



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS  
GERAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO SOBRE O USO DE MICROALGAS NA COBERTURA  
DE EDIFICAÇÕES E SUA INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA  
DOS ESPAÇOS ARQUITETÔNICOS INTERNOS**

**FÁBIO SOUZA MEIRA**

**Belo Horizonte, 07 de julho de 2015**

Fábio Souza Meira

**ESTUDO SOBRE O USO DE MICROALGAS NA COBERTURA  
DE EDIFICAÇÕES E SUA INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA  
DOS ESPAÇOS ARQUITETÔNICOS INTERNOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas  
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Bioengenharia

Orientador: Prof. Marcos Pinotti Barbosa

DEMEC/UFMG

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2015



**Universidade Federal de Minas Gerais**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - 31.270-901 - Belo Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783

www.demec.ufmg.br - E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

## **ESTUDO SOBRE O USO DE MICROALGAS NA COBERTURA DE EDIFICAÇÕES E SUA INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA DOS ESPAÇOS ARQUITETÔNICOS INTERNOS**

**FÁBIO SOUZA MEIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 07, de julho de 2015, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia Mecânica", na área de concentração de "(nome da área de concentração)"

---

Prof. Dr. Marcos Pinotti Barbosa – DEMEC/UFMG – Orientador

---

Profa. Dra. Ana Lydia Reis de Castro e Silva – DEES/UFMG – Examinador

---

Prof. Dr. Márcio Fonte-Boa Cortez – DEMEC/UFMG – Examinador

Dedico este trabalho à minha companheira Fernanda, que sonha junto comigo por minhas realizações, à minha filha Lina, cuja existência torna minha vida mais doce, e aos meus pais, que sempre acreditaram na minha capacidade de construir algo melhor para o mundo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ainda a toda e qualquer pessoa que envolve sua vida em prol de uma sociedade mais sustentável e mais humana, construindo novas formas de pensar e existir. Agradeço à SEVA e à Intergado pelo apoio técnico e confiança, à professora Alessandra Giani por sua disponibilidade técnica e de seu laboratório, que forneceu as amostras de microalgas aqui utilizadas, e ao professor Pinotti por sua orientação conceitual e técnica generosa e precisa.

*”Ciência é mais do que um corpo de conhecimento, é uma forma de pensar, uma forma cética de questionar o Universo com pleno entendimento da falibilidade humana.”*

*Carl Sagan*

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	6
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE SIGLAS .....	10
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS .....	11
RESUMO .....	12
ABSTRACT .....	13
1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Microalgas no Mundo .....	16
1.2 Microalgas no Brasil .....	21
1.3 Motivação.....	23
1.4 Metodologia .....	23
1.5 Estrutura do trabalho.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	25
2.1 Produtos e aplicações das Microalgas.....	29
2.1.1 <u>Nutrição animal</u> .....	30
2.1.2 <u>Nutrição humana</u> .....	31
2.1.3 <u>Biofertilizantes</u> .....	32
2.1.4 <u>Energias alternativas</u> .....	33
2.1.5 <u>Poluição do ar e da água</u> .....	34
2.1.6 <u>Utilização na construção civil</u> .....	35
2.2 Sistemas de cultivo.....	37
2.3 Objetivo.....	39
3 METODOLOGIA .....	41
3.1 Descrição do protótipo .....	41
3.1.1 <u>Medição de temperatura</u> .....	43
3.1.2 <u>Medidor de intensidade luminosa</u> .....	43
3.1.3 <u>Sistema de aquisição de dados</u> .....	44

3.1.4	<u>Montagem definitiva</u> .....	45
3.1.5	<u>Coluna de bolhas</u> .....	46
3.1.6	<u>Microalga adotada</u> .....	47
4	METODOLOGIA .....	48
4.1	Coleta de dados e preparação do meio de cultivo .....	48
5	RESULTADOS.....	51
5.1	Influência da estrutura de cultivo na variação da temperatura interna das edificações .....	51
5.2	Influência das microalgas na variação da temperatura interna das edificações ....	54
5.3	Resultado geral.....	60
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	61
7	REFERÊNCIAS.....	63



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa mundi com marcação de empresas que cultivam microalgas e destaque da faixa tropical .....	21
Figura 2: Concentrações relativas de gás carbônico, bicarbonato e carbonato (%) em função do pH .....	26
Figura 3: Porcentagem de amônia e amônio em função do pH.....	27
Figura 4: Edificação alemã que utiliza Microalgas para aquecimento interno.....	36
Figura 5: Cultivo aberto (Raceway) .....	38
Figura 6: Cultivo fechado (Fotobiorreatores) .....	38
Figura 7: Protótipo inicial.....	41
Figura 8: Conexão em U usada na ligação das mangueiras .....	42
Figura 9: Curva de calibração do medidor de intensidade luminosa (LUX x Volts de saída) .....	44
Figura 10: Protótipo construído minimizando os efeitos térmicos da bomba .....	45
Figura 11: Diagrama esquemático do sistema de cultivo .....	46
Figura 12: Coluna de bolhas .....	46
Figura 13: Fertilizante mineral 100% solúvel usado no meio de cultivo .....	48
Figura 14: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 15 .....	52
Figura 15: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 16 .....	52
Figura 16: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 16 .....	53
Figura 17: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 21 .....	54
Figura 18: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 15.....	55
Figura 19: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 16.....	57
Figura 20: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 20.....	58
Figura 21: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 21.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento e área necessária para abastecimento de 50% dos combustíveis dos EUA.....	17
Tabela 2 - Conteúdo em óleo da biomassa seca de algumas espécies de microalgas em cultivo sem privação de nutrientes .....	18
Tabela 3 - Empresas que utilizam microalgas, suas localidades e produtos. ....	20
Tabela 4: Nutrientes necessários para formulação do meio Schlösser.....	27
Tabela 5: "PIV" Solução de metais .....	28
Tabela 6: "Chu" Solução de micronutrientes.....	28
Tabela 7 - Produtos de microalgas .....	29
Tabela 8 - Digestibilidade das microalgas para alguns animais .....	30
Tabela 9 - Composição do adubo mineral usado no meio de cultivo .....	48
Tabela 10 - Contagem de células por amostra.....	50

## **LISTA DE SIGLAS**

EUA	Estados Unidos da América
DEMEC	Departamento de Engenharia Mecânica
ICB	Instituto de Ciências Biológicas
NAABB	National Alliance for Advanced Biofuels and Bio-products
PPGMEC	Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ACM	Temperatura da água com microalga
ACM-ASM	Diferença entre as temperaturas da água com microalga e a da água sem microalga
ASM	Temperatura da água sem microalga
CH <sub>2</sub> O	Hidrocarbonetos
CI	Circuito Integrado
CO <sub>2</sub>	Gás Carbnico
DAM	Drenagem ácida de Mina
DNA	Desoxyribonucleic Acid (cido Desoxiribonucleico)
H <sub>2</sub> O	gua
IC	Temperatura interna da edificao controle
ICM	Temperatura interna da edificao com sistema de cultivo com microalga
ICM-ISM	Diferença entre as temperaturas internas da edificao com sistema de cultivo com microalga e a da edificao com sistema de cultivo sem microalga
ISM	Temperatura interna da edificao com sistema de cultivo sem microalga
ISM-IC	Diferença entre as temperaturas internas da edificao com sistema de cultivo sem microalga e a da edificao controle
LEA	Lipid Extracted Algae (Alga depois de extraído o lipídeo)
MDF	Medium Density Fiberboard (Placa de fibra de madeira de média densidade)
PNDR	Proteínas Não Degradadas no Rumem
NO	Monóxido de nitrogênio
O <sub>2</sub>	Oxignio
PVC	Polyvinyl Chloride (Policloreto de Vinila)
SO <sub>2</sub>	xido de enxofre

## RESUMO

As propriedades observadas nas microalgas podem auxiliar na resolução de grandes problemas enfrentados pela humanidade, como a fome, escassez de energia, fertilização dos solos, poluição do ar e da água, além de produzir excelentes suplementos alimentares e princípios ativos para cosméticos. Tudo isto é possível graças ao processo otimizado de fotossíntese e ao baixo gasto energético das microalgas. Como são cultivadas em meio aquoso é possível a produção dessas soluções em lugares não propícios para a produção de alimentos como o nordeste brasileiro. Nos países de clima temperado, onde a maioria dos estudos sobre microalgas são desenvolvidos, não é possível realizar um cultivo em larga escala, porém em clima tropical este problema não existe. Neste trabalho será abordado o tema da redução da temperatura interna de edificações usando as microalgas. O sistema de cultivo será acoplado à edificação de modo a tampar parte desta, evitando a incidência solar direta nas paredes da edificação, devido às microalgas, o sistema de cultivo também não será aquecido em demasia por causa da fotossíntese, que absorverá parte da energia luminosa e a converte em compostos orgânicos. Foram realizados testes para identificar a influência do sistema de cultivo e a influencia das microalgas na temperatura interna. Foi observada uma diferença média de  $2,6^{\circ}\text{C}$  relativa ao sistema de cultivo e de  $0,5^{\circ}\text{C}$  relativa às microalgas. Estes resultados dizem respeito a um protótipo miniaturizado, no entanto os efeitos do aumento de escala, descritos no trabalho, são por demasiado complexos para serem abordados, no entanto mostrou-se que as microalgas atuaram de forma positiva na redução da temperatura do ambiente testado. Esta conclusão abre possibilidade para a exploração de novos estudos, em escalas maiores para analisar os efeitos comparativamente.

Palavras-chave: Fotobiorreator. Regulação térmica de edifícios. Microalgas. Radiação solar.

## ABSTRACT

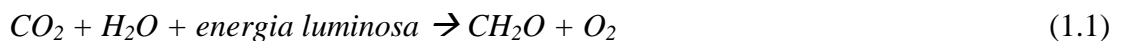
The properties observed in microalgae can assist in solving major problems facing humanity, such as hunger, energy shortages, soil fertilization, air and water pollution, as well as producing excellent dietary supplements and active principles for cosmetics. All this is possible thanks to the optimized process of photosynthesis and low energy expenditure of microalgae. How are grown in an aqueous medium to produce these solutions in places not conducive to food production as the Brazilian Northeast is possible. In temperate countries, where most of the studies on microalgae are developed, you can not hold a large-scale cultivation, but in tropical climates this problem does not exist. This paper will address the issue of reducing the internal temperature of buildings using microalgae. The cultivation system will be attached to the building in order to cover part of it, avoiding direct sunlight on the walls of the building, due to microalgae cultivation system will also not be heated too much because of photosynthesis, absorbing part of the light energy and converts it into organic compounds. Tests were conducted to identify the influence of the culture system and the influence of microalgae in the internal temperature. A mean difference of 2.6 ° C relative to the cultivation system and 0.5 ° C was observed on the microalgae. These results relate to a miniaturized prototype, but the effects of scaling, described in the working are by far too complex to be addressed, however it was shown that microalgae acted positively in reducing the tested room temperature. This finding opens the possibility for the exploration of new studies on larger scales to analyze comparatively effects.

Keywords: photobioreactor. Thermal regulation of buildings. Microalgae. Solar radiation.

# 1 INTRODUÇÃO

As microalgas e cianobactérias, por terem propriedades parecidas para as aplicações pretendidas neste trabalho, serão denominadas apenas por microalgas. As microalgas são organismos unicelulares, fotossintetizantes que, pelo seu metabolismo simplificado, conseguem produzir e armazenar compostos energéticos com eficiência. Este metabolismo simplificado se deve ao fato de as microalgas não possuírem estruturas complexas como caule, raiz e folhas. Estas estruturas evoluíram nas plantas mais complexas para colonização das terras, pois, a fotossíntese precisa acontecer em meio aquoso, nos solos este meio não acontece espontaneamente em todos os lugares. Portanto para colonizar as terras as plantas abdicaram de parte da energia absorvida do sol para alimentar estruturas que absorviam água e nutrientes do solo e os conduziam aos locais onde estavam os raios solares.

A fotossíntese, uma reação química endotérmica, transforma gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e energia solar em glicose e outros hidrocarbonetos ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Estes hidrocarbonetos são usados na produção de proteínas, que compõem a célula, no armazenamento energético na forma de lipídeos e carboidratos e na reprodução celular. Além disso a fotossíntese produz oxigênio ( $\text{O}_2$ ), que volta a compor o ar atmosférico. Esta reação pode ser descrita como mostrado abaixo na Equação (1.1).



O gás carbônico é usado como fonte de carbono para a produção de compostos orgânicos complexos, como proteínas, carboidratos e lipídeos. Cada um desses compostos é de grande importância para os organismos heterotróficos, que não produzem o próprio alimento, como nós, seres humanos e toda a vida animal. A fotossíntese pode ser considerada a reação química mais importante para a vida, pois ela gera praticamente todos os alimentos que consumimos e quase toda a energia usada pelo ser humano. A glicose gerada é uma molécula altamente energética que pode ser consumida por praticamente todos os animais e plantas do planeta. Além disso, ela é a responsável pela produção de todo o oxigênio da nossa atmosfera, possibilitando a vida.

Como as microalgas permaneceram no meio aquoso toda a energia absorvida do sol é armazenada na forma de compostos orgânicos e usada na reprodução celular. Por isto as microalgas são os organismos fotossintetizantes de mais alta reprodução e acúmulo de matéria orgânica, o que faz este tipo de organismo ser de grande produtividade. Este fato torna as microalgas as melhores fontes de óleos para os biocombustíveis, proteínas para alimentação animal e humana e outros compostos que podem ser usados em cosméticos, em suplementos alimentares e em fármacos.

As microalgas também são responsáveis pela absorção de grande parte do gás carbônico que é emitido na atmosfera pelos processos de respiração, decomposição e combustão. Além disso, elas são responsáveis pela formação da atmosfera de oxigênio que propiciou a vida animal como a conhecemos.

As microalgas são a base da cadeia alimentar aquática e de alguns animais terrestres, participam do processo de reciclagem do carbono para ser utilizado pelos animais e da reciclagem dos minerais, pois estes são varridos pelas chuvas e acabariam caindo nos oceanos se não fosse a ação das microalgas. O consumo desses minerais pelas microalgas os devolve à cadeia alimentar e proporciona o retorno deles a terra.

Como as microalgas são cultivadas em água, é possível utilizar áreas que não são propícias à agricultura, como as do nordeste brasileiro e a superfície dos oceanos em seu cultivo, além de facilitar o controle do meio de cultivo, este controle pode ser feito de forma automatizada. Para isto precisamos apenas de água, gás carbônico e minerais. A reposição da água é feita em pequena quantidade e é relativa à perda na reação de fotossíntese e na evaporação, portanto este é considerado um cultivo de baixo consumo de água. As fontes de carbono podem ser quaisquer processos de combustão estacionários que a emissão possa ser canalizada para o cultivo de microalgas, evitando, assim que estes gases poluam a atmosfera.

Por esta série de fatores as microalgas pode solucionar vários problemas relacionados à nutrição animal, à nutrição humana, à nutrição do solo, aos cosméticos, à saúde humana, às energias alternativas, à poluição do ar e da água. Abordaremos cada um destes aspectos mais à frente.

Os nossos motores à combustão interna são capazes de usar etanol, biodiesel, hidrogênio, óleo ou metano para o seu funcionamento. O metano pode ser obtido a partir da



biodigestão de praticamente qualquer matéria orgânica, originária primeiramente da fotossíntese. O etanol pode ser obtido pela fermentação alcoólica direta da glicose ou pela indireta de alguns carboidratos de cadeias pequenas. O biodiesel pode ser obtido pela reação de óleos com álcoois chamada transesterificação. Usando essas três transformações qualquer matéria orgânica pode ser convertida em combustível para os motores atuais. No caso do óleo, não é necessária nenhuma transformação no combustível, porém adaptações nos motores de ciclo diesel são requeridas (Guerra, et al., 2010), (Faria, et al., 2007). Com isso não precisaríamos depender da extração de petróleo.

As microalgas apresentaram potencialidades no processo de obtenção de biocombustíveis. Em relação às oleaginosas apresentam custo relativamente baixo para transporte e colheita, possui maior eficiência fotossintética, são eficientes fixadoras de CO<sub>2</sub> e ainda, algumas espécies, podem ser cultivadas em meio salino. Sua característica unicelular assegura uma biomassa homogênea diminuindo assim a obtenção de resíduos e ainda elevando a produção de lipídeos de acordo com a espécie. (Morais, 2011)

## **1.1 Microalgas no Mundo**

Nas pesquisas relacionadas aos biocombustíveis renováveis e outras possibilidades de solução de problemas ambientais, alimentares e de desigualdade social, as microalgas se destacam por terem potencial de atuar em todas essas áreas, pois qualquer pessoa pode produzir, depende apenas do sol e de compostos minerais baratos, o gás carbônico pode ser obtido do ar ou de alguma fonte de emissão estacionária como motores, termoelétricas, cimenteiras, dentre outras. O cultivo de microalgas não compete com a produção de alimentos, pois não necessita de solo fértil, além de usar água doce ou salgada, podendo ser cultivadas no mar ou nas águas salobras do Nordeste brasileiro, região desfavorável para produção agrícola. Apesar de usar água como meio de cultivo, as microalgas não são grandes consumidoras de água, pois a sua perda se dá apenas pela reação de fotossíntese e pela evaporação. Depois do processo de filtração do meio de cultivo para

colher as microalgas, a água pode retornar para os tanques para alimentar o próximo cultivo, retornando, assim, os minerais que sobraram na água.

Em (Chisti, 2007) é feita uma comparação da produção de biodiesel a partir do óleo de várias fontes, mostrando que a produção de óleo por microalgas é muito vantajosa quando se leva em conta a quantidade de óleo gerada por área necessária para o cultivo. A Tabela 1, que foi adaptada de (Chisti, 2007), mostra a vantagem da produção de óleo por microalgas, a necessidade de área de cultivo, mesmo no pior caso, em que é produzindo apenas 30% de óleo por biomassa seca, é 10 vezes menor que a do dendê, a mais produtiva oleaginosa usada comercialmente. Por serem cultivos de climas tropicais e por não ter estações frias no Brasil, a produção é possível durante todo o ano, e a maior intensidade solar permite uma maior profundidade dos meios de cultivo em relação aos cultivos de regiões temperadas e uma maior produtividade.

Tabela 1 - Rendimento e área necessária para abastecimento de 50% dos combustíveis dos EUA

Cultura	Rendimento em óleo (L/ha) <sup>a</sup>	Área necessária (M ha) <sup>a</sup>
Milho	172	1540
Soja	446	594
Canola	1190	223
Pinhão manso	1892	140
Macaúba	2689	99
Dendê	5950	45
Microalga (70%) <sup>b</sup>	136900	2
Microalga (30%) <sup>c</sup>	58700	4.5

Fonte: (Chisti, 2007)

<sup>a</sup> Para o fornecimento de 50% do combustível necessário nos EUA

<sup>b</sup> 70% de óleo por kg de biomassa seca

<sup>c</sup> 30% de óleo por kg de biomassa seca

Ainda em (Chisti, 2007) podemos ver a Tabela 2 que mostra o conteúdo em óleo por biomassa seca de acordo com a espécie de microalga cultivada sem limitação de nutrientes. A limitação de nitrogênio no meio de cultivo faz com que as microalgas reduzam a produção de proteínas diminuindo a reprodução celular, porém gera um aumento da produção

de lipídeos, aumentando a concentração de óleo por biomassa seca. Dessa forma um cultivo feito em duas etapas poderia ter uma primeira fase de crescimento populacional, com abundância de nutrientes e uma segunda fase de concentração de lipídeos, com uma deficiência em nitrogênio, com isso conseguiríamos uma maior produção de óleos para serem usados como biocombustíveis. Para isso é necessária uma medição precisa dos componentes do meio de cultivo e um conhecimento aprofundado da microalga a ser cultivada. Desta forma pode ser calculada a concentração ideal de nitrogênio inserida no meio para que este falte no momento certo do crescimento populacional das microalgas, propiciando assim o acúmulo de lipídeos.

Tabela 2 - Conteúdo em óleo da biomassa seca de algumas espécies de microalgas em cultivo sem privação de nutrientes

Microalga	Conteúdo em óleo (% de óleo por biomassa seca)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella</i> sp.	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20-35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia</i> sp.	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50-77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

Fonte: adaptada de (Chisti, 2007)

Grande parte dos estudos elaborados até hoje sobre microalgas são originários de países com clima temperado, este fato tem colocado, de forma errônea, as culturas de microalgas como inviável para algumas aplicações como os biocombustíveis. Porém os motivos que inviabilizam as microalgas nos países de clima temperado são as baixas temperaturas e a baixa incidência solar.

Temperaturas abaixo de 20°C diminuem consideravelmente o metabolismo das microalgas, desta forma elas ficam incapazes de realizar a fotossíntese, que converte energia luminosa, gás carbônico e água em glicose, porém estas baixas temperaturas estão presentes em quase metade dos meses do ano nas regiões de clima temperado, inviabilizando as microalgas em metade do tempo de cultivo. Portanto as conclusões de que as microalgas são inviáveis para a produção de biocombustíveis só é válida para este clima.

A baixa incidência solar afeta a produtividade por causa da redução da energia luminosa que incide na superfície dos meios de cultivo, o que reduz a velocidade da reação de fotossíntese, a reprodução celular e a produção de matéria orgânica.

Estes dois efeitos combinados, baixa temperatura e baixa incidência solar, fazem com que as regiões de clima temperado não alcancem uma produtividade satisfatória que, como sugerem os estudos, inviabilizam as microalgas para produção de compostos de menor valor comercial.

Algumas comunidades africanas utilizam a *Spirulina* como fonte de proteína há séculos no Lago Chade localizado na África e no México. Porém o cultivo foi iniciado apenas em 1966 (Habib, et al., 2008). Das 30000 espécies que acreditamos existir, apenas algumas milhares são mantidas em coleções, algumas centenas são investigadas em sua composição química e apenas algumas são cultivadas em larga escala (Gouveia, et al., 2008).

Alguns países com cultivo de microalgas em escala são a China, os Estados Unidos, Israel, Índia, alguns países da Europa e mais recentemente, o Brasil. Porém o Brasil é o único país, de escala continental, com água em abundância e que se encontra na faixa tropical do mundo, o que representa a vantagem de poder produzir durante todo o ano, com os requisitos de temperatura sempre atendidos. Como a incidência de radiação solar é mais direta, pode ser possível aumentar a profundidade do cultivo, do tipo lagoa aberta em formato de pista de corrida, para além dos 30cm sugeridos na literatura dos países de clima temperado, o que aumentaria a produtividade, porém essa pesquisa não está no escopo do presente trabalho. Algumas empresas que trabalham com microalgas são listadas na Tabela 3 (Cruz, 2011), suas localidade aproximadas podem ser vistas na Figura 1. Na mesma Figura 1 pode ser vista em destaque a faixa tropical do nosso planeta, onde o Brasil se encontra de maneira privilegiada em área e recursos hídricos, sendo o melhor lugar do mundo para o cultivo em larga escala de microalgas. O norte da Austrália não é uma opção interessante por causa da falta de água, pois naquela região existe um deserto seco. O sul da Índia é um lugar também muito utilizado para esse tipo de cultivo. Alguns países da América Latina, da África subsaariana e a Indonésia também possuem localizações estratégicas para este tipo de produção

Tabela 3 - Empresas que utilizam microalgas, suas localidades e produtos.

Empresa	Tecnologia	Localidade	Mercados/Produtos
Algatech	Reatores tubulares fechados	Israel	Nutrição e saúde
Algenol	Reatores fechados, organismos geneticamente modificados	EUA (Florida)	Biocombustíveis, Produtos químicos
Aquaflow	Extratores e processamento	Nova Zelândia	Tecnologia
Astaxa	Reatores fechados	Alemanha	Nutrição e Saúde, Biocombustíveis
Aurora Algae	Tanques otimizados hidrodinamicamente, sistemas de controle em tempo real, espécies selecionadas	EUA (Califórnia), Austrália	Nutrição e Saúde, Biocombustíveis
Bionavitas	Tecnologia de imersão de Luz (LTI) – cilindros acrílicos	EUA	Tecnologia
Bodega Algae	Fotobiorreatores fechados	EUA	Tecnologia
Cyanotech	Tanques abertos	EUA (Havaí)	Nutrição e Saúde
LiveFuels	Sistemas naturais de crescimento. Uso de peixes para coleta de algas	EUA	Tecnologia
Origin Oil	Reatores fechados, tecnologia proprietária de extração	EUA (Califórnia)	Biocombustíveis
PetroAlgae	Tanques abertos, tecnologia proprietária de separação	EUA (Flórida)	Biocombustíveis, Proteínas
Sapphire Energy	Reatores fechados	EUA (Califórnia)	Biocombustíveis
Seambiotic	Solução para otimizar crescimento em tanques abertos	Israel	Tecnologia
Solazyme	Reatores fechados, cultura heterotrófica, organismos geneticamente modificados	EUA (Califórnia)	Nutrição e Saúde, Biocombustíveis, Produtos Químicos
Solix Biosystems	Reatores fechados flutuantes (Painéis Lumian™)	EUA (Colorado)	Tecnologia/FBR
Synthetic Genomics	Organismos geneticamente modificados	EUA	Tecnologia

Fonte: (Cruz, 2011)

Figura 1 - Mapa mundi com marcação de empresas que cultivam microalgas e destaque da faixa tropical



Fonte: do autor

O mundo está passando por uma crise energética sem precedentes, pois estamos com o consumo acelerado e a produção de energia, principalmente proveniente do petróleo em desaceleração e nos próximos anos o prognóstico é de queda de produção. As microalgas surgem, neste cenário, como possíveis fontes de combustíveis para substituir as fontes fósseis.

## 1.2 Microalgas no Brasil

O Brasil é o melhor lugar para o cultivo de microalgas do mundo, pois se encontra em uma região de clima tropical, possui dimensões continentais e abundância em água.

O fato de ser uma região de clima tropical é importante por causa da temperatura e da incidência solar. A temperatura afeta o metabolismo das microalgas, portanto uma temperatura muito fria impede que a microalga absorva energia do sol e a transforme em matéria orgânica. A incidência solar afeta o tempo de exposição aos raios solares e a penetração da energia no meio de cultivo.

A área necessária para produção de microalgas, apesar de pequena poderia ser um problema em países menores, porém no Brasil podemos utilizar áreas que não são exploradas, possibilitando a utilização econômica destas áreas, o que possibilita levar desenvolvimento para locais que antes não tinham meios de se sustentar.

Apesar de ser um cultivo de baixo consumo de água, é necessário um grande volume deste recurso para a produção de microalgas. Portanto precisamos de lagoas específicas para manter o movimento das microalgas e manter essas lagoas cheias. A água é reutilizada após a retirada das microalgas, portanto as perdas acontecem apenas pela evaporação e pela reação de fotossíntese, portanto a reposição de água é pequena.

Os estudos sobre microalgas no Brasil estão sendo feitos em poucos lugares, dentre eles os que se destacam são o NPDEAS na Universidade Federal do Paraná, um departamento da EMBRAPA, uma unidade da Petrobras em parceria com diversas universidades e mais recentemente o LABBIO/SEVA na Universidade Federal de Minas Gerais.

O NPDEAS, que não se localiza em uma área muito propícia para grandes cultivos abertos, por ser uma área de clima temperado, foca mais em fotobiorreatores fechados.

O departamento de microalgas da EMBRAPA foi criado em 2012, portanto não tem ainda muitas pesquisas desenvolvidas, mas é um local promissor para grandes projetos.

A Petrobras tem uma unidade em Extremos, no Rio Grande do Norte, com a finalidade de mitigar os efeitos da água de lavagem de petróleo, portanto não voltada para produção em escala. Mas a Petrobras tem parceria com grandes universidades com laboratórios montados na Universidade Federal de Viçosa, na Universidade Federal Fluminense e na Universidade Federal do Rio Grande Do Sul.

No LABBIO temos o presente projeto em parceria com a SEVA Engenharia Eletrônica, que possivelmente se desdobrará em novos projetos.

Portanto são necessárias de novas frentes de pesquisa na área para abranger a vasta gama de possibilidades que as microalgas podem proporcionar para o Brasil, como será mostrado no Capítulo 2.

### **1.3 Motivação**

Neste trabalho foi proposta uma forma de usar as microalgas na cobertura de edificações para reduzir a temperatura interna destas. Este tipo de utilização das microalgas possibilitaria, além da redução da temperatura interna, diminuindo os gastos com condicionamento de ar, a produção de matéria orgânica que pode ser usada de diversas formas, dependendo da finalidade da edificação. Uma delas é a produção de energia elétrica a partir da decomposição anaeróbica, sem contato com oxigênio, desta matéria orgânica e da queima do biogás proveniente desta decomposição. Com isto é possível gerar uma economia de energia para a edificação e, possivelmente, a devolução de parte dessa energia para a rede de distribuição. Outra possibilidade é a produção de óleo para geração de energia elétrica e de proteína para alimentação de animais ou mesmo humana.

### **1.4 Metodologia**

Para tanto apresentamos quatro objetivos, sendo o primeiro a definição do sistema de cultivo que será usado na edificação. O segundo é o projeto de um protótipo para os testes necessários. O terceiro é a elaboração dos testes e a coleta dos dados a serem analisados. O quarto é a análise destes dados e o levantamento de hipóteses para explicar os fatos observados.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

Neste primeiro capítulo foi abordado um panorama geral das microalgas no mundo, veremos os objetivos deste trabalho. No segundo capítulo será mostrada a revisão



bibliográfica, realçando as bases para entendimento do estudo que se segue, o caminho trilhado na decisão de abordar o tema do trabalho, o que tem sido feito e estudado neste assunto que trará benefícios em médio e longo prazo para a melhoria de vida das pessoas e as motivações que foram precursoras dos caminhos a seguir. No capítulo três será abordada a descrição do protótipo, de forma detalhada. No capítulo quatro será descrito o experimento proposto. No capítulo cinco serão discutidos os resultados obtidos e levantadas hipóteses sobre os fatos observados. No capítulo seis será concluída a dissertação abordando o estudo proposto neste trabalho, as dificuldades observadas, seguido das sugestões de trabalhos futuros.

No presente trabalho foi abordado o tema das microalgas de maneira mais detalhada para introduzir alguns conceitos, pois é sabido que poucas pessoas, principalmente nas engenharias, têm alguma familiaridade com o assunto. O intuito nesse sentido é de abrir a porta para novas pesquisas nessa área que poderá ser de grande importância em um futuro próximo para o mundo e em especial para o Brasil, por causa do paradigma energético que estamos enfrentando e que se intensifica. Ficando o Brasil com o papel de grande produtor mundial de biocombustíveis e proteína para alimentação.

Além disso, será mostrada uma forma de utilização das microalgas que possibilitará a redução do consumo energético em condicionamento de ar, e um possível aproveitamento da biomassa para produção de energia elétrica e de outros produtos de valor comercial como proteínas, antioxidantes, óleos essenciais e fármacos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O cultivo das microalgas é feito em meio aquoso, pois elas captam os nutrientes, a luz e o carbono necessários da água. Para cultivar microalgas é importante fornecer a elas os insumos necessários para o seu desenvolvimento. Estes insumos precisam estar disponíveis para cada célula presente no meio de cultivo, portanto precisamos de agitação constante, controle dos nutrientes disponíveis, injeção de CO<sub>2</sub> durante o período iluminado, temperatura controlada e fonte de luz.

A homogeneidade do meio é importante para que as microalgas tenham acesso aos sais minerais durante todo o seu crescimento. A agitação constante é necessária para manter uma homogeneidade no meio, tanto de microalgas, evitando sua deposição, quanto de nutrientes, CO<sub>2</sub> e luz, fazendo com que todas as células tenham contato direto com os insumos necessários para o seu desenvolvimento.

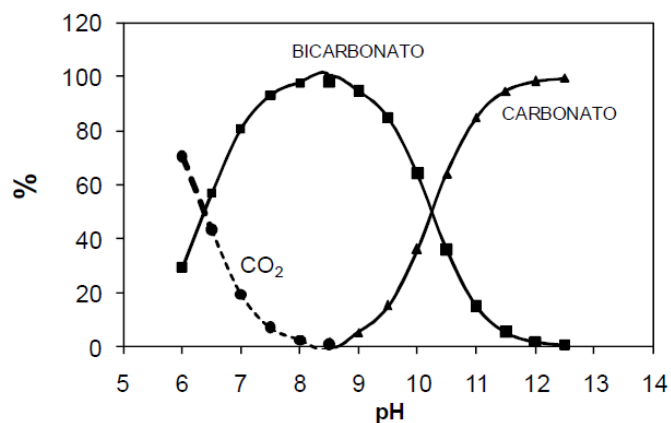
A luz é um dos fatores mais importantes no controle do cultivo de microalgas, pois constantemente é o fator limitante para o crescimento da cultura. Os comprimentos de onda necessários para a realização da fotossíntese estão entre 400 nm e 700 nm, o que corresponde a 43% de toda a emissão de fótons do Sol (Janssen, 2002). O fator mais relevante para este controle é a profundidade de penetração da luz no meio de cultivo, esta profundidade pode ser menos que 1 cm em cultivos densos. Portanto para proporcionar a ativação de cada célula é necessária a exposição delas à luz, esta exposição só acontece em um meio agitado.

Outro fator importante é a fonte de carbono, pois as microalgas consomem o gás carbônico diluído rapidamente, sendo necessária uma injeção constante desse gás no meio de cultivo para que ele não seja um fator limitante do crescimento. A injeção constante de CO<sub>2</sub> durante o período iluminado é necessária, pois este insumo é consumido rapidamente pelas microalgas durante o crescimento populacional e também durante a acumulação de lipídeos. Porém durante o período escuro a injeção de CO<sub>2</sub> tornaria o meio de cultivo ácido, o que causaria a morte celular das microalgas, portanto a injeção de CO<sub>2</sub> só pode acontecer no período iluminado. Este controle pode ser facilmente determinado pela medição do pH do meio de cultivo.

Em (Radmann, et al., 2008) é mostrada a utilização dos gases de exaustão  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}$  diretamente no cultivo de microalgas sem prejuízo em produtividade, o que possibilita a utilização de gases provenientes da queima de combustíveis, fósseis ou não, sem prévio tratamento, como fonte de carbono. Uma mistura desses gases é emitida em todos os processos de queima que usamos industrialmente, o que possibilita o uso direto destas fontes no cultivo de microalgas. A fonte de luz, que para cultivos em larga escala precisa ser o sol, pois é necessária uma grande quantidade de luz para alimentar o cultivo, também é de grande importância, pois a utilização de outra fonte de luz seria onerosa monetariamente e em recursos.

Outra fonte de carbono que pode ser utilizada no cultivo são os carbonatos e bicarbonatos. Em meio aquoso, o  $\text{CO}_2$ , o bicarbonato e o carbonato estão em equilíbrio dinâmico, sendo que a célula absorve usualmente o bicarbonato, o principal fator que desloca o equilíbrio dinâmico entre estes três compostos é o pH, sendo que a faixa de predomínio do  $\text{CO}_2$  é a de pH menor que 6,5, a fase de predomínio de bicarbonato é de 6,5 a 10, os carbonatos estão em maior quantidade com pH maior que 10. Portanto um controle de pH pode ser usado para manter o pH na faixa de 7 a 9 para um máximo aproveitamento do carbono pelas células (León, 2010). Como pode ser visto no gráfico da Figura 2.

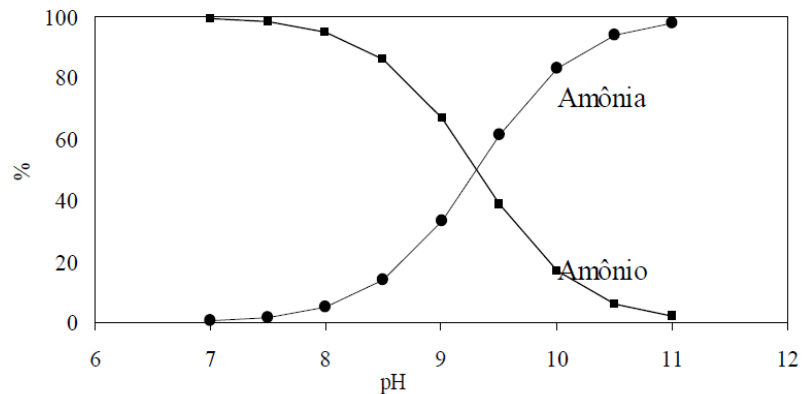
Figura 2: Concentrações relativas de gás carbônico, bicarbonato e carbonato (%) em função do pH



Fonte: (León, 2010)

O controle do pH é importante também para a manutenção do nitrogênio no meio de cultivo. Uma das fontes de nitrogênio para síntese proteica das microalgas é a amônia. O equilíbrio dinâmico entre a amônia e o íon amônio está mostrado na Figura 3. Sabemos que a amônia é muito volátil, portanto para manter o nitrogênio na água é necessário converter a amônia em amônio, portanto manter o pH entre 7 e 8.

Figura 3: Porcentagem de amônia e amônio em função do pH.



Fonte: (León, 2010)

Os nutrientes necessários para o cultivo de *Spirulina platensis* são mostrados nas tabelas de Tabela 4 a Tabela 6, corresponde ao meio Schlösser mostrado em (León, 2010). Esta é uma das concentrações de nutrientes usada como referência para a formulação dos meios de cultivo, no entanto muitos destes nutrientes já se encontram na água naturalmente, restando a nós acrescentar apenas alguns macro nutrientes. Porém a análise da água precisa ser feita para identificação dos nutrientes faltantes.

Tabela 4: Nutrientes necessários para formulação do meio Schlösser.

Nutriente	Quantidade por litro
NaHCO <sub>3</sub>	13,61g
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4,03g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,50g
NaNO <sub>3</sub>	2,50g
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,00g
NaCl	1,00g
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,20g

CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,04g
PIV (Solução de metais)	6mL
Chu (Solução de micronutrientes)	1mL
Vitamina B <sub>12</sub> (15µg/100mL H <sub>2</sub> O)	1mL

Fonte: (León, 2010)

Tabela 5: "PIV" Solução de metais

Nutriente	Quantidade por litro
Na <sub>2</sub> EDTA	750mg
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	97mg
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	41mg
ZnCl <sub>2</sub>	5mg
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	2mg
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	4mg

Fonte: (León, 2010)

Tabela 6: "Chu" Solução de micronutrientes

Nutriente	Quantidade por litro
Na <sub>2</sub> EDTA	50,0mg
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	618,0mg
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	19,6mg
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	44,0mg
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	20,0mg
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	12,6mg
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	12,6mg

Fonte: (León, 2010)

Outro controle importante que precisamos ter no cultivo de microalgas é o da temperatura. O metabolismo das microalgas está diretamente relacionado com a temperatura, abaixo de 20°C o metabolismo é quase nulo, enquanto entre 35 e 38°C é o mais acelerado possível (Habib, et al., 2008). Um metabolismo acelerado possibilita a realização da fotossíntese na fase iluminada, porém, na fase sem luz acelera também o consumo das reservas acumuladas, já o baixo metabolismo, apesar de consumir menos reservas no período escuro, prejudica a fotossíntese diminuindo a reprodução celular e a produção de lipídeos. Portanto o cenário ideal seria com temperaturas altas durante o período iluminado, em torno de 35°C, e temperaturas baixas durante o período sem luz, por volta de 20°C, no entanto esta variação de temperatura em um meio de alta inércia térmica, como a água, é de difícil

obtenção, portanto é interessante manter a temperatura perto de  $28\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Por isto as microalgas são cultivadas apenas em estações quentes do clima temperado, em clima tropical elas podem ser cultivadas durante todo o ano, pois o controle da temperatura é feito naturalmente pelo sol.

## 2.1 Produtos e aplicações das Microalgas

Algumas das possibilidades de produtos que podem ser extraídos das microalgas são mostradas na Tabela 7. Nesta tabela podemos ver a grande variedade de possibilidades de produtos que as microalgas podem proporcionar, em seguida explicaremos de forma mais detalhada alguns deles.

Tabela 7 - Produtos de microalgas

	<b>Produtos</b>	<b>Aplicações</b>
Biomassa	Biomassa	Alimentos naturais Alimentos funcionais Aditivos alimentares Aqüicultura Condicionador de solo
Corantes e Antioxidantes	Xantofilas (Astaxantina e Cataxantina) Luteína Beta caroteno Vitaminas C e E	Aditivos alimentares  Cosméticos
Ácidos Graxos	Ácido araquidônico – ARA Ácido eicosapentaenoico – EPA Ácido docosaenoico – DHA Ácido gama-linolênico – GGA Ácido linoleico - LA	Aditivos alimentares
Enzimas	Superóxido dismutase – SOD Fosfoglicerato quinase – PGK Luciferase e Luciferina Enzimas de restrição	Alimentos naturais Pesquisa Medicina
Polímeros	Polissacarídeos Amido Ácido poli-beta-hidroxibutírico – PHB	Aditivos alimentares Cosméticos Medicina

Produtos especiais	Peptídeos Toxinas Isótopos Aminoácidos (prolina, arginina, ácido aspártico) Esteróis	Pesquisa Medicina
--------------------	--	----------------------

Fonte: Adaptado de (Barbosa, 2003)

### 2.1.1 Nutrição animal

Para nutrição animal as microalgas podem ser usadas como fonte de proteína para ruminantes, suínos, aves, alimento para peixes e crustáceos de interesse comercial. No caso dos ruminantes, as microalgas podem ser consideradas como PNDR (proteínas não degradadas no rumem), pois o tamanho das partículas é suficientemente pequeno para passar diretamente pelo rumem sem sofrer degradação. Além disso, os aminoácidos presentes em algumas espécies de microalgas possuem a composição requerida pelo organismo dos ruminantes, que via de regra, precisam de suplementação de lisina e de metionina. Estes aminoácidos não são produzidos pela flora bacteriana ruminal na quantidade necessária, o que torna o valor nutricional das microalgas extremamente elevado para estes animais. No caso de peixes e crustáceos, as microalgas são um alimento natural, portanto de alta aceitação pelas culturas. Alguns estudos conduzidos envolvendo alimentação animal e maricultura são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Digestibilidade das microalgas para alguns animais

Animal testado	Performance	Digestibilidade
Peixes	Substituição de mais de 10% de proteína de peixe e da proteína concentrada de soja por LEA sem causar redução significativa da performance.	Excelente
Camarão	Pelo menos 20% de mistura de LEA pode ser usado para substituir o caro farelo de soja na alimentação de camarão.	Excelente
Bovinos	Suplementação de LEA estimula a utilização de forragem de maneira semelhante ao farelo de soja em bovinos (100 mg Nitrogênio/kg de peso corporal)	Misturas de LEA e suplementos de proteína
Ovinos	Suplementação de LEA pode ser viável como suplemento de proteínas e minerais para ovinos; no entanto, pode ser aconselhável cautela para as dietas contendo mais do que 20% de	convencionais irá minimizar as preocupações de

	LEA devido a uma ligeira redução no desempenho.	palatabilidade. Não prejudicam a digestão de fibras.
Suíños	O uso de LEA neste caso não é recomendado, pois foram observados redução na taxa de crescimento e em ganho de peso em suplementações de 5 a 20%.	Não palatável
Galináceos	A inclusão de 5% de LEA em dietas de frangos de corte jovens e de galinhas poedeiras pode ser viável.	

Fonte: adaptada de (NAABB, 2014)

### 2.1.2 Nutrição humana

A separação entre a nutrição animal e a humana se dá principalmente por causa dos objetivos de cada uma. A nutrição animal almeja geralmente o ganho de peso e o desenvolvimento acelerado, enquanto a humana visa redução de calorias, melhor digestibilidade e paladar.

Para nutrição e suplementação alimentares humanas as microalgas são usadas como fonte de proteína, antioxidantes, vitaminas, minerais e óleos essenciais. Como fonte de proteína, as microalgas são uma excelente opção, pois são rapidamente absorvidas pelo nosso organismo e o aproveitamento dos aminoácidos é acima de 85%, ao contrário do consumo de carne, em que a absorção depende de grande gasto energético para quebra das moléculas e ainda tem uma porcentagem próxima de 30% de absorção (Habib, et al., 2008). Esta alta absorção se dá por causa do menor tamanho das proteínas de microalgas, o que facilita o processo de digestão e por consequência a absorção dos aminoácidos. Em relação aos vegetais a absorção também é maior, pois os vegetais possuem celulose em sua parede celular, as microalgas usadas para alimentação humana não possuem parede de celulose (Habib, et al., 2008).

Dentre os antioxidantes fornecidos pelas microalgas se encontram o beta caroteno e a astaxantina. Eles atuam no nosso corpo eliminando o oxigênio reativo, que pode danificar proteínas ou o DNA de uma célula, podendo causar mutações e doenças degenerativas. Essas reações de oxidação são as responsáveis pelo processo de envelhecimento das nossas células,



portanto os antioxidantes atuam como agente antienvhecimento (Aoi, et al., 2003). A astaxantina, por causa de sua estrutura molecular, que tem uma hidroxila adicional, tem maior facilidade de se ligar à água. Isto facilita a penetração em tecidos que nenhum outro antioxidante tem acesso, como o interior do cérebro, algumas partes do olho e a superfície da pele, estendendo seus efeitos a estes tecidos (Aoi, et al., 2003).

Os antioxidantes também podem ser usados no formato de cremes para aplicação cutânea, o que melhora as condições da pele em todas as suas camadas. A redução dos processos de oxidação evita a morte celular, amenizando as rugas, as marcas de idade e melhorando a textura da pele (Tominaga, et al., 2012).

Uma grande quantidade de vitaminas são encontradas nas microalgas, como a B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D e E. Os minerais presentes nas microalgas são cálcio, cromo, cobre, ferro, fosforo, magnésio, manganês, potássio, selênio, sódio e zinco (Habib, et al., 2008).

Os óleos essenciais, como Ômega 3, 6 e 9, são muito importantes para a saúde humana, atuam na prevenção e no tratamento de doenças como aterosclerose, arritmia cardíaca, artrite reumatoide e câncer, reduzem a pressão arterial, os níveis de colesterol e de triglicerídeos no plasma (Bianchini, et al., 2006).

As microalgas também podem ser usadas como corantes naturais, o beta caroteno, extraído da microalga *Dunaliella salina*, pode ser usado como corante amarelo (Priyadarshani, et al., 2012), a clorofila, presente na maioria das microalgas, como corante verde e a astaxantina, produzida pela *Haematococcus pluvialis*, como corante vermelho (Ozório, 2007).

### 2.1.3 Biofertilizantes

As microalgas também podem ser usadas como fertilizantes de liberação lenta, pois ao metabolizar os nutrientes eles são aprisionados em estruturas moleculares mais complexas que levam um tempo maior para serem quebradas e liberar os minerais no solo. A vantagem disso é que o agricultor não precisa fazer várias aplicações de fertilizante, processo necessário quando o mineral é aplicado diretamente no solo, pois em alta concentração esses minerais são tóxicos para o cultivo. Utilizando as microalgas é possível misturar os minerais na fase inicial do plantio e deixar que eles sejam liberados gradualmente, o que evita também

o problema de ter os minerais lavados pela chuva. Além disso, as microalgas são fixadoras de nitrogênio, que em cultivos tradicionais, precisam ser adicionados ao solo artificialmente. As microalgas também liberam substâncias que aceleram a reprodução celular, e portanto aceleram o crescimento das plantas (Priyadarshani, et al., 2012).

#### 2.1.4 Energias alternativas

No caso das energias alternativas, o óleo das microalgas é usado como matéria prima para produção de biodiesel, os outros carboidratos podem ser usados em biodigestores para produção de metano, dois excelentes combustíveis para os motores e geradores que temos disponíveis atualmente. Outra possibilidade é a utilização direta dos óleos nos motores de ciclo diesel (Guerra, et al., 2010), algumas modificações simples são requeridas, pois a diferença de viscosidade e de densidade provocariam problemas de injeção do combustível e uma queima incompleta. Este tipo de queima leva a formação de coque dentro dos motores, o que pode gerar problemas graves no médio e longo prazo.

Com a privação de nitrogênio no sistema de cultivo podemos priorizar a formação de lipídeos para produção de óleo, pois as microalgas se comportam como se estivessem em uma fase de escassez de nutrientes, sua defesa nesse caso é produzir mais lipídeos, com isso conseguimos concentrações de óleo por biomassa seca de 70% (Amaro, et al., 2011).

Uma das vantagens é a não dependência do processo oneroso e centralizado da transesterificação, barateando e simplificando o processo de produção. O processo de transesterificação é centralizado, pois para unidades deste processo serem viáveis economicamente, é necessário um grande volume de produção, o que inviabiliza uma unidade de biodiesel em pequena escala, obrigando os produtores de óleo a venderem sua produção para estas usinas e comprarem o biodiesel pronto. Portanto a utilização de óleo diretamente em motores poderia facilitar em muito a vida de pequenos agricultores, que podem dispor do óleo em sua propriedade, sem precisar de fornecimento externo, ou usar da estrutura de cooperativa para distribuir o óleo coletado ou produzido por eles. Alguns carros poderiam passar a ser produzidos com os motores modificados de forma a aceitar o óleo como combustível. A alteração dos motores para receber o óleo baratearia os custos do combustível, pois retiraríamos uma etapa muito onerosa do processo de produção deste combustível.

Indicações de que o governo brasileiro tem olhado com atenção para os biocombustíveis são os incentivos para a produção, obrigando em janeiro de 2010, a adição de 5% de biodiesel no diesel mineral vendido nos postos de combustível em todo território nacional, esse percentual passou para 7% em novembro de 2014 e tende a crescer nos próximos anos.

Para alimentar o mercado de biodiesel foi usado o óleo de soja, que é coproduto da proteína de soja, usada para exportação, de grande produção no Brasil. No entanto as fontes de óleo tradicionais como, soja, dendê, macaúba, pinhão manso e mamona dependem de grandes extensões de terra para abastecer as necessidades de biodiesel no Brasil, todas elas competem com o cultivo de alimentos, pois necessitam de solo fértil em seu cultivo, solo este que poderia ser usado pela agricultura. Neste cenário as microalgas são um potencial produtor de biodiesel, pois necessitam apenas de água e nutrientes, que podem ser adicionados artificialmente. Os tanques de cultivo podem ser localizados em áreas impróprias para agricultura como o sertão nordestino e algumas outras áreas com solo impróprio para o cultivo de espécies vegetais. Além disso, águas salobras, como em alguns dos lençóis do nordeste, podem ser usadas no cultivo de algumas espécies de microalgas, possibilitando a utilização econômica dessas áreas.

#### 2.1.5 Poluição do ar e da água

As microalgas, no processo de fotossíntese, utilizam o gás carbônico como um dos reagentes, portanto é possível usar fontes emissoras deste gás para alimentar os cultivos. Desta forma a poluição que seria um passivo ambiental se torna um dos componentes mais importantes para a produção de biomassa de microalga. Portanto podemos usar grandes produtores deste gás como fornecedores para os cultivos, como termoeletricas, cimenteiras, dentre outras, reciclando o gás carbônico. Como abordado anteriormente, o estudo de (Radmann, et al., 2008) mostra que esses gases podem ser usados diretamente no cultivo, sem a necessidade de tratamento prévio. As microalgas absorvem o gás carbônico da mistura e deixa que o restante seja despejado na atmosfera. Para cada kg de biomassa de microalgas gerada são necessários de 1,6 a 1,8kg de CO<sub>2</sub>, portanto o cultivo de microalgas é um grande consumidor desse gás.

Este fato abre uma possibilidade muito interessante para a geração de energia elétrica, pois podemos usar o gás carbônico gerado nas termoelétricas para alimentar as microalgas, estas microalgas converteriam energia solar em combustível líquido que poderia ser usado nas próprias termoelétricas na geração de energia. Este ciclo fechado do carbono pode gerar uma termoelétrica sem emissão de gás carbônico, dependendo apenas da eficiência na absorção desse gás pelo sistema de cultivo. No entanto são necessários mais estudos para redução de custo desta solução e para aumentar a eficiência em absorver o gás carbônico. Este tipo de solução pode ser usado em qualquer escala, sendo possível a geração de energia desde pequenos geradores até grandes centrais termoelétricas. No entanto, em questão de custo esta solução compete com energia solar fotovoltaica. Em pequena escala a fotovoltaica tem vantagens se conjugadas com a rede elétrica convencional, mas em larga escala as microalgas seriam mais viáveis, pois possibilitam o armazenamento de energia na forma de óleos para um funcionamento contínuo da unidade termoelétrica.

Para poluição da água podemos usar as microalgas na aceleração da decomposição da matéria orgânica, na absorção de alguns metais em lagoas de rejeito de mineração (Silva, 2011). A aceleração se dá, parte pelo consumo do gás carbônico do meio, que gera uma baixa concentração deste gás na água, parte pelas microalgas mixotróficas, que além de consumir o gás carbônico, consomem também, alguns compostos orgânicos. A remoção de metais, como mostrado por (Silva, 2011) pode ser feita de forma contínua pela microalga *Chlamydomonas sp.* em meio DAM (Drenagem Ácida de Mina), que é o mais grave problema ambiental relacionado à mineração.

A poluição gerada pela agricultura consiste em minerais que são lavados dos cultivos e caem nos leitos dos rios, esses minerais são usados pelos organismos autotróficos gerando uma acelerada reprodução deles, o que gera um desequilíbrio biológico com efeitos muito danosos, chamado eutrofização. Poderíamos usar estes nutrientes para produção controlada de microalgas, evitando a contaminação e o desequilíbrio ambiental dos rios e de seus arredores, e ainda reduzindo o custo de produção das microalgas e seus subprodutos.

#### 2.1.6 Utilização na construção civil

Como mostrado em (Algae Industry Magazine, 2013), um edifício foi construído em Hamburg na Alemanha usando características das microalgas para economia de energia e aquecimento da edificação. A estratégia adotada por eles consiste em usar as janelas da edificação como tanque de cultivo de microalgas, a biomassa é usada em biodigestores para produzir metano, que é queimado gerando energia elétrica, seus gases de combustão são usados para aquecer água e o gás carbônico remanescente é usado como fonte de carbono para o cultivo. Na Figura 4 é mostrada a edificação descrita acima. O projeto desta edificação foi desenvolvido para o clima alemão, o objetivo dele é diferente do proposto neste trabalho, eles precisam proporcionar aquecimento para a edificação, portanto usam a biomassa para gerar energia térmica e elétrica, usadas nas necessidades de aquecimento e energéticas da edificação. No nosso trabalho usaremos outra estratégia, usaremos as microalgas para absorver a luz do sol evitando que as paredes e o teto da edificação sejam aquecidos. Os produtos do cultivo podem ser usados assim como o são na edificação alemã da Figura 4.

Figura 4: Edificação alemã que utiliza Microalgas para aquecimento interno.



Fonte: (archello, 2014)

## 2.2 Sistemas de cultivo

Dois tipos de cultivo em larga escala foram desenvolvidos, os tanques abertos, do tipo pista de corrida e os fotobiorreatores fechados.

Os tanques abertos são de menor custo de construção porém apresentam maiores perdas de água por evaporação, maior probabilidade de contaminação, maior dificuldade de controle da temperatura, que deve se manter entre os 20 e 38°C, o que leva a produtividades pouco superiores que 10g de peso seco/m<sup>2</sup>.dia em clima temperado (Antunes, et al., 2010) (Azeredo, 2012), pois as temperaturas estão, em grande parte do tempo, fora desta faixa. No entanto, em estudo realizado em pequena escala, os dados alcançados por (Cruz, 2011) variam de 22 a 32g de peso seco/m<sup>2</sup>.dia durante todos os meses do ano na região de Caminas. Considerando que o cultivo em clima temperado tem como limitações as baixas temperaturas e a baixa incidência solar, infere-se que a produtividade durante o verão em clima temperado possa superar as projeções iniciais de modo constante em um período anual sob condições climatológicas que configuram um clima tropical. Desta forma é possível alcançar no Brasil dados parecidos com os apresentados por (Cruz, 2011). O tamanho das lagoas está entre 0,5 a 200 ha, sendo a profundidade adotada na literatura dos países de clima temperado de 30 cm. Esta profundidade pode ser aumentada em clima tropical, existem relatos de pessoas que usam cultivos de até 1 m de profundidade para cultivo de spirulina (UEMA, 2012). A Figura 5 mostra tanques do tipo pista de corrida, localizados no Havai/EUA.

As lagoas do tipo pista de corrida têm o seu formato arredondado para facilitar a agitação do meio de cultivo com a utilização de pás rotativas. Este formato auxilia na condução do meio de cultivo. O abaulamento da divisão central em suas extremidades se deve à amenização de uma recirculação de meio que acontece naquele local, evitando assim a deposição de microalgas naquela área.

Figura 5: Cultivo aberto (Raceway)



Fonte: (Cyanotech, 1999)

Os fotobiorreatores consistem em tubos fechados e transparentes, com agitação feita por bombas ou por coluna de bolhas. Estes meios de cultivo são mais usados em pequena escala ou quando se deseja um controle mais preciso das condições da cultura a fim de produzir um composto mais próximo do desejado. É usado também para processos que demandem um maior rigor com o cultivo para evitar contaminações, como na produção de compostos para a indústria farmacêutica e de cosméticos. Para um melhor aproveitamento do gás carbônico, a sua injeção deve ser feita no fluxo descendente do meio de cultivo, para maximizar a diluição. Porém em alguns casos esta injeção é feita junto com a entrada de ar, como na Figura 6. Este método apresenta grandes perdas de gás carbônico, porém é utilizado por necessitar de apenas uma injeção de gás por tanque, tornando a estrutura de cultivo mais barata. Isto é usado quando se tem uma grande oferta de gás carbônico ou quando a produtividade não é um dos requisitos do projeto.

Figura 6: Cultivo fechado (Fotobiorreatores)



Fonte: (Antunes, et al., 2010)

Outro parâmetro importante no cultivo de microalgas é o tempo entre variações de luz e sombra que a microalga sofre ao longo de sua vida, descrito em (Janssen, 2002). Cada célula precisa ter acesso à luz necessária para a realização da fotossíntese, no entanto, em um meio concentrado, a luz é barrada pelas células que a impedem de penetrar na água, o que gera uma região de sombra no interior do meio de cultivo. Por isso é importante que as microalgas sejam agitadas de maneira a expor cada célula a certo tempo de luz para ativação da clorofila, o que desencadeia todo o processo de produção de glicose da célula. Em cultivos densos a penetração da luz pode chegar a 1,4mm (Janssen, 2002), sendo necessárias estratégias de agitação para proporcionar um devido fornecimento de luz para todas as células. Em lagoas abertas de baixa densidade celular a penetração da luz pode chegar a 30cm (Janssen, 2002), com agitação adequada foi estimado que essa profundidade possa ser aumentada para até 50cm, hipótese ainda não testada, sugestão para um trabalho futuro.

### 2.3 Objetivo

A maioria das publicações sobre cultivo de microalgas em larga escala discorre sobre a produção de lipídeos como precursores do biodiesel, algumas falam sobre alimentação



animal e humana, sobre utilizar esgoto doméstico como meio de cultivo, sobre a utilização de alguns compostos gerados a serem usados na produção de cosméticos, porém vi apenas um caso real falando sobre edificações que usam as propriedades das microalgas na solução de alguma demanda construtiva e ambiental, caso este mostrado no capítulo anterior e ilustrado na Figura 4. Portanto foi abordado este tema de maneira a contribuir para mais uma frente de possibilidades de aplicações das microalgas.

A demanda de edificações que foi abordada é a da regulação da temperatura interna em regiões tropicais com o intuito de reduzir a utilização de condicionadores de ar, pois estes são grandes consumidores de energia elétrica. Além disso, é possível a produção de energia elétrica, sendo esta uma solução para redução do consumo de energia proveniente da rede de distribuição, a biomassa gerada poderia ser usada para produção de biogás ou bioóleo e, posteriormente, seriam convertidos em energia elétrica, porém essa geração não faz parte do escopo deste trabalho. O fato relevante para este estudo, é que as microalgas absorvem a energia solar e a convertem em energia química, dessa forma evitando a conversão de parte da luz em calor.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição do protótipo

O protótipo proposto para identificar a influência das microalgas na temperatura interna de edificações consiste em três casas em escala reduzida, feitas em MDF, para facilitar a construção, pintadas com verniz naval para proteção contra chuva, as dimensões são 50 cm x 60 cm x 30 cm, o telhado possui 20 cm de altura com duas águas. Sabemos que não será possível extrapolar esses efeitos para um escala maior, portanto não é pretendida uma análise quantitativa precisa, porém serão mostrados os efeitos qualitativos da estrutura de cultivo e das microalgas na temperatura interna de edificações. A estrutura de cultivo mencionada consiste em todo o aparato usado para cultivar as microalgas, como as mangueiras, conexões, presilhas, a água, as bacias e o sistema de injeção de ar, como serão descritos posteriormente.

Uma das edificações não terá nenhuma estrutura, será o nosso sistema controle para análise da interferência da estrutura de cultivo na variação da temperatura interna, as outras duas edificações terão a estrutura completa de cultivo com funcionamento idêntico, uma delas será o sistema controle para a interferência das microalgas na variação da temperatura, a outra será o cultivo completo. A montagem pode ser vista na Figura 7.

Figura 7: Protótipo inicial



Fonte: do autor

A montagem da estrutura foi feita de forma a cobrir ao máximo a parte superior da edificação com o objetivo de protegê-la da incidência solar. Esta estrutura é composta de mangueiras de PVC transparente de 1½” dispostas lado a lado, ligadas por junções em L dispostas em duplas formando uma conexão em U, como mostrado na Figura 8, uma bomba sopo faz a circulação do meio de cultivo pelas mangueiras, retornando à uma caixa d’água de 150L fechando o circuito. A escolha desse calibre para a mangueira foi feita para facilitar a construção, pois a escala reduzida não permitiria a utilização de maiores calibres. Porém sabemos que o aumento desse calibre aumentaria muito os efeitos da estrutura na temperatura interna das edificações. Analisaremos portanto a existência do efeito de redução da temperatura causado pelas microalgas de forma qualitativa. Investigaremos a existência do efeito de diminuição de temperatura e não a sua quantificação.

Em uma edificação em escala real poderíamos usar qualquer superfície que tenha incidência solar para dispor os tubos de cultivo. Estes tubos seriam de PVC transparente rígido e teriam o diâmetro de 30 a 40 cm, portanto uma espessura maior de meio de cultivo que a apresentada nos testes, poderíamos usar as paredes laterais da edificação como superfícies de cultivo também, aumentando os efeitos de diminuição de temperatura.

Figura 8: Conexão em U usada na ligação das mangueiras



Fonte: do autor

Como a junção em L encontrada para ligar as mangueiras é de cor preta, ela foi coberta por um pano branco para refletir a luz solar e ter uma menor interferência no aquecimento da água, a caixa d'água foi coberta com um pano branco pelo mesmo motivo.

### 3.1.1 Medição de temperatura

Utilizamos o CI LM35A, circuito integrado de medição precisa de temperatura, ele possui conversão linear de temperatura para tensão, uma precisão de  $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$  e uma faixa de leitura de  $-55$  a  $150^{\circ}\text{C}$ . Sua calibração foi feita pela equipe da Intergado, que nos forneceu os sensores prontos para medição.

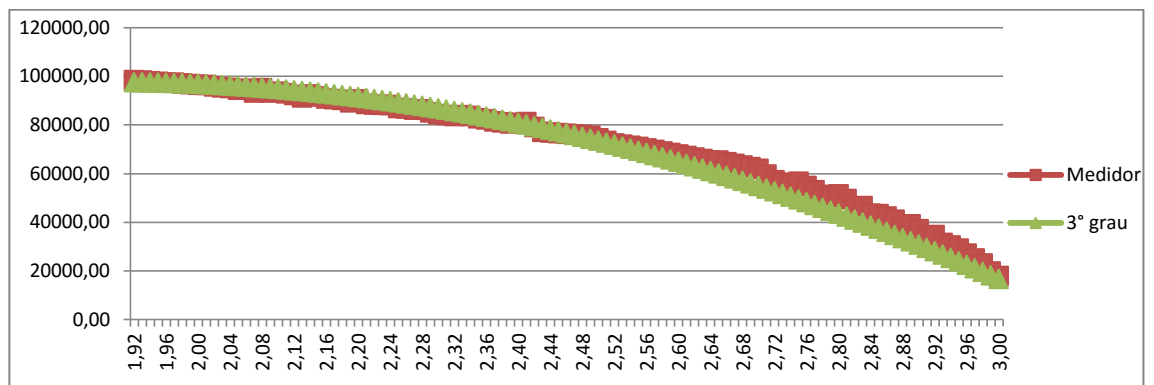
Para medição da temperatura foram utilizados seis LM35A, três para as temperaturas internas de cada edificação, um para a temperatura externa, pois as três edificações estão no mesmo ambiente, portanto compartilhando a mesma temperatura externa, e dois para a temperatura da água das mangueiras, dessa forma possibilitamos a identificação de uma correlação entre estas temperaturas. Instalamos o LM35A usado para medição da temperatura externa envolto em uma camada de teflon branco e em local sombreado para reduzir o aquecimento pela incidência direta de luz solar. Os do interior das edificações, instalamos na parede próxima ao teto. Os termopares das mangueiras, imergimos na água na entrada da mangueira.

A escolha destes pontos foi feita de forma a obter uma comparação entre as temperaturas dos dois cultivos e assim conhecer a condição térmica das microalgas em cada momento, o que ajuda a diagnosticar os dados observados. Foi usado um ponto de medição de temperatura externa para obter uma comparação entre as três temperaturas internas para ligá-las aos dados observados e comparar com os dados de luminosidade. Desta forma podemos observar um grande número de fenômenos e entender o que está acontecendo no protótipo.

### 3.1.2 Medidor de intensidade luminosa

Para medição da intensidade luminosa no ambiente do experimento foi desenvolvido um medidor que utiliza um fotodiodo coberto com camadas de teflon, calibramos este medidor com o Luxímetro MLM 1011 da Minipa. Inserimos o medidor no sistema da Intergado para aquisição em tempo real dos dados de luminosidade. A curva de calibração do sensor produzido pode ser vista na Figura 9.

Figura 9: Curva de calibração do medidor de intensidade luminosa (LUX x Volts de saída)



Fonte: do autor

O fotodiodo usado não permitiu medições em uma ampla faixa, por isso foi priorizada a medição nas faixas de maior luminosidade, as de insolação direta, desconsiderando assim, as medições abaixo de 16700 LUX, nos gráficos apresentados, os valores abaixo deste são considerados zero, pois são inconclusivos.

### 3.1.3 Sistema de aquisição de dados

A aquisição dos dados é feito a cada 5 segundos pelo sistema da Intergado, equipamento cedido pela empresa para realização dos testes, porém na construção dos gráficos usamos uma média dos dados a cada 30 minutos para diminuir as oscilações e facilitar a visualização. Este equipamento engloba os termopares e seus leitores, uma central de coleta e armazenamento dos dados e uma fonte de alimentação para o sistema. O restante da montagem do protótipo foi cedido pela Seva Engenharia Eletrônica.

### 3.1.4 Montagem definitiva

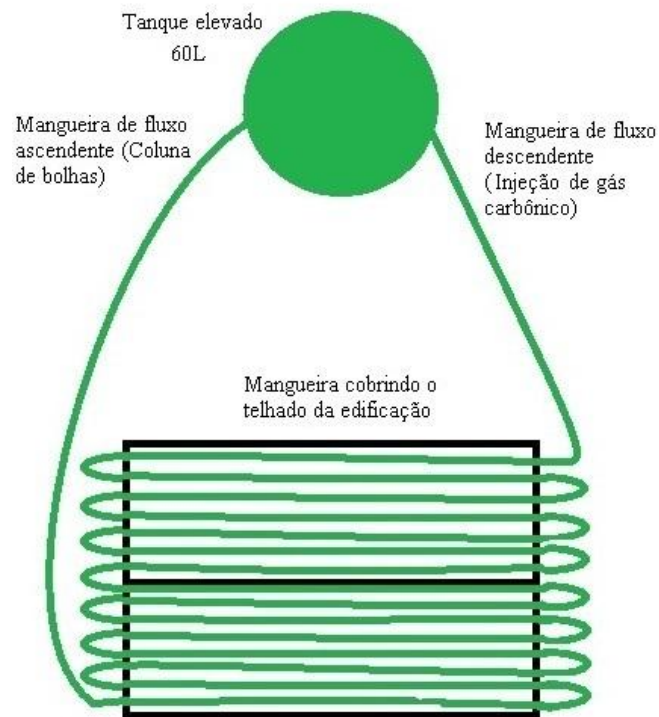
Com essa montagem foram obtidos dados de temperatura muito alterados, o que atribuímos às bombas sapo. Estas bombas possuem um rendimento baixo, portanto parte da potência é perdida na forma de calor, como o resfriamento destas bombas é feito pelo próprio fluido a ser bombeado, a água do sistema de cultivo foi aquecida artificialmente. Este aquecimento nos impediu de continuar os testes com a montagem pretendida, pois a temperatura nas edificações com estrutura de cultivo chegou a ser 20°C maior que a da edificação controle. Por isso foi necessário alterar o protótipo para um meio de agitação que não oferecesse aquecimento ao meio de cultivo. Utilizamos o mecanismo denominado coluna de bolhas para fazer a ascensão do fluido para as caixas d'água, para tanto colocamos as caixas d'água mais elevadas que as edificações e utilizar um compressor de ar para injetar as bolhas na coluna ascendente. A nova montagem pode ser vista na Figura 10 e um diagrama esquemático na Figura 11. Como o volume de 150L das caixas d'água era muito grande para colocarmos em cima da mesa, optamos por usar bacias menores, de 60L. O problema que observamos com esse novo sistema foi o da diminuição da velocidade do meio de cultivo nas mangueiras, o que causou deposição das células. Isto pode ter gerado a morte de algumas, porém na observação das amostras ao microscópio, nenhuma contaminação biológica foi observada. Portanto isto não afetará de maneira importante as conclusões do estudo.

Figura 10: Protótipo construído minimizando os efeitos térmicos da bomba



Fonte: do autor

Figura 11: Diagrama esquemático do sistema de cultivo



Fonte: do autor

### 3.1.5 Coluna de bolhas

Neste mecanismo o ar é injetado na parte baixa da mangueira, forçando o gás a subir na tubulação, este movimento das bolhas empurra a água para cima gerando uma diferença de pressão na mangueira, esta diferença de pressão gera um escoamento do fluido, como a outra extremidade da mangueira também está ligada à caixa d'água, o fluido entra nesta extremidade e realimenta o circuito, como mostrado na Figura 12. Dessa forma o aquecimento gerado pelas bombas é eliminado e uma troca gasosa mais eficiente é inserida no processo. Esta troca gasosa melhora as condições do cultivo, pois reduz a quantidade de oxigênio dissolvido no meio, deslocando o equilíbrio dinâmico em favor da reação de fotossíntese.

Figura 12: Coluna de bolhas



Fonte: do autor

### 3.1.6 Microalga adotada

A microalga usada foi a *Chlorella*, sua escolha levou em conta a facilidade de obtenção no laboratório da Professora Alessandra Giani, no ICB/UFMG, a sua alta taxa de reprodução e o fato de ela ser cogitada para a produção de biocombustíveis por sua elevada produção de óleos.



## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Coleta de dados e preparação do meio de cultivo

Fizemos a coleta de dados nos dias 15, 16, 20 e 21 de fevereiro de 2015 no município de Caeté, nos dias 17, 18 e 19 foram observados problemas na leitura dos sensores devido a mau contato dos cabos, por isto foram descartados. A leitura dos termopares e do fotodiodo foi feita a cada 5 segundos durante as 24 horas do dia pelo sistema de aquisição de dados.

Na preparação do meio de cultivo foi utilizada a água de uma nascente no município de Caeté e o fertilizante comercial mostrado na Figura 13. Sua composição é mostrada na Tabela 9. Fervemos a água para matar qualquer microalga que pudesse competir com a *Chlorella*, deixamos esfriar e adicionamos 37,5g do adubo mineral para cada 10L de água, para facilitar o entendimento chamarei esse meio de cultivo de meio mineral.

Tabela 9 - Composição do adubo mineral usado no meio de cultivo

Nitrogênio total (N)	13%
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (sol. CNA+água)	5%
Potássio (K <sub>2</sub> O) (sol. Água)	13%
Cálcio (Ca)	1%
Magnésio (Mg)	1%
Enxofre (S)	5%
Boro (B)	0,04%
Cobre (Cu)	0,05%
Ferro (Fe)	0,2%
Manganês (Mn)	0,08%
Molibdênio (Mo)	0,005%
Zinco (Zn)	0,15%

Fonte: (Forth, 2015)

Figura 13: Fertilizante mineral 100% solúvel usado no meio de cultivo



Fonte: (Forth, 2015)

Para evitar a proliferação de microalgas na edificação que contém apenas o sistema de cultivo, foi utilizada água de chuva, pois esta não contém os minerais necessários para o desenvolvimento das microalgas.

Para agilizar os testes, foi utilizado um mecanismo de diminuição da concentração celular por diluições sucessivas, após o cultivo apresentar uma concentração elevada de microalgas comecei a coletar os dados de temperatura e luminosidade, sendo que a cada dia os dados foram armazenados de 00:00:00 até 23:59:59. Ao final do período de insolação e usando um termômetro e um ebulidor para garantir que a temperatura do meio mineral fosse a mesma do cultivo, retiramos 12L do cultivo dos 40L totais e acrescentamos 12L do meio mineral, com isso obtivemos uma diluição de 30% a cada dia.

Foram coletadas amostras das microalgas retiradas ao final de cada dia para contagem de células, porém as amostras dos dias 17, 18 e 19 foram descartadas, pois os dados destes dias foram comprometidos. As amostras foram conservadas usando uma solução de Lugol, fornecida pela Professora Alessandra Giani, na proporção de uma gota por mL de amostra. Os rótulos colocados para identificar as amostras se soltaram, desta forma não foi possível precisar qual é a amostra de cada dia, por isto a contagem de células é apresentada na Tabela 10. Com estes dados é possível saber a média de concentração de células ao longo dos testes, mas não conseguiremos fazer uma análise comparativa entre as concentrações para cada dia e entre as concentrações e as temperaturas encontradas. A média de células encontradas por mL foi de  $8,53E6$ , levando em conta que as células têm em média 8 micrômetros de diâmetro e densidade próxima de 1g/L, chegamos a um peso seco de 0,49g/L. Uma concentração baixa em relação aos 2,79g/L encontrados em (Borghetti, 2009).

Tabela 10 - Contagem de células por amostra

Amostra 1	13,34E6 Células/mL
Amostra 2	7,53E6 Células/mL
Amostra 3	9,90E6 Células/mL
Amostra 4	3,37E6 Células/mL

Fonte: do autor

## 5 RESULTADOS

Os sensores de luminosidade e temperatura são lidos a cada 5 segundos e os dados gerados são armazenados pelo sistema de aquisição de dados. Este período de amostragem é muito pequeno para as variações de temperatura, porém ele percebe bem as variações de luminosidade, por causa de nuvens existem variações bruscas nos dados de luminosidade, como o intervalo entre aquisições precisava ser o mesmo para todos os sensores foi definido este período. Para melhor visualização dos dados foi usada uma média a cada 30 minutos, com esta média foram confeccionados os gráficos dos resultados apresentados neste trabalho.

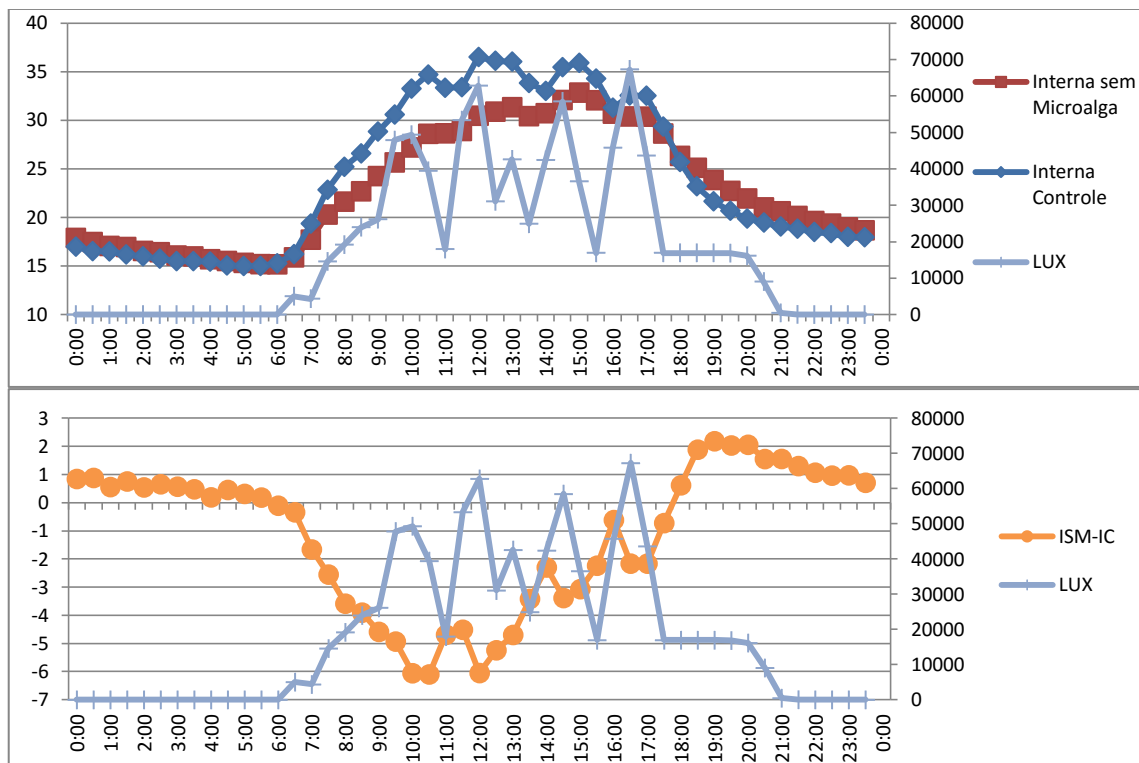
### 5.1 Influência da estrutura de cultivo na variação da temperatura interna das edificações

A primeira observação diz respeito ao efeito da estrutura de cultivo na temperatura interna, foi percebida uma grande influência da água que cobre a edificação na temperatura interna desta, pois a água absorve grande quantidade de calor suavizando a variação da temperatura interna. Este efeito pode ser observado nos gráficos das Figuras de Figura 14 a Figura 17 e se deve, em sua maioria, à grande capacidade térmica da água, que gera um comportamento capacitivo na temperatura interna da edificação com sistema de cultivo, amenizando as mudanças causadas pela incidência solar. Os gráficos de ISM-IC mostram de forma comparativa a diferença das temperaturas internas entre a edificação com sistema de cultivo sem microalgas (ISM) e a controle (IC), mostrando claramente a alteração causada pelo sistema de cultivo.

A tendência observada é de queda máxima de 8°C relativa ao sistema de cultivo durante o período de incidência solar e a média de queda de temperatura neste período é de 2,6°C. Como pode ser observado nas oscilações da curva de intensidade luminosa, dada em LUX, o tempo estava com nuvens esparsas em todos os dias de teste, portanto os resultados obtidos devem ser analisados levando em conta este cenário. Cada diminuição da intensidade

luminosa é o reflexo de um período de passagem de nuvem, privando as edificações testadas da incidência solar direta. Em um dia de pleno sol teríamos um aumento desses números, pois podemos ver pelos gráficos de ISM-IC que quando a incidência solar acontece, ocorre uma resposta no sentido de aumentar a diferença entre estas temperaturas. Esta resposta ocorre com um atraso de 30 minutos, devido à demora no aquecimento da água, que deve ser anterior ao aquecimento do interior da edificação, esta demora se deve à grande inércia térmica da água que retarda a transferência de calor, gerado pela luz solar ao atingir a superfície, para a parte interna da edificação.

Figura 14: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 15



Fonte: do autor

Figura 15: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 16

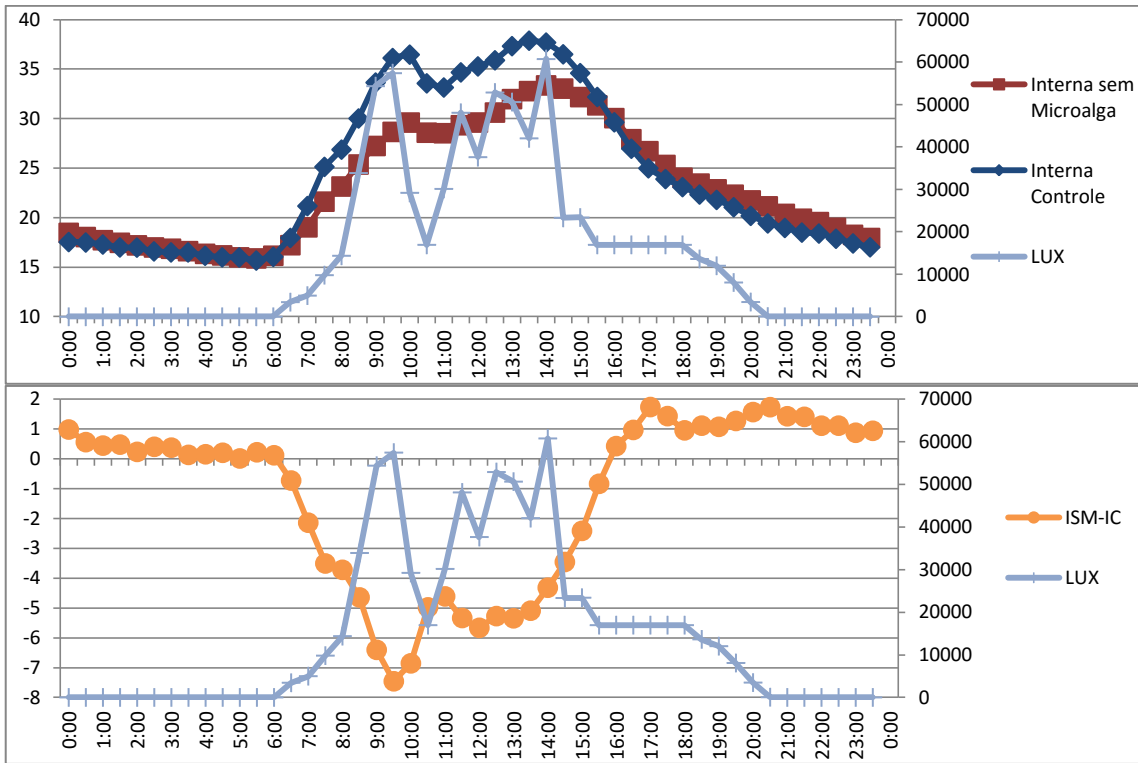
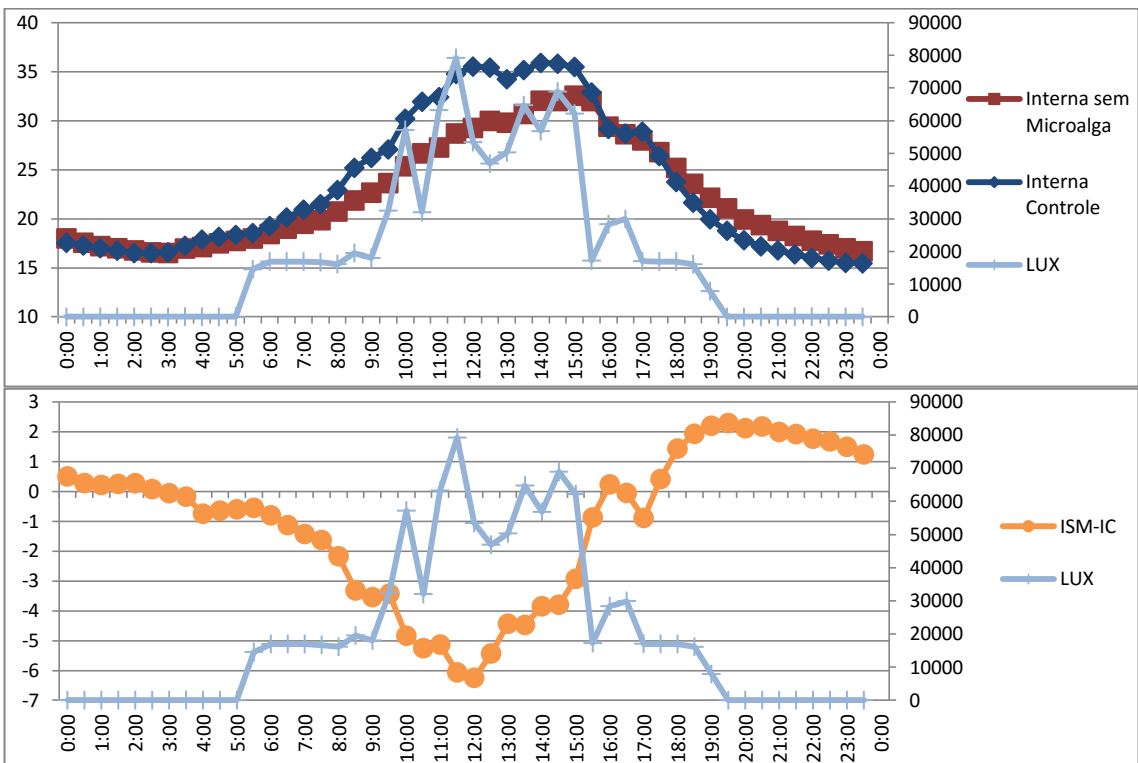
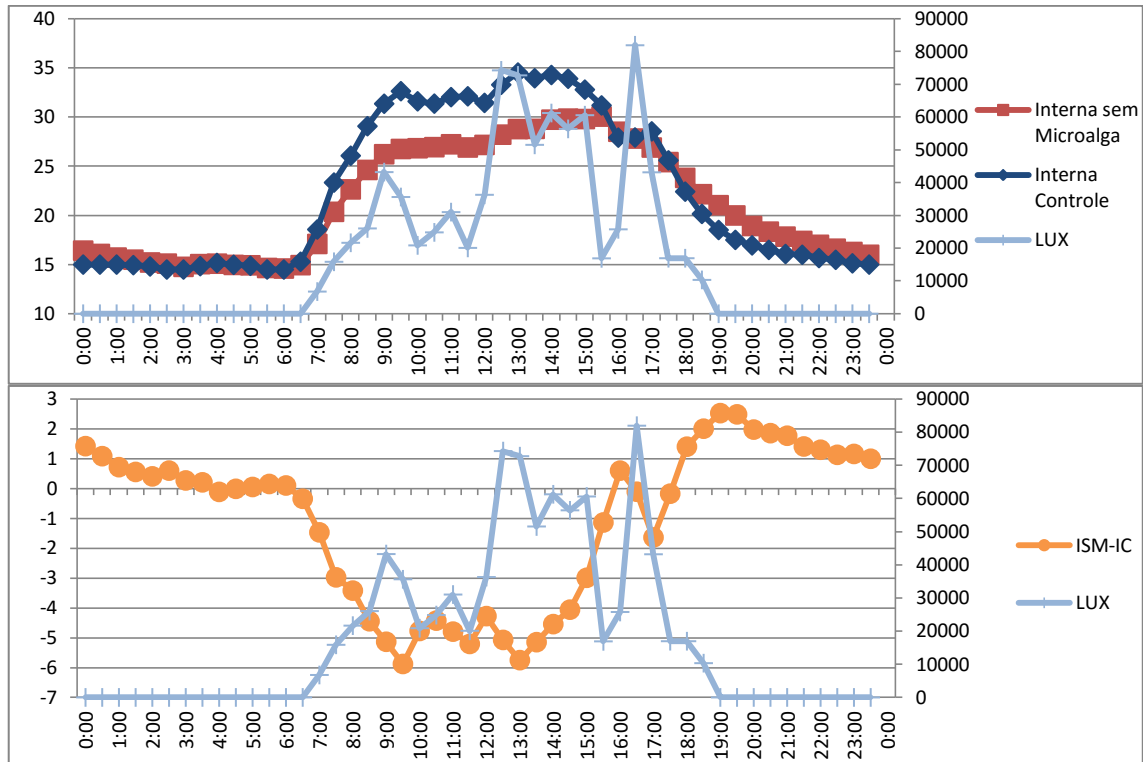


Figura 16: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 16



Fonte: do autor

Figura 17: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas ao sistema de cultivo – dia 21



Fonte: do autor

## 5.2 Influência das microalgas na variação da temperatura interna das edificações

O efeito observado na variação da temperatura referente somente à microalga é mostrado nas Figuras de Figura 18 a Figura 21, relativos aos dias 15, 16, 20 e 21 de fevereiro de 2015. Como a variação de temperatura é pequena em relação à escala do gráfico, a diferença entre a temperatura interna da edificação com microalga (ICM) e a temperatura interna da edificação sem microalga (ISM) e a diferença entre as temperaturas da água com microalga (ACM) e da água sem microalga (ASM) também são mostrada nas Figuras de Figura 18 a Figura 21, para comparação também é mostrada a incidência solar em LUX.

No início da insolação é possível observar uma tendência de aumento relativo em ICM em relação ao ISM. Uma hipótese levantada foi a de a temperatura da água neste momento estar abaixo dos 20°C e de o metabolismo das microalgas estar baixo (Habib, et al.,

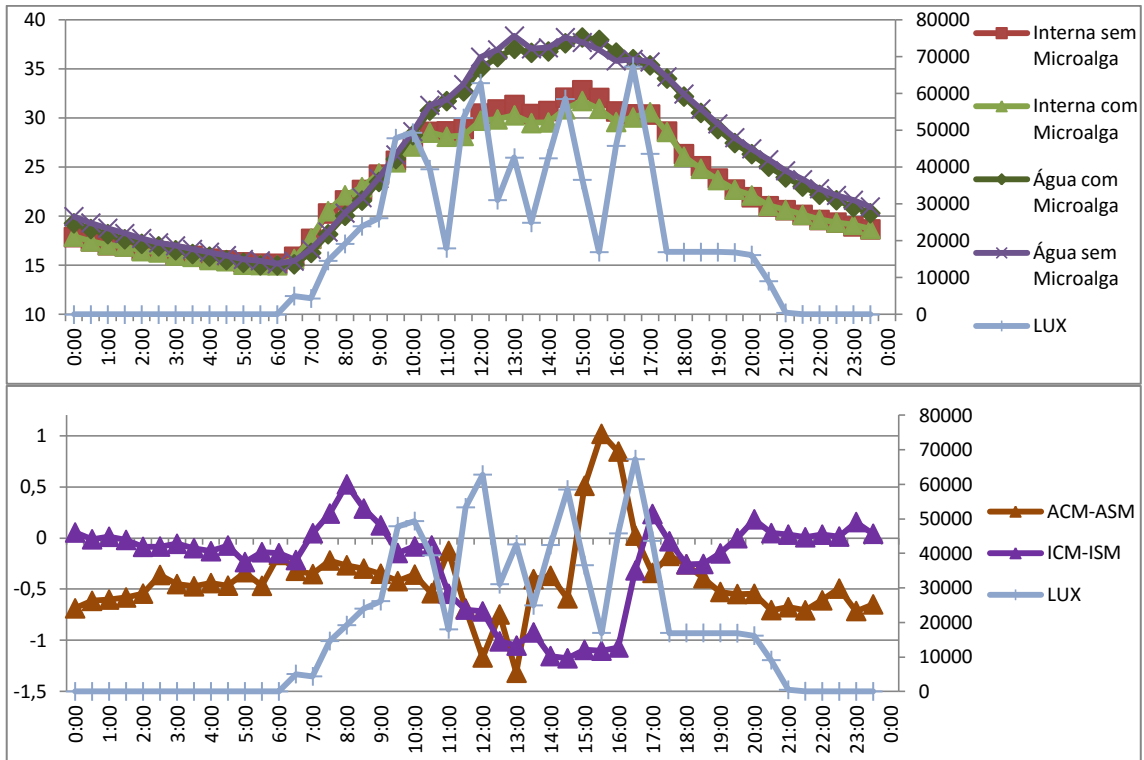
2008), com isso a clorofila funcionaria como um pigmento inerte que aqueceria a água, pois com o metabolismo baixo a reação de fotossíntese não ocorre e a coloração verde da clorofila absorveria a luz solar e a converteria em energia térmica, aquecendo a água, porém essa hipótese foi descartada, pois observamos que na Figura 19, ICM-ISM aumentou antes de ACM-ASM, mostrando que a hipótese proposta anteriormente seria não causal. Uma segunda hipótese levantada é a de que a insolação matinal pudesse estar atingindo a parede lateral leste da edificação, produzindo um aquecimento direto desta, isto explicaria o aquecimento anterior da parte interna da edificação, mas também não explica o aumento da diferença de temperatura entre ICM e ISM.

O metabolismo das microalgas está diretamente ligado à temperatura do meio em que elas se encontram, como mostrado em (Habib, et al., 2008), as microalgas apresentam um metabolismo ideal para a produção de lipídeos e reprodução celular na faixa de 35°C a 38°C, no entanto esta também é a faixa de maior consumo, portanto se não houver incidência solar e o cultivo estiver nesta faixa de temperatura o lipídeo produzido será consumido rapidamente. A faixa de 20°C a 35°C é de metabolismo mediano, geralmente acontece no final da insolação, quando o meio de cultivo está esfriando, não é interessante manter as microalgas nessa faixa de temperatura se não houver incidência de luz, pois o metabolismo ainda pode consumir parte do lipídeo produzido (Habib, et al., 2008). A faixa de 15°C a 20°C é a de baixo metabolismo, é a faixa de temperatura ideal para o período noturno até o início da insolação, pois o consumo de lipídeos é baixo, evitando perdas de produtividade.

Portanto a faixa de temperatura de um cultivo ideal seria aquela em que, no período iluminado está entre 20 e 38°C, mais próximo de 38°C, e no período escuro entre 15 e 20°C.

Figura 18: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 15





Fonte: do autor

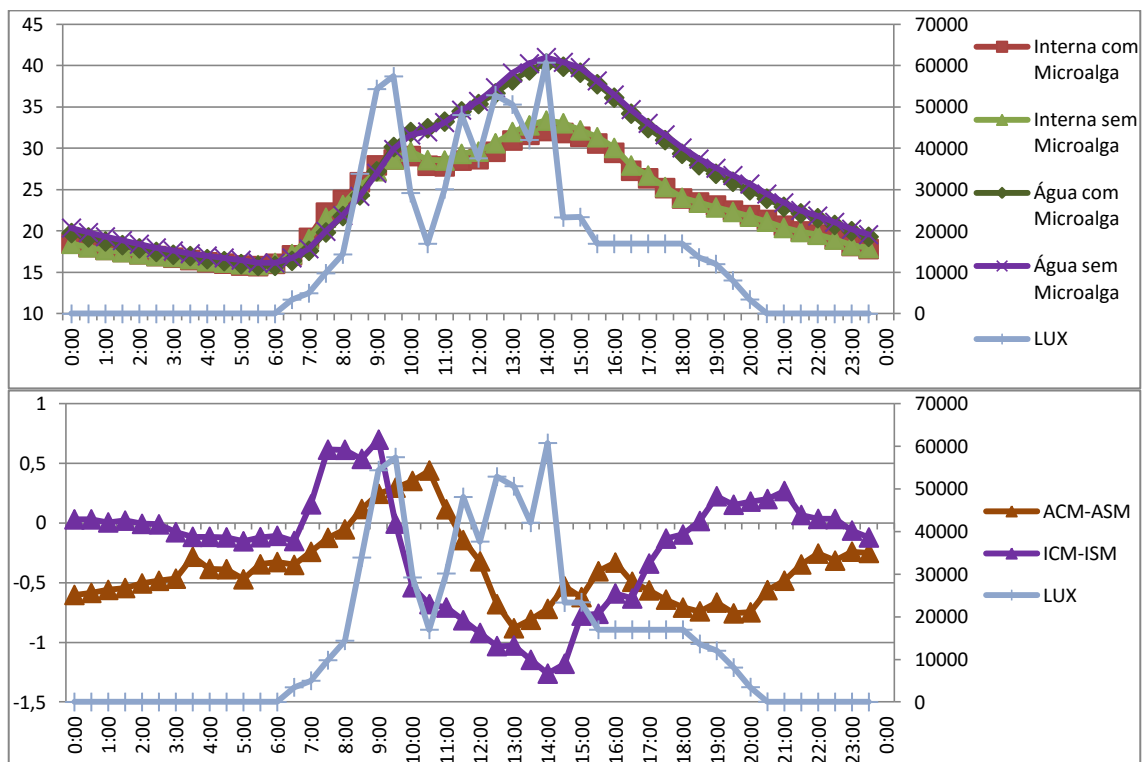
No gráfico da Figura 18, referente ao dia 15, podemos ver um aumento em ICM-ISM que começa às 7 horas e termina às 9:30 horas, uma hipótese que poderia explicar este fato está relacionada com o medidor de intensidade luminosa, pois este não está calibrado para captar baixas intensidades luminosas, e mesmo estas, se atuarem por um tempo prolongado, podem alterar ICM, pois a temperatura de ACM está entre 16,3°C e 25,8°C, portanto próximo da faixa de baixo metabolismo, entre 15°C e 20°C, a clorofila atua como pigmento inerte transformando energia luminosa em calor. No entanto não observamos a mesma variação de temperatura no fluido. Esta variação seria esperada no caso de o pigmento estar absorvendo energia solar para aquecimento da água.

Quando a temperatura de ACM entra na faixa de metabolismo mediano, entre 20°C e 35°C, e existe incidência de luz solar, observamos um aumento tanto em ICM-ISM quanto em ACM-ASM. A queda em ICM-ISM ocorreu às 10:30 horas, 30 minutos após o primeiro pico de insolação, como esperado, existe um atraso no tempo de resposta entre o pico de insolação e o seu efeito na temperatura interna de aproximadamente 30 minutos. Este atraso se deve à grande capacidade térmica da água.

Um fenômeno inesperado ocorreu das 14:30 horas às 17:30 horas, houve uma queda em ASM elevando o valor de ACM-ASM, esta queda não pode ser explicada com os dados coletados, pode ser em decorrência de algum fator externo ao experimento. Como este fenômeno não foi observado nos outros dias este foi considerado um caso isolado, não tendo relação com as microalgas. O mesmo fenômeno aconteceu com ISM, é possível que o resfriamento de ASM causou, pode condução, um resfriamento em ISM.

A redução da temperatura durante o período de insolação atingiu pico de  $1,2^{\circ}\text{C}$ , porém a média observada para este período foi de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Lembrando que o cenário é de nuvens esparsas, obteremos valores maiores para estas diferenças de temperatura em um dia de maior exposição à luz solar. Esta redução se deve apenas ao efeito das microalgas, pois esta é a única diferença entre as duas edificações. Desconsiderando o efeito observado após as 14:30 horas.

Figura 19: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 16

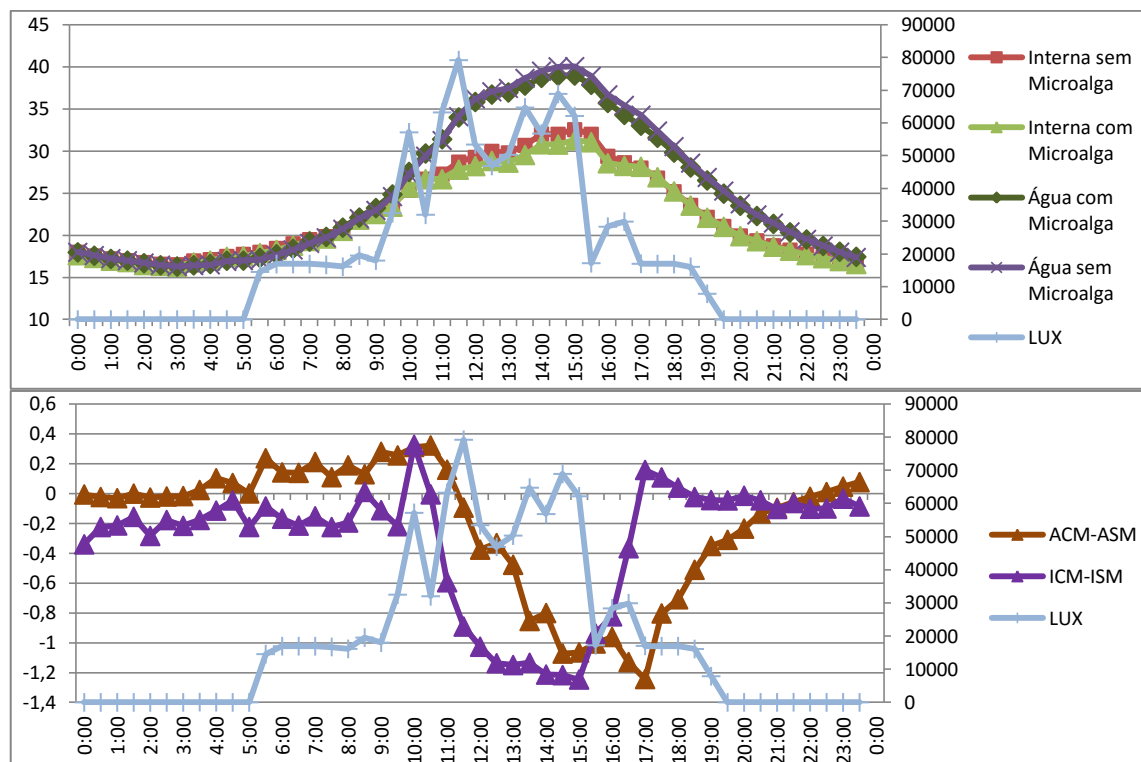


Fonte: do autor

No gráfico da Figura 19, referente ao dia 16, podemos ver o mesmo aumento em ICM-ISM observado no dia 15, porém começando às 6:30 horas e terminando às 9:00 horas, também um aumento inesperado visto que o aumento na insolação acontece depois de 8:00 horas, uma hipótese que explicaria este fato é a mesma usada para o dia 15. A única diferença entre os dois dias são os valores de ACM no período descrito, neste caso ACM está entre 16,4°C e 27,0°C, intervalo de baixo metabolismo, em que a clorofila se comporta como um pigmento inerte, convertendo a energia luminosa em térmica e aquecendo ICM e ACM. No restante do período de insolação ocorreu o esperado, um aumento da diferença representada em ICM-ISM e acompanhada por ACM-ASM. Ao final da insolação ICM retorna ao equilíbrio, se aproximando de ISM enquanto ACM retorna mais lentamente, devido à inércia térmica da água.

A redução da temperatura durante o período de insolação atingiu pico de 1,3°C, porém a média observada para este período foi de 0,6°C. Esta redução se deve apenas ao efeito das microalgas, pois esta é a única diferença entre as duas edificações.

Figura 20: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 20

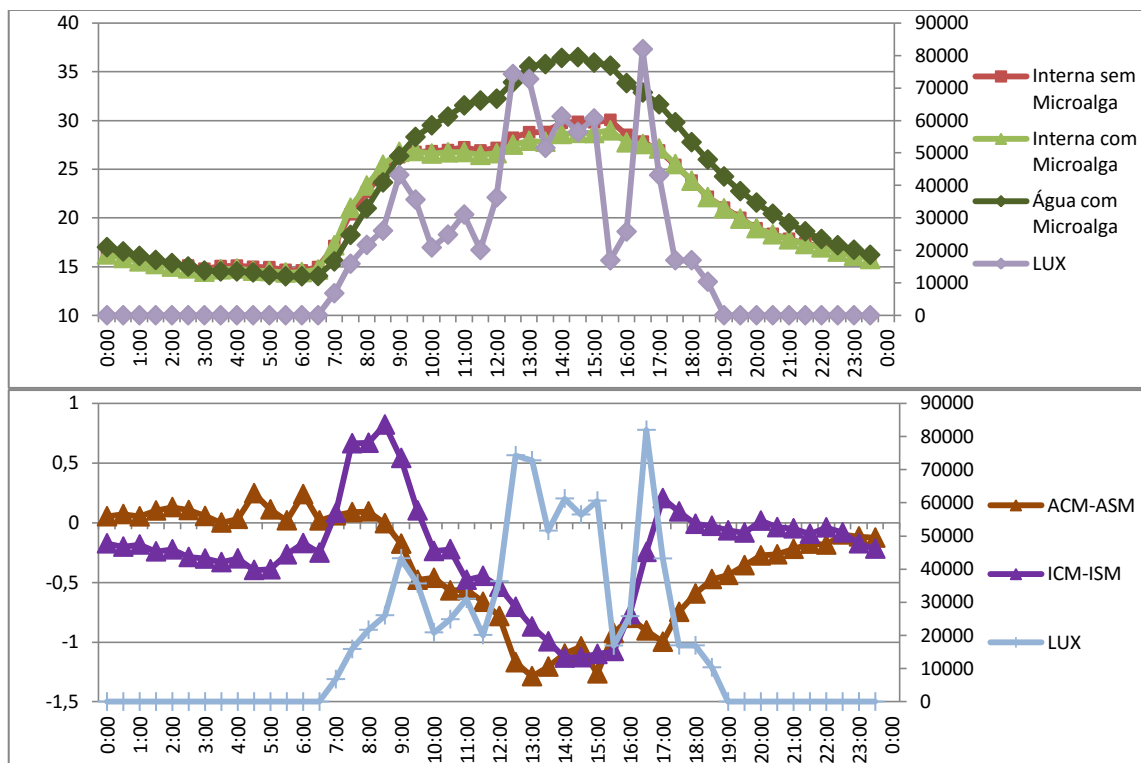


Fonte: do autor

No gráfico da Figura 20, referente ao dia 20, não foi observado o fenômeno de aumento de ICM no início da insolação, portanto este representa o comportamento esperado para o teste. O aumento da insolação aconteceu tardiamente, às 9:00 horas, quando a temperatura do meio de cultivo já está em 23,0°C, o que confirma a hipótese da faixa de metabolismo mediano já ter a clorofila ativada, absorvendo a energia luminosa, convertendo em energia química e proporcionando um aumento relativo tanto em ICM-ISM quanto em ACM-ASM. Ao final da insolação observamos uma diminuição acentuada em ICM-ISM devido a uma queda brusca na temperatura externa que foi de 33°C a 27°C no período entre 15:00 horas e 16:00 horas. Depois disso as diferenças ACM-ASM e ICM-ISM entraram em equilíbrio.

A redução da temperatura durante o período de insolação atingiu pico de 1,2°C, porém a média observada para este período foi de 0,6°C.

Figura 21: Temperaturas absolutas e diferença entre as temperaturas internas relativas às microalgas – dia 21



Fonte: do autor

No gráfico da Figura 21, referente ao dia 21, observamos o mesmo efeito dos dias 15 e 16, houve um aumento de ICM em relação à ISM que começou às 6:30 horas, momento em que ACM estava em 14°C, ICM-ISM teve pico às 8:30 horas, quando ACM era de 23,6°C, depois das 8:30 horas a diferença ICM-ISM começou a cair. Às 14:00 horas ICM estava 1,1°C abaixo de ISM, enquanto ACM estava em 36,5°C, às 15:00 horas ocorreu uma queda na insolação e na temperatura externa que levaram a uma queda geral da temperatura e tanto ACM-ASM quanto ICM-ISM voltaram para os seus estados de equilíbrio.

A redução da temperatura durante o período de insolação atingiu pico de 1,1°C, porém a média observada para este período foi de 0,4°C.

### **5.3 Resultado geral**

A tendência geral observada é de queda de até 1,5°C relativa às microalgas durante o período de incidência solar e a média de queda de temperatura neste período é de 0,5°C. A mesma observação usada para a análise da redução da temperatura gerada pelo sistema de cultivo, a respeito do tempo de nuvens esparsas, cabe para as microalgas, porém uma maior incidência solar poderia proporcionar um maior crescimento na população de microalgas e uma maior eficiência no processo de fotossíntese. Evidências disto podem ser observadas nos gráficos das Figuras de Figura 18 a Figura 21, em que a diferença entre ICM e ISM aumenta com o aumento da incidência solar.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Os dados obtidos mostram que uma cobertura de microalgas tem uma ação relevante na diminuição da temperatura interna de edificações, no entanto não nos permitem precisar a eficácia da utilização deste método na redução da temperatura em escala aumentada. Pois muitos fatores alteram a ação das microalgas em uma escala aumentada.

Alguns fatores que podemos destacar que dificultam esta análise são o aumento do volume de ar, que aumenta em uma potência de três da escala linear, a área de incidência solar, que aumenta em uma potência de dois, os materiais utilizados nas paredes, suas respectivas capacidades e condutividades térmicas, a espessura do meio de cultivo, pois usamos um diâmetro de 3,8 cm, o que causa uma absorção pequena da luz incidida em comparação com os 30 cm recomendados para profundidades de cultivo, outro fator foi a baixa concentração de células no meio de cultivo usado e a cobertura não somente dos telhados, mas das paredes da edificação com estruturas de cultivo, assim evitando a incidência solar direta nestas paredes.

O sistema de ascensão de bolhas, quando usado com a extremidade aberta em tanque, apresenta uma região de baixa movimentação do fluido no próprio tanque, o que gera deposição de células. Portanto quanto menor o volume da região aberta, mais eficiente é o processo.

Como a velocidade do fluido não foi suficiente, também é necessária uma maior coluna de ascensão das bolhas, possibilitando assim uma maior diferença de pressão e um conseqüente maior fluxo.

Sugestões de trabalhos futuros:

- Utilização de outras espécies de microalgas para uma análise comparativa;
- Aumento gradual da escala para analisar as diferenças observadas e o grau de previsibilidade neste aumento;
- Utilização de outras formas de agitação do meio de cultivo;
- Identificação de possibilidades de utilização da matéria orgânica dependendo do tipo de edificação que estiver usando o sistema;

- Identificação de melhores formas de manter o cultivo nas duas faixas ótimas de temperatura, a de alta produção e a de baixo consumo;
- Identificar profundidade ótima para meio de cultivo no clima brasileiro;
- Utilização de efluente sanitário da edificação como fonte de carbono para microalgas heterotróficas;
- Cálculo das dimensões da coluna de ascensão de bolhas para propiciar a velocidade necessária de 30 cm/s;
- Identificação da profundidade de cultivo para otimização da produtividade das microalgas.

## 7 REFERÊNCIAS

**Algae Industry Magazine** Algae-powered building to open in Germany [Online] // Algae Industry Magazine. - 26 de 09 de 2014. - <http://www.algaeindustrymagazine.com/algae-powered-building-to-open-in-germany/>.

**Antunes Raquel e Silva Inês C.** Utilização de algas para a produção de biocombustíveis [Relatório] / INPI de Portugal. - Lisboa : [s.n.], 2010.

**Aoi Wataru [et al.]** Astaxanthin Limits Exercise-Induced Skeletal and Cardiac Muscle Damage in Mice [Periódico] // Antioxidants & Redox Signaling. - 2003. - pp. 139-144.

**archello** SolarLeaf [Online]. - archello, 2014. - 2015. - <http://www.archello.com/en/project/solarleaf>.

**Azeredo Vinícius B. S.** Produção de Biodiesel a partir do Cultivo de Microalgas: Estimativa de Custo e Perspectivas para o Brasil [Relatório] : Dissertação de Mestrado. - Rio de Janeiro : COPPEE/UFRJ, 2012.

**Barbosa M. J. G. V.** Microalgal photobioreactors: Scale-up and optimisation [Relatório]. - Wageningen : Wageningen University, 2003.

**Bianchini Roberto D. [et al.]** Microalgas, produtos e aplicações [Periódico] // Ciência Rural. - 2006. - pp. 1959-1967.

**Borghetti Ivo Alberto** Avaliação do Crescimento da Microalga *Chlorella minutíssima* em meio de Cultura com Diferentes Concentrações de Minipueira [Relatório] : Dissertação de Mestrado. - Curitiba : Universidade Federal do Paraná, 2009.

**Chisti Yusuf** Biodiesel from microalgae [Periódico] // Elsevier. - 2007. - pp. 294-306.

**Cruz Rui V. A.** Estudo da utilização de microalgas e cianobactérias para captura de dióxido de carbono e produção de matérias-primas de interesse industrial [Relatório]. - São Paulo : Universidade de São Paulo, 2011.

**Cruz Rui Vogt Alves da** Estudo da utilização de microalgas e cianobactérias para a captura de dióxido de carbono e produção de matérias-primas de interesse industrial // Universidade de São Paulo. - São Paulo : USP, 2011.

**Cyanotech** [Online] // mikamienvironmentalblog. - Cyanotech Corporation, 1999. - 22 de 01 de 2015. - [http://mikamienvironmentalblog.blogspot.com.br/2011/11/para-um-mundo-melhor-for-better-world\\_23.html](http://mikamienvironmentalblog.blogspot.com.br/2011/11/para-um-mundo-melhor-for-better-world_23.html).



**Faria Ivan Dutra [et al.]** Utilização de Óleo Vegetal Refinado como Combustível - Aspéctos Legais, Técnicos, Econômicos, Ambientais e Tributários [Relatório]. - Brasília : Centro de Estudos da Consultoria do Senado, 2007.

**Gouveia L. [et al.]** Microalgae in Novel Food Products. - Lisboa : Konstantinos N. Papadopoulos, 2008.

**Guerra Edson P e Fuchs Werner** Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores [Periódico] // Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais. - 2010. - pp. 103-112.

**Habib M. Ahsan B. [et al.]** A REVIEW ON CULTURE, PRODUCTION AND USE OF SPIRULINA AS FOOD FOR HUMANS AND FEEDS FOR DOMESTIC ANIMALS AND FISH [Relatório]. - Roma : FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2008.

**Janssen Marcel Gerard Jozef** Cultivation of microalgae: effect of light/dark cycles on biomass yield [Relatório] : Tese de Doutorado. - Wageningen : Ponsen & Looijen BV, 2002.

**León Iván Alejandro Ávila** Estudo do cultivo de Spirulina platensis por processo contínuo com uréia como fonte de nitrogênio [Relatório] : Dissertação de Mestrado. - São Paulo : USP, 2010.

**Morais Keli C. C.** Análise e Desenvolvimento de Aquicultura da Microalga Phaeodactylo, tricornutum em Crescimento Autotrófico e Mixotrófico em Fotobiorreatores Compactos [Relatório] / UFPR/NPDEAS. - Curitiba : NPDEAS, 2011. - p. 98.

**NAABB** Full Final Report of National Alliance For Advanced Biofuels and Bio-products [Relatório] / Office of Energy Efficiency and Renewable Energy ; Unites States Department of Energy. - [s.l.] : Government of Unites States, 2014.

**PowerPlantCCS** PowerPlantCCS [Online] // PowerPlantCCS. - 2005. - 22 de 01 de 2015. - <http://www.powerplantccs.com/ccs/cap/fut/alg/introduction.html>.

**Priyadarshani Indira e Rath Biswajit** Commercial and industrial application of micro algae - A Review [Relatório]. - Baripada : Jornal Algal Biomass Utln, 2012.

**Radmann Elisangela Martha e Costa Jorge Alberto V.** Conteúdo Lipídico e Composição de Ácidos Graxos de Microalgas Expostas aos Gases CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO [Periódico] // Química Nova. - 2008. - pp. 1609-1612.

**Silva Marla Verginia** Avaliação do Potencial de uma Microalga Acidofílica quanto a Biorremocão de Metais Traço em Diferentes Compartimentos Ambientais [Relatório]. - Itajaí : Universidade Federal do Vale do Itajaí, 2011.

**Tominaga Kumi [et al.]** Cosmetic benefits of astaxanthin on humans subjects [Periódico] // ACTA ABP Biochimica Polonica. - 2012. - pp. 43-47.

**UEMA** Visita ao cultivo de Spirulina em Pentecoste, Ceará [Online]. - 11 de 06 de 2012. - 15 de 07 de 2015. - <https://www.youtube.com/watch?v=tHgKHE3MiXA>.