre 7,2 a 7,8 e, resíduo sedimentar (RS) de 100 ml/l. Considerando a eficiência medida de 20% nos flotores, a DBO afluente ao reator UASB é da ordem de 1200 mg/l. Nestas condições a Carga Orgânica (CO) para cada reator será de:

$$CO = V(\text{m}^3/\text{dia}) \times \text{DBO5}(\text{Kg DBO}/\text{m}^3) \quad (1)$$

$$CO = 1200 \times 1,2 = 1440 \text{ Kg DBO}/\text{dia}, \text{ por reator}$$

Produção de Gás Metano

Considerando o valor de 300 litros de gás metano (CH_4) nas condições normais de temperatura e pressão para cada quilograma de carga orgânica removida, bem como a DBO efluente tenha uma eficiência de 85% de remoção, pode ser calculado o volume de CH_4 gerado (VG), nas duas unidades do sistema anaeróbico.

$$VG = 0,85 \times \text{Kg DBO}/\text{dia} \times 1 \text{ CH}_4/\text{Kg DBO} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{l} \quad (2)$$

$$VG = 0,85 \times 2880 \times 300 \times 1.10^{-3}$$

$$VG = 734,4 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{dia} \text{ (CNTP)}$$

Produção de Biogás

Como o biogás possui em média 2/3 de metano (JUNIOR et all, 1997), logo a produção por dia é de 1101 m^3 de biogás.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na planta de produção de papel em foco, o gás metano gerado pelo sistema anaeróbico UASB ($8846 \text{ Kcal}/\text{m}^3$), desloca o equivalente a 650 kg de óleo combustível ($10000 \text{ Kcal}/\text{kg}$) (BEN, 1999) por dia, significando, quase duas horas de produção de papel, utilizando o gás metano gerado naquele sistema. Esta substituição gera um economia anual da ordem de 70.000,00 reais. Estão em andamento no âmbito da empresa, estudos, visando a utilização do biogás nos motores estacionários ciclo Diesel, que alimentam de água as caldeiras, no caso de falta de energia elétrica da concessionária.

No tocante a qualidade do afluente do reator UASB, tem-se conseguido manter os padrões exigidos pela legislação ambiental em vigor, quanto pH, sólidos sedimentáveis, DBO e óleos e graxas. Além disso, do volume do efluente tratado, somente 5% segue para o corpo receptor natural, o restante retorna para o processo industria (Figura 2).

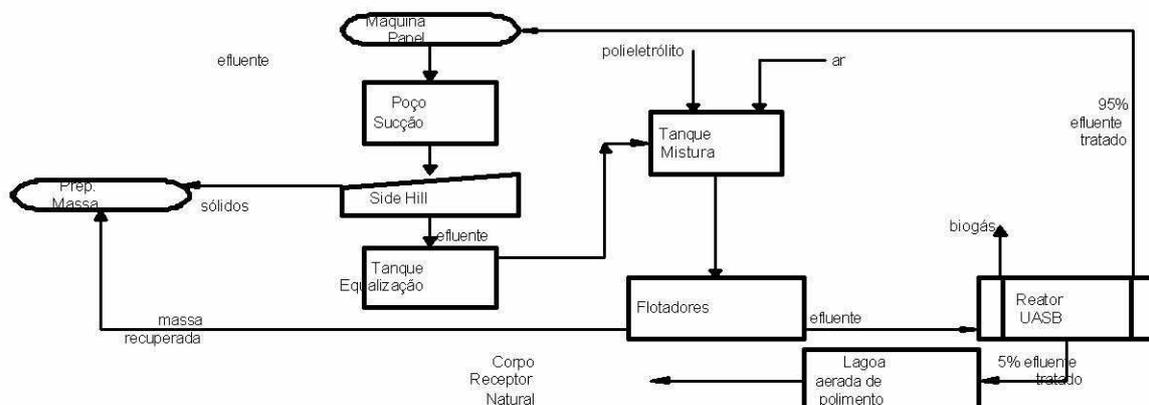


Figura 2 Tratamento de Efluentes

Fonte: Elaboração própria

Tomando-se por base a empresa em foco e o seu sistema de digestão anaeróbica, com reatores UASB, onde diariamente, trata-se 3600 m³ de efluentes para uma produção de 150 toneladas de papel e, uma geração de gás metano cujo equivalente em óleo combustível é de 650 kg; ter-se-ia no âmbito nacional, a produção diária equivalente de 36.000 kg de óleo combustível e gerando economias anuais da ordem de 4 milhões de reais, se todas as empresas de embalagens e caixas, tivessem instalado sistema de tratamento de efluentes similar. No país, em 1998, produziu-se cerca 3 milhões de toneladas de papel para embalagens e caixas onduladas (BRACELPA, 1999), com processo produtivo semelhante à empresa, foco deste estudo-de-caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARRIETA, J.; CANTERA, E., **Recuperación biológica y reaprovechamiento de aguas de proceso**, El Papel, n. 79, pp.56-61, Sept/Octubre, 1999.
- [2] BEN, **Balanzo Energético Nacional**, Ano Base, 1998, DNDE/SEM/MME, 1999.
- [3] BRACELPA, **Anuário Estatístico**, Associação Brasileira Técnica de Papel e Celulose, 1998.
- [4] CASSEB, M.M.S. **Avaliação do desempenho de um reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo, em escala piloto, tratando esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado, Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.
- [5] DINSMORE, N. **Anaerobic treatment allows viable handling of bleached CTMP Effluent**. Pulp and Paper, pp. 39-40, October, 1989.
- [6] FRADERICK, W. J., **Energy and materials recovery from recycled paper sludge**, TAPPI JOURNAL, Vol. 79, n.6, pp. 123-131, 1996
- [7] JUNIOR, J.L., CORTEZ, L.A .B., SILVA, A .; **Biodigestão**. Tecnologias de Conversão da Biomassa, Cap. X, EDUA/EFEI, pp. 401 a 460, Manaus, Brasil, 1997.