

**USO DE MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL  
EM FERNADO DE NORONHA  
XLVII CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA**

**Acsa Stefanie Aguiar** – [acsaaaguiarr@outlook.com](mailto:acsaaaguiarr@outlook.com)  
Engenharia de Energia, PUC Minas  
Rua Amsterdam, 639  
32043040 – Contagem– MG

**Jordan Lacordaire de Sousa Fontes** – [jordan.lacordaires@gmail.com](mailto:jordan.lacordaires@gmail.com)  
Engenharia de Energia, PUC Minas  
Rua Júlia Lina, 16  
30830260 – Belo Horizonte – MG

**Prof. Orientador Otávio Avelar Esteves** – [otavio@pucminas.br](mailto:otavio@pucminas.br)  
PUC - Minas, Engenharia de Energia  
Av. Dom José Gaspar, 500 Coração Eucarístico  
30535901 – Belo Horizonte - MG

*Resumo: O curso de Engenharia de Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais assumiu uma metodologia de ensino que supera a forma cartesiana com que a engenharia vem sendo ministrada, em especial, nas instituições de ensino do país. Para isso o projeto pedagógico do curso rompe os limites impostos pela sala de aula com a adoção do Trabalho Acadêmico Integrador (TAI), fazendo com que o estudante tenha mais responsabilidade e autoridade sobre o próprio aprendizado. O presente artigo relata o desenvolvimento e resultados do TAI desenvolvido no 4º período do curso, que visava projetar um modelo de suprimento energético para a ilha de Fernando de Noronha. O trabalho repensava, de maneira socioambiental, o descarte dos resíduos urbanos e a obtenção de água e energia, utilizando como cerne central a microalga da espécie *Chlorella Vulgaris*. O ciclo de produção dessa micro-organismo seria utilizado para limpeza de águas residuais, que resultaria no descarte mais racional do esgoto doméstico, matéria prima para geração de água de reuso, e também a síntese de biocombustível com a biomassa resultante do processo. A espécie de alga estudada se mostra bastante resistente em água residuais, com taxa de sobrevivência superior a 90%, conseguindo mitigar 95% dos particulados de fósforo e 66% dos de nitrogênio. Também seria possível gerar cerca de 142 l diários de biodiesel*

Palavras-chave: Inovação no Ensino. Energia. Microalga. Biodiesel. Esgoto.

## **1. O CURSO ENGENHARIA DE ENERGIA**

“Toda a ciência ocidental está condicionada ao método cartesiano. Isso repercute no ensino porque tendemos a fragmentar todo o conhecimento. Isso é um paradoxo, já que tudo está relacionado e, ao compartimentar as disciplinas, perde-se a interação entre elas” (Avelar, Otávio)

Pensado para contrapor essa realidade, o curso de Engenharia de Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas visa dotar o estudante de uma visão sistêmica no aprendizado e, por conseguinte, na prática da engenharia, fazendo com que ele trabalhe no âmbito das interações entre as disciplinas desde o primeiro momento de sua vida acadêmica.

Para tanto, paralelo ao aprendizado teórico adquirido em sala de aula, os estudantes são desafiados ao longo dos dez semestres a desenvolverem o TAI - Trabalho acadêmico Integrador - que obriga o aluno a se comprometer, não só com todas as disciplinas vistas no semestre em estudo, como também com aquelas cursadas em períodos anteriores. Isso possibilita que os alunos retirem o monopólio da informação das mãos do professor, fazendo com que o próprio estudante seja responsável pelos limites do seu conhecimento. Assim, o projeto faz o educador romper a barreira existente entre discentes e docentes e se coloque junto aos estudantes, oferecendo-lhes apoio e direção quando solicitado.

## **2. JUSTIFICATIVA**

O presente trabalho desenvolvido ao longo do 4º período de curso destina aprofundar o trabalho voltado ao suprimento energético de uma “ilha”. As diretrizes do projeto propunham focar nas respectivas tecnologias para suprir esse lugar passando pelas fases de identificação, descrição de problemas, a organização dos recursos, a síntese de ideias, a construção, o teste e a avaliação dos recursos. A escolha de Fernando de Noronha, como objeto para o desenvolvimento da proposta, foi motivada pelas atividades desenvolvidas no TAI do semestre anterior.

A ilha não tem tamanho nem estrutura suficiente para lidar com a quantidade cada vez maior de lixo produzida por moradores e os mais de 100 mil turistas que a visitam anualmente. Esse resíduo sólido é separado, a parte orgânica é destinada a compostagem, já a inorgânica volta de balsa para o continente. O intervalo de tempo com o qual o barco chega à ilha não é suficiente para retirar a quantidade crescente de lixo produzida na ilha, o que acarreta um acúmulo em um certo local.

O abastecimento de água na ilha tem sido feito através da captação da chuva, mas os açudes existentes para tal estão sujeitos a assoreamento chegando a transbordar em períodos mais chuvosos devido à redução da capacidade de reservação, em função do aumento da carga de sólidos (Batistella, 1993).

Por outro lado, o arquipélago sofre com problemas relativos ao esgoto, pelo fato de ser uma ilha pequena e não haver rios ou lagos de água doce para seu descarte, restando a opção de seu “tratamento” em uma ETE, o que, na prática, não acontece. O tratamento, quando feito, é ineficaz e é depois descartado na praia, contaminando a água usada por turistas e atinge comunidades marinhas, afetando várias espécies, o que altera o equilíbrio ambiental.

A ilha depende de geradores elétricos movidos a óleo diesel, trazido do continente. Além da logística complicada para levar o diesel até o arquipélago, o que deixa o processo complexo e com

custo elevado, também acarreta o risco de vazamentos no transporte desse óleo, o que pode causar sérios problemas à comunidade marinha.

### 3. METODOLOGIA

O trabalho do TAI repensou a dinâmica energética do arquipélago sendo sustentado por três grandes pilares, onde se procurou solucionar os problemas principais da ilha, em especial suprimento energético, tratamento e destinação adequada do esgoto doméstico e dos resíduos sólidos, de uma forma harmoniosa, integrada, sistêmica e, portanto, sustentável.



fonte: autores

Para tal desafio, optou-se por uma combinação de tecnologias que têm no cultivo, e uso posterior da microalga *Chlorella Vulgaris*, um grande diferencial do projeto, o que levou a centrar o presente artigo neste aspecto do projeto do TAI desenvolvido. Para tal, a sequência de etapas que desencadeiam sua produção é usada diretamente para a remoção de particulados de fósforo e nitrogênio dos resíduos líquidos urbanos que resultaria em um insumo para produção de água potável, além da síntese de biodiesel com a biomassa microalgal. O suprimento energético seria complementado por uma termelétrica movida pela queima resíduos sólidos gerados na ilha. Os particulados de carbono decorrentes da queima desse lixo seriam direcionados aos fotobiorreatores por tubos pressurizados para serem mitigados pela microalga em seu ciclo fotossintético. O projeto ainda retratava a construção de uma usina termossolar de concentrador parabólico.

A mitigação do nitrogênio pela microalga ocorre após uma série de quebras das moléculas de nitrato absorvido pelas células, simplificando-as, primeiramente, à nitrito, e logo após à amônia por uma NADPH ligada localizada de nitrito redutase. Assim, o amônio resultante pode ser assimilado para formar aminoácidos pela célula (MORRIS,1974). O fósforo é armazenado na forma de polifosfatos, que estão presentes no organismo das algas sob condições de excesso de fósforo. Após armazenado, esse é usado para sintetizar  $HPO_4$  e  $HPO_4^{2-}$  que são utilizados em seu metabolismo (POWELL, 2008).

Após o processo de mitigação do particulados inorgânicos, a massa sintetizada é separada do efluente tratado por floculação, onde a primeira é destinada para a produção de biodiesel e o segundo é matéria prima para obtenção de água de reuso. Durante a fotossíntese a microalga também consegue fixar carbono durante o ciclo de Calvin. Os ATP's e NADPH's são empregados na condensação de  $CO_2$  a ribulose-1,5-bifosfato para formar 3-fosfoglicerato, reduzido a gliceraldeído-3-fosfato (GAP). O GAP pode ser obtido a partir de compostos orgânicos, pode ser

utilizado na formação de carboidratos e outras moléculas, e pode também seguir na rota da glicólise para ser oxidado em ácido pirúvico, que por sua vez é convertido em acetil-CoA (HARDWOOD & JONES, 1989; HU et al., 2008). Estima-se que para cada quilograma de biomassa algal seca utiliza aproximadamente 1,83 kg de CO<sub>2</sub>) (CHISTI, 2007).

## 4. RESULTADOS

### 4.1- Esgoto disponível

O dimensionamento da quantidade de esgoto disponível na ilha feito em função da população local (SPERLING M.VON; 1996), tal como mostra a equação abaixo:

$$Q_{dmed} = (Pop * QPC * R)/1000$$

Onde:

Pop= População local

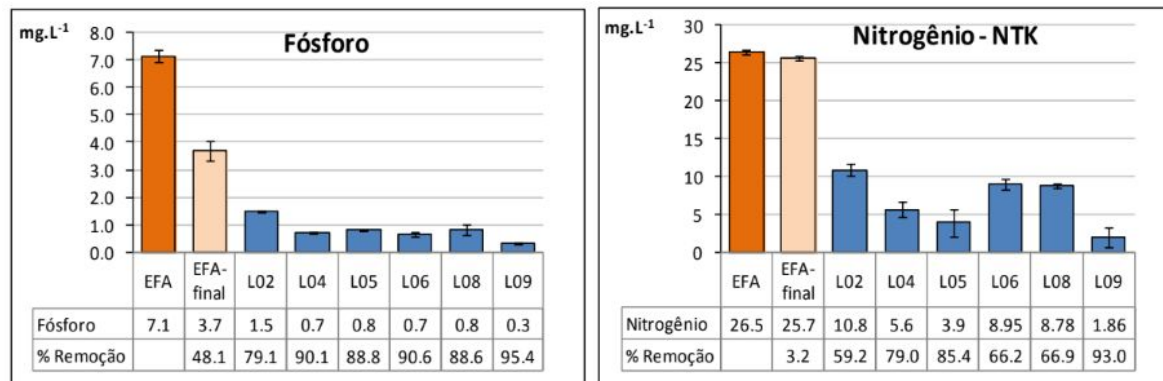
QPC= Quota per capita (consumo médio de água diária de um indivíduo )

R= Coeficiente de retorno (média de 0,8),

Resultou em uma quantidade disponível de esgoto de 338m<sup>3</sup>/dia.

### 4.2- Chlorella Vulgaris

(TORRES, 2014) conclui que a microalga utilizada no presente trabalho removeria cerca de 91% do fósforo e 66% dos particulados de nitrogênio contidos no efluente de esgoto. Além disso, o mesmo trabalho justifica a escolha da microalga utilizada pela taxa de sobrevivência superior à 95% em efluente de esgoto.



Fonte: TORRES, H. S. J; CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTE DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO; Vitória; 2014

Sendo,

EFA=efluente de UASB autoclavado

EFA-final= sobrenadante do EFA após adição de coagulante

L02=Desmodesmus sp. L02

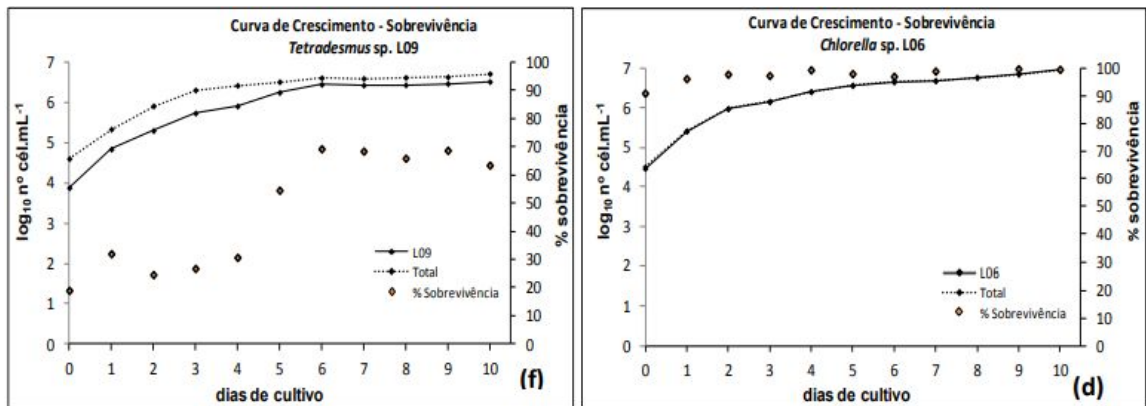
L04=Chlorococccum sp. L04

L05=Coccomyxa sp. L05

L06=Chlorella sp. L06

L08=Scenedesmus sp. L08

L09=Tetradesmus sp. L09 em EFA (barras de erro=desvio padrão, n=3)

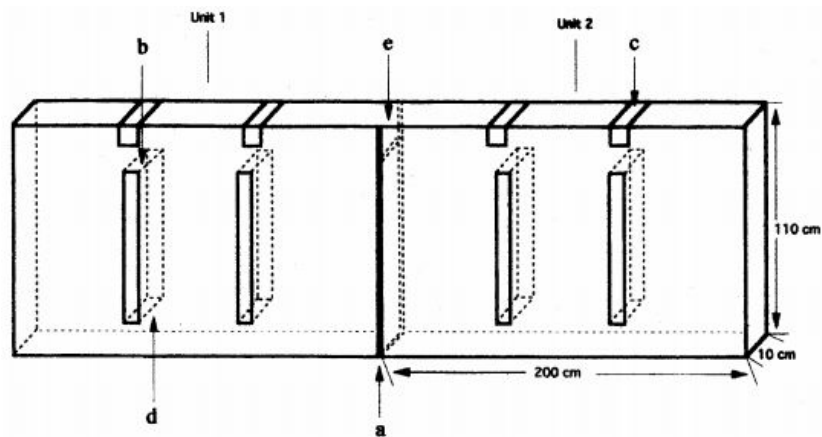


Fonte: TORRES, H. S. J; **CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTE DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO**; Vitória; 2014

Ainda que os gráficos acima mostram que a *Tetrademus sp. 09* tenha desempenho superior às demais algas nas remoções de nitrogênio e fósforo, 93% e 95,4% respectivamente, *Chlorella sp. L06* é mais resistente quando produzida em efluente de esgoto, tendo taxa de sobrevivência superior à 90%.

### 4.3- Meio de cultivo

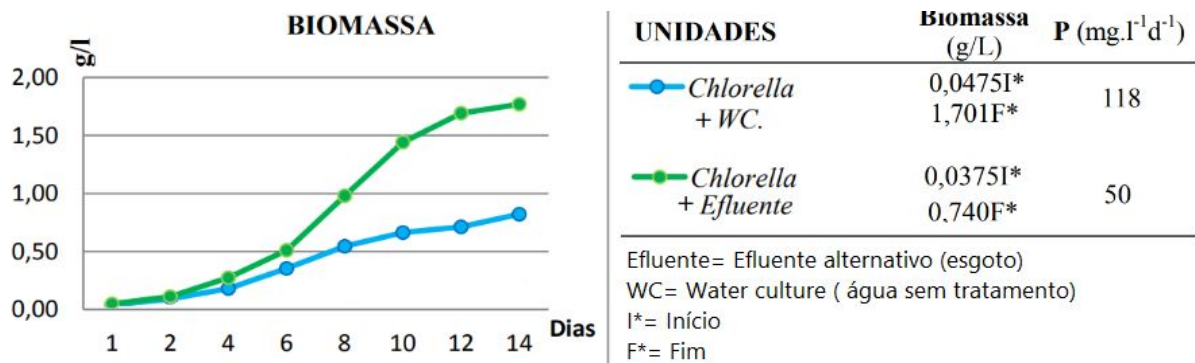
Ainda que a produção de microalga possa ser conduzida em tanques abertos ou fechados, estes últimos visam alcançar a máxima produtividade por possibilitar uma maior concentração por área, contrapondo os grandes espaços requeridos em outras culturas de biomassa. Além disso, este design faz com que o fotobiorreator tenha tempo de colheita mais curto e permite controlar parâmetros tais como; nutrientes, concentração de CO<sub>2</sub>, temperatura e PH.



Fonte: Richmond e Zhang (2001)

### 4.4- Biomassa disponível

O dimensionamento da quantidade de biomassa disponível foi avaliado a partir dos resultados obtidos em JEREMIAS M. L, 2013.



Fonte: Cultivo de microalgas *Chlorella Vulgaris* com efluente doméstico como meio de cultura alternativo; JEREMIAS M. L., 2013

Percebe-se que a espécie escolhida apresenta um crescimento significativo em meio ao efluente doméstico. A produtividade de biomassa diária observada foi de 118 mg/l.d, acumulando-se em 1,6 g/l ao final de 14 dias, onde a curva de crescimento começa a se estabilizar devido a competição por alimento.

Considerando a quantidade disponível de esgoto em Fernando de Noronha, pode-se estimar um total de biomassa produzida de:

$$\begin{aligned} \text{Biomassa} &= 337792 \text{ L/d} * 1,652 \text{ g/l} \\ \text{Biomassa} &= 558032,384 \text{ g/d} \\ \text{Biomassa} &= 558 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

(CHISTI, 2007) permite concluir que essa quantidade biomassa seria responsável pela fixação de aproximadamente 1 Ton/D de dióxido de carbono.

#### 4.5- Biodiesel

Em CAVALCANTI 2015 investigou-se a síntese de biomassa da microalga *Chlorella vulgaris*, avaliando seu potencial de produção de ésteres por transesterificação in situ, tanto pela rota metílica quanto pela etílica, empregando HCl<sub>37%</sub> e n-hexano. O rendimento, em massa, de produto por biomassa seca foi de 8,73 % para ésteres metílicos e 21,83 % para ésteres etílicos. Diante do rendimento de 21,83% de ésteres para a biomassa produzida na ilha, estima-se a produção de 123 kg/dia de combustível. A densidade do biodiesel foi de 0,864kg/l (Huang, 2010), resultando em um volume total de 142 litros/dia.

A conversão energética foi avaliada baseando-se nos motores MDG-5000ATS, chegando em uma potência produzida de 540 kW. Ainda, considerando o consumo requerido no trabalho de FERNANDES 2013, a potência requerida pela membrana é estimada em 56 kW, resultando em um saldo positivo de 484 kW, o que contrasta com o gasto energético requerido pelo uso do dessalinizador.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo objetiva a análise do impacto socioambiental do uso da microalga como cerne de um projeto de obtenção de água potável, energia e descarte correto de resíduos urbanos em contraste com as práticas hoje utilizadas em Fernando de Noronha.

Isso foi resultado das atividades realizadas no Trabalho Acadêmico Integrador IV do curso de Engenharia de Energia, onde foi desenvolvido um projeto, centrado em estudos anteriores, o qual foi possível concluir que o projeto é tecnicamente viável. Em resumo, é possível gerar parte da energia requerida pela ilha in loco, ao mesmo tempo que se obtém água potável e descarta-se os resíduos urbanos de uma forma mais amigável ao meio ambiente.

Assim, o projeto alcança pleno êxito, não só pelos resultados alcançados, como também pelo aprendizado obtido pelos autores em sua síntese.

### *Agradecimentos*

Gostaríamos de agradecer a todos os professores do 4º período Ângela Menin Teixeira de Souza, Antônia Sônia Cardoso Diniz, Carina Pinheiro Soares Torres Alves, Fernanda Lima, Joice Laís Pereira, Leandro Pires Gonçalves, Marcus Venicius Ferraz do Amaral e principalmente Laura Hamdam Andrade e Otávio de Avelar Esteves, docentes responsáveis pela disciplina TAI IV e orientadores deste artigo. Sem vocês seria impossível o andamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. von; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG: Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 483 p. il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advanced*, 2007.

LÚCIO Mônica Jeremias, Cultivo de microalgas *Chlorella Vulgaris* com efluente doméstico como meio de cultura alternativo; Universidade Federal de Santa Catarina, 2013

BORINI, T. M. Remoção de nitrato e fosfato presente em efluente sintético, por meio do cultivo de *chlorella vulgaris*, com foco preliminar para produção de biodiesel

SPERLING, M. von. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 1996. 211 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 2).

TORRES, H. S. J; Cultivo de microalgas em efluente de tratamento anaeróbio de esgoto Vitória; 2014

YORDANKA REYES CRUZ, ANDREINA Z. FIGUERA LEONETT , GISEL CHENARD DÍAZ, RENÉ GONZALEZ CARLIZ, VINICIUS ROSSA, MARINA GALINDO, DONATO

ALEXANDRE GOMES ARANDA, LUCIANO BASTO OLIVEIRA; Biofixação de CO<sub>2</sub> pela microalga *monoraphidium* S.P

POWELL, N.; SHILTON, A. N.; PRATT, S.; CHISTI, Y.; Factors Influencing Luxury Uptake of Phosphorus by Microalgae in Waste Stabilization Ponds. *Environ. Sci. Technol.*, v. 42, p. 5958-5962, 2008.