



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

RODRIGO GOMES GUIMARÃES

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA
DE UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA
DE MICROALGAS



SALVADOR
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL-PEI

RODRIGO GOMES GUIMARÃES

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DE
UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE
MICROALGAS**

Salvador - Bahia
2018

RODRIGO GOMES GUIMARÃES

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UNIDADE DE
PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE MICROALGAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito para a obtenção de título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Andrade Sales

Co-orientador: Prof. Dr. Darlan Azevedo Pereira

Salvador - Bahia
2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Guimarães, Rodrigo Gomes

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UNIDADE DE
PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE MICROALGAS /

Rodrigo Gomes Guimarães. - Salvador, 2018.

90 f.: il

Orientadora: Prof. Dr. Emerson Andrade Sales.

Coorientadora: Prof. Dr. Darlan Azevedo Pereira.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Industrial) -- Universidade Federal
da Bahia, Escola Politécnica, 2018.

1. Biomassa. 2. Spirulina platensis. 3. Análise
técnico-econômica. I. Sales, Emerson Andrade.
II. Pereira, Darlan Azevedo. III. Título

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UNIDADE DE PRODUÇÃO
DE BIOMASSA DE MICROALGAS**

RODRIGO GOMES GUIMARÃES

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Emerson Andrade Sales Emerson Andrade Sales
Doutor em Ciências / Engenharia Química pela Université Paris 7 – Denis Diderot, França, 1996.

Prof. Dr. Darlan Azevedo Pereira Darlan Azevedo Pereira
Doutor em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2014.

Profa. Dra. Edna dos Santos Almeida Edna dos Santos Almeida
Doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2004.

Prof. Dr. Ícaro Thiago Andrade Moreira Ícaro Thiago Andrade Moreira
Doutor em Geologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2014.

Salvador, BA - BRASIL
junho/2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente as três mulheres da minha vida. À minha mãe, Lícia Neves Gomes, pela sua dedicação e carinho, por me proporcionar uma educação de excelência, e ser minha referência em persistência e compaixão. Agradeço a minha irmã, Ingrid Guimarães, por todo carinho, ensinamentos e por sempre estar ao meu lado. A minha namorada, Taíla Cardoso, pela compreensão, apoio, paciência, incentivo, críticas e todo amor dedicado a mim.

. Ao Professor Emerson Sales, sendo um exemplo de orientador, sempre presente e disposto a ajudar a todos aqueles que o seu braço consegue alcançar. Ao Darlan Azevedo, que contribuiu no âmbito acadêmico e profissional, em um momento muito importante da minha transição de estudante para profissional, sendo um exemplo de organização e ética, e que mesmo distante continuou presente e foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

À Professora Edna Almeida, que desde o primeiro contato à vi como referência profissional e pessoal, tanto pela sua competência técnica como por sua atenção dada aos seus colaboradores e grupo de pesquisa, sem contar com seu apoio e orientação tanto para a minha carreira como para a vida. Ao Professor Ícaro Moreira, por me fazer acreditar no meu potencial e me incentivar a crescer profissionalmente.

À professora Samira Hanna, por me acompanhar desde a graduação, sendo além da minha referência na área da microbiologia, um importante apoio nas minhas tomadas de decisões acadêmicas e profissionais.

E por fim, mas não menos importante, aos meus colegas e amigos que com paciência estiveram ao meu lado em todos os sucessos e fracassos, e que sem vocês nada disso seria possível. A equipe do Senai Cimatec: Diego Batista, Matheus Tosati e Mariana Queiroz. A equipe do Labec: Camila dos Santos, Mailena Dourado, Teresa Pinheiro, Ezequiel Hansell, Juliana Andrade e Noyala Cerqueira. E um agradecimento em especial à Sueli dos Santos, por todas os nossos dias e noites passadas em bancadas de laboratório, e em nossos corações será sempre lembrada pela sua alegria e disposição.

A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento e não na vitória propriamente dita.

M. Gandhi

RESUMO

A biomassa de microalgas ganha cada vez mais destaque nas discussões acerca de suas aplicações e contribuição para a sustentabilidade ambiental, tanto pelo seu potencial para o desenvolvimento de biocombustíveis quanto para o desenvolvimento de produtos alimentícios, cosméticos ou farmacêuticos. O presente estudo, desenvolvido na cidade de Salvador - BA, aborda os aspectos conceituais e práticos de projeto, do processo de análise de viabilidade técnica e econômico-financeira, e posterior implantação de uma unidade de produção de biomassa de microalgas para aplicação na indústria de alimentos. A unidade projetada é multipropósito, permitindo a realização de diferentes processos e viabilizando o cultivo de diversas espécies de microalgas de acordo com a indústria de interesse. A unidade apresenta uma característica modular, o que no projeto básico permite a produção de 40 kg de biomassa, permitindo atingir até 120 kg utilizando a mesma área ocupada. Operando com a capacidade de 40 kg, o tempo de pagamento do projeto é de 45 meses, utilizando como base a média dos preços de vendas obtidos a partir do estudo de mercado. Através do estudo de sensibilidade, foi possível identificar os impactos da variação dos preços, do aumento da capacidade, da forma de venda e da taxa de atratividade nos resultados produtivos e econômicos do projeto, permitindo por exemplo uma redução de 45 meses para 15 com a ampliação da capacidade produtiva da produção de biomassa da *Spirulina platensis* e aplicação na indústria de suplementos alimentares em forma de cápsulas.

Palavras chaves: Biomassa, *Spirulina platensis*, Análise técnico-econômica.

ABSTRACT

Microalgae biomass is increasingly highlighted in discussions about its applications and contribution to environmental sustainability, both for its potential for the development of biofuels and for the development of food, cosmetics and pharmaceutical products. The present study, developed in the city of Salvador, Bahia, covers the conceptual and practical aspects of the project, the technical and economic feasibility analysis process, and the subsequent implementation of a microalgae biomass production unit for application in the foods. The designed unit allows the realization of different processes, making possible the cultivation of several species of microalgae according to the industry of interest. The unit has a modular characteristic, allowing the production of 40 kg of biomass, allowing the limit of up to 120 kg using the same area occupied. Operating with a capacity of 40 kg, the project payment time is 45 months, based on the median sales prices obtained from the market study. Through the sensitivity study, it was possible to identify the impacts of price variation, capacity increase, sales form and attractiveness ratio in the productive and economic results of the project, allowing among others a reduction of 45 months to 15 with the expansion of the production capacity of *Spirulina platensis* biomass production and application in the food supplement industry in the form of capsules.

Keywords: Biomass, *Spirulina platensis*, technical-economic analyses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho Esquemático da Unidade de produção de Biomassa	39
Figura 2 - Desenho Técnico do Fotobiorreator	45
Figura 3 - Desenho estrutural do Skid	47
Figura 4 - Layout do sistema de automação da unidade	49
Figura 6 - Perda da Produção no Reator A1	68
Figura 7 - Unidade com sombrite 50% instalado	69
Figura 8 - Unidade em processo operacional com <i>Desmodesmus</i> sp.	69
Figura 9 - Inoculação reator A1	71
Figura 10 - Inóculo no Skid A.	72
Figura 11 - Distribuição do Inóculo para cultivo de 1.000 litros.	72
Figura 12 - Tanques de Circulação em Operação	73
Figura 13 - Unidade em processo de circulação.	74
Figura 14 - Sistema de secagem de biomassa em filtros	74
Figura 15 - Biomassa de microalgas úmida.	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo das tecnologias de cultivo.	40
Quadro 2 - Blocos Operacionais da Unidade.	44
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens dos materiais do Fotobiorreator.	46
Quadro 4 - Análise de comparativa de produtos a granel e encapsulados.	60
Quadro 5 - Comparativo dos preços de venda unitária.	61
Quadro 6 - Análise das Capacidades Instaladas.....	63
Quadro 7 - Análise da Taxa Mínima de Atratividade.	65
Quadro 8 - Localização da Unidade Instalada em destaque.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas e chuvas em Salvador no ano de 2016.....	42
Tabela 2 - Análise de investimentos por blocos operacionais.....	52
Tabela 3 - Mão de Obra necessária para instalação da unidade.	53
Tabela 4 - Custo de Operação para produção unitária de biomassa.	54
Tabela 5 - Custo por unidade com 60 cápsulas.	55
Tabela 6 - Preços de produtos encapsulados com 60 capsulas de 400mg.	57
Tabela 7 - Análise Inicial de Viabilidade para unidade de 40 kg de biomassa mensal.	58
Tabela 8 - Comparativo entre o investimento estimado e real.	75

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	14
2.0. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1. BIOMASSA DE MICROALGAS E SUAS APLICAÇÕES	16
2.2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA	18
2.2.1 <i>Sistemas Abertos</i>	18
2.2.2 <i>Sistemas Fechados</i>	19
2.3. APLICAÇÃO DAS MICROALGAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	20
2.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE PROJETOS.....	21
2.4.1 <i>Fatores internos</i>	21
2.4.2 <i>Fatores externos</i>	22
2.5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS	24
2.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	28
3.0 OBJETIVOS.....	30
3.1OBJETIVO GERAL.....	30
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	30
4.0 MATERIAIS E METODOLOGIAS	31
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.0 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES	76
7.0 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
8.0 REFERÊNCIAS.....	79
9.0 APÊNDICES	86

1.0 INTRODUÇÃO

As tecnologias de cultivo de microalgas estão em expansão no mundo com o objetivo da aplicação da biomassa produzida nas mais diversas indústrias, como por exemplo, para produção de biocombustíveis, alimentos, fármacos e cosméticos (KIRROLIA, 2013). Para a produção dessa biomassa, diferentes tecnologias podem ser utilizadas, sendo o parâmetro de escolha os recursos disponíveis, o mercado a ser explorado, e as condições ambientais do local de implantação, como por exemplo a irradiação solar, duração dos dias e temperaturas (RICHMOND, 2004).

Durante a definição de uma tecnologia para o cultivo de microalgas, os conceitos e metodologias de avaliação para indicar a viabilidade técnica e econômica de projetos devem ser aplicados, tendo como objetivo a redução dos riscos a respeito da eficiência da tecnologia, o dimensionamento de acordo com a capacidade projetada e definições de estratégias para maximizar o uso dos recursos no projeto construtivo (IFRIM *et al.*, 2014; TEBBANI *et al.*, 2015).

Já as tomadas de decisão acerca dos investimentos são baseadas em projeções que utilizam dados como os aspectos econômicos do projeto, custos de produção, preços de mercado e a taxa de retorno do investimento, podendo assim aplicar ferramentas que permitem identificar se o projeto apresenta capacidade de atender as expectativas de acordo com os valores previamente calculados, permitindo avaliar a viabilidade e riscos a partir dos cenários elaborados.

Muitas empresas têm sido criadas com o intuito de explorar o potencial das microalgas, porém as etapas de análise técnica e econômica tem sido superficialmente realizada na principal fase do empreendimento, que é a de projeto técnico, fase de definições na qual alterações referentes a tecnologia e processos podem ser realizadas com menor impacto financeiro, uma vez que estas análises em muitos casos tem sido falhas (BEAL *et al.*, 2015; BARLOW & SIMS, 2016)

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise técnica e econômico-financeira do projeto de implementação de uma unidade de produção de biomassa de microalgas na cidade de Salvador - Ba, abordando os aspectos técnicos referentes as condições locais, a tecnologia utilizada e processo operacional, em como cada um dos fatores impactam na eficiência e produtividade

do sistema, permitindo assim mensurar os equipamentos e materiais necessários para a implementação da unidade, assim como a capacidade produtiva e insumos necessários para a produção unitária.

Já os aspectos econômico-financeiros utilizam como base os dados técnicos e operacionais, uma vez que calculando o investimento necessário para a construção e insumos para a produção, é possível utilizando preços de mercado avaliar qual a margem de contribuição por produto, e consequentemente aplicar outras análises utilizadas com o intuito de identificar o tempo de pagamento do projeto e o retorno sobre o investimento.

Através de dados iniciais, é possível aplicar variações que permitem simular diferentes cenários, que podem ser baseados no aumento da capacidade produtiva, variações de preços de mercado, entre outros fatores que podem ser aplicados com o intuito de se avaliar os riscos de acordo com as condições atuais do mercado, que neste caso se aplicou ao de venda de biomassa de *Spirulina platensis* em embalagens de 60 cápsulas de 400mg, no mercado de atacado.

2.0. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. BIOMASSA DE MICROALGAS E SUAS APLICAÇÕES

O cultivo de microalgas é uma tecnologia amplamente utilizada em todo o mundo, uma vez que a sua aplicação pode ser realizada para diferentes objetivos, que variam desde a área ambiental até a interesses de desenvolvimento de produtos para a indústria (KIRROLIA, 2013). A utilização destes microrganismos oferecem vantagens que vão desde a fixação do CO₂, alta produtividade por área cultivada, quando comparada com outras espécies vegetais e possibilidade de águas salobras e salgadas, além de não competir com a produção de alimentos em relação a necessidade de terras cultiváveis (GRIS, 2011). Além disto as microalgas possuem um grande potencial biotecnológico, existindo possibilidades de aplicação em diversas áreas industriais, como na formulação de cosméticos e fármacos, devido à presença de antioxidantes e antibióticos, e também na indústria alimentícia devido a altas concentrações de proteínas e lipídeos (BRENNAN & OWENDE, 2010; CLOUSTETS *et al.*, 2014).

As microalgas são microrganismos fotossintéticos procariotos ou eucariotos, que podem se desenvolver rapidamente e sobreviver em condições difíceis, devido a sua estrutura unicelular ou multicelular simples (MATA, 2010). As microalgas possuem a capacidade de sobreviver em diferentes ecossistemas, tanto aquáticos como mares, lagos e em reservatórios de espécies vegetais como bromélias, até ecossistemas terrestres, como mangues, matas e brejos (RICHMOND, 2004). O número estimado de espécies de microalgas conhecidas é superior a 100 mil (TREDECI, 2004; OHSE, 2007), onde a limitação entre as espécies cultivadas está tanto relacionada ao grande número de espécies, quanto a algumas limitações referentes as tecnologias de cultivo, onde com as tecnologias existentes, não é possível cultivar em laboratório um determinado grupo de espécies.

Segundo Vonshak e Tortillo (1997), povos antigos que habitavam as margens de lagos na África já utilizada a biomassa de *Arthrospira* na produção de alimentos. Entretanto a produção com o objetivo comercial só teve início com o uso de tanques abertos, fotobiorreatores e reatores, no início do século XX (OLAIZOLA, 2003).

Diferentes espécies de microalgas estão sendo estudadas por grupos de pesquisa com o intuito de identificar quais são as linhagens mais adequadas para cada aplicação (SPOLAORE *et al.*, 2006 ;MATA, 2010). No Brasil, os primeiros estudos envolvendo o cultivo de microalgas ocorreram no início da década de 70, com estudos envolvendo algumas dezenas de cepas na Universidade de São Paulo – USP. Na década seguinte, a tecnologia de cultivo de microalgas começou a se difundir nos laboratórios de pesquisa por todo o Brasil, com a atuação de profissionais das mais diversas áreas, como fisiologia, ecologia, bioquímica, ecotoxicologia e aquicultura (LOURENÇO, 2006).

Os diversos sistemas de cultivo em larga escala devem ser comparados em suas propriedades básicas tais como, a sua eficiência na utilização da luz, capacidade de controle da temperatura, estresse hidrodinâmico exercido sobre as microalgas e capacidade de manter a cultura estéril, ou seja, sem a presença de outras espécies de microalgas ou predadores (BOROWITZAKA, 1999). Uma forma de realizar o controle do processo é através da avaliação de diferentes meios de cultura e condições físicas e químicas do sistema.

As microalgas podem ser cultivadas em diferentes modalidades, sendo classificado de acordo com a fonte de carbono utilizada, e a viabilidade de cada sistema é determinada por custos de terra, água, necessidade de manutenção e de propriedades intrínsecas das microalgas utilizadas (BRENNAN & OWENDE, 2010). No cultivo heterotrófico, as microalgas utilizam compostos orgânicos como fonte de energia e de carbono, enquanto no cultivo autotrófico, as células obtêm o carbono do CO₂, e a energia a partir da luz, produzindo biomoléculas através da fotossíntese (BARCKLAY, 1994; VARELA *et al.*, 2015). Já os cultivos mixotróficos, utilizam uma associação das modalidades, sendo utilizado um meio de cultivo com a presença dos nutrientes orgânicos e inorgânicos para a viabilidade da realização das duas rotas metabólicas (ANDRADE, 2008).

Ao introduzir variações no processo de cultivo, as células são submetidas a uma fase de adaptação, onde rotas metabólicas secundárias são ativadas para a ambientação às novas condições e isto pode induzir à algumas alterações na composição celular, como por exemplo o processo de aumento na concentração de lipídeos insaturados na membrana quando o cultivo é submetido a uma redução de

temperatura, processo que é realizado com o intuito de manter a fluidez da membrana plasmática (TORTORA, 2012). Além da concentração de lipídeos, é possível encontrar em outros estudos que esta variação no cultivo tem também a influência na produção de enzimas, pigmentos e no volume celular (VONSHAK & TORZILLO, 2004; VARELA *et al.*, 2015). Desta forma, visando a aplicação nas diferentes indústrias é fundamental a aplicação da metodologia de produção em escala industrial mais adequada de acordo com a destinação da biomassa.

2.2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Diferentes tecnologias são utilizadas para a produção de biomassa de microalgas, e a escolha do processo está associado a fatores como o mercado de aplicação da biomassa, os custos relacionados à energia, água e mão de obra, e o custo de terra (BOROWITZKA, 1999). A metodologia e estratégia de cultivo é de grande importância no processo da produção de biomassa das microalgas (LODI *et al.*, 2005), uma vez que a sua composição bioquímica não é determinada apenas pela espécie selecionada, uma vez que fatores como a temperatura, a intensidade da luz, nutrientes e agitação influenciam na composição da biomassa obtida (MIAO, 2010; SEO *et al.*, 2012). Os sistemas de produção mais utilizados são classificados em abertos ou fechados.

2.2.1 Sistemas Abertos

Os cultivos de microalgas em sistemas abertos são, em geral, realizados através do uso de lagoas e/ou tanques abertos, que utilizam a luz solar e CO₂ atmosférico (KROGER, 2012; FRANCO *et al.*, 2013), processo que representa atualmente uma grande parte dos cultivos realizados em escala industrial, e uma das principais razões é devido ao fato de que estes sistemas são operacionalmente mais simples e apresentam os custos de construção mais baixos quando comparados com os sistemas fechados (RICHMOND, 2004; MATA *et al.*, 2010).

Para a realização de cultivos em sistemas abertos, uma tecnologia amplamente utilizada são as *raceways*, que permitem a realização dos cultivos a baixos custos operacionais (HARUN *et al.*, 2010). Estes tanques são geralmente de fácil manutenção, uma vez que são abertos, o que facilita a operação de limpeza e remoção dos biofilmes (RICHARDSON *et al.*, 2012), porém uma grande desvantagem desta tecnologia está associada a uma elevada taxa de evaporação e

a maior facilidade de contaminação por espécies indesejáveis (SAHARAN *et al.*, 2013).

As contaminações interferem tanto na qualidade da biomassa, como também na produtividade do sistema, já que as espécies não desejáveis passam a competir por nutrientes com a microalga de interesse, podendo até mesmo superar as concentrações da microalga inoculada. Uma vez uma espécie não desejada é introduzida ao tanque, o processo de remoção deste micro-organismo se torna extremamente difícil, e para um maior controle, são utilizadas no processo de produção espécies que sobrevivem a condições específicas, limitando o número de contaminantes que se favorecem com a condição (OGBONNA, 1997).

As condições que favorecem determinadas espécies de microalgas podem estar associadas a diferentes fatores, como as elevadas temperaturas, pH ou salinidade. Um exemplo são espécies que sobrevivem bem a um pH elevado (9 a 11,5), que é o caso da *Spirulina platensis*, tornando-se espécie geralmente dominante em sistemas com estas condições de cultivo (BELKIN, 1991), o que reduz as possíveis contaminações.

Um outro exemplo de condições extremas que permitem o controle de contaminações é a concentração da salinidade, utilizada no cultivo da *Dunaliella salina*, espécie que, em geral, apresenta alta taxa de crescimento em águas altamente salinas, que por possuir em sua composição celular uma alta concentração de glicerol, permite a sua sobrevivência em condições de alta pressão osmótica (ORCHARD, 2007).

Sendo assim, as tecnologias de sistemas abertos permitem a produção de biomassa de microalgas em largas escalas a um custo de investimento relativamente mais baixo quando comparado com os sistemas fechados, e para garantir a qualidade da produção, são utilizadas principalmente microalgas que crescem em condições extremófilas, permitindo assim um maior controle das espécies invasoras e maior produtividade. Entretanto, mesmo com estas técnicas para um maior controle do processo, estes sistemas estão sujeitos à alteração da temperatura, luz e do clima (BARCKLAY, 1994).

2.2.2 Sistemas Fechados

Os cultivos em sistemas fechados são realizados através do uso de biorreatores que promovem uma separação do meio ambiente do cultivo. Esta

metodologia permite um maior controle das condições ambientais quando comparados aos sistemas abertos produção de biomassa de microalgas (HUNTLEY, 2006). Segundo ORCHARD (2007), um dos principais benefícios da aplicação desta tecnologia está associado a maior produtividade quando comparados com os sistemas abertos.

Para o desenvolvimento de projetos de produção de biomassa de microalgas em sistemas fechados, geralmente são utilizados sistemas de fotobiorreatores, unidades construtivas que apresentam estrutura tubular, de placas planas ou de serpentinas (SAMSON 1983; RAS *et al.*, 2011; ZAMALLOA *et al.*, 2012). Os fotobiorreatores são construídos preferencialmente construídos com materiais que permitem uma maior passagem de luminosidade, de preferência com a aplicação de materiais transparentes, o que torna a construção deste tipo de sistema mais custoso (WANG *et al.*, 2008).

O tipo de tecnologia a ser aplicada no processo de produção está diretamente relacionada com aplicação final da biomassa, onde para a produção de biocombustíveis a biomassa requer um menor controle de processo quando comparadas com a aplicação da produção de alimentos para consumo humano, onde a presença de determinados contaminantes podem trazer problemas graves para os consumidores, tendo esta última requisitos e padrões de controle químicos e microbiológicos mínimos para a venda (DERNER *et al.*, 2006). Desta forma, a indústria de alimentos apresenta um grande potencial para a aplicação de biomassa de microalgas.

2.3. APLICAÇÃO DAS MICROALGAS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Diante de diversas aplicações de mercado, um setor que vem apresentando vasto interesse pelas microalgas de microalgas é o de suplementos alimentares, segundo RICHMOND (2004), o uso da *Spirulina sp.*

Como fonte de alimento para humanos e animais ocorre a pelo menos 700 anos. Dentre as microalgas, a mais empregada como alimento em comunidades tribais em determinadas partes do mundo é a *Spirulina platensis* (SINGH, 1998). Para a indústria de alimentos as microalgas podem apresentar uma significativa importância, uma vez que em sua biomassa seca podem ser encontrados até 71% de proteínas e 21% de lipídeos (BECKER, 1994).

Diversos produtos vêm sendo lançados no mercado de produtos funcionais que apresentam microalgas em sua composição, produtos como bebidas, iogurtes e massas, sendo comercializada também em pó, cápsulas, pastilhas ou tabletes (PULZ E GROSS, 2004).

2.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE PROJETOS

Um projeto é um esforço empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Cada vez mais a execução de projetos tem recebido um maior foco, em função da busca das organizações em desenvolver iniciativas que permitam inovação e vantagem competitiva (SHENHAR & DVIR, 2007).

Desta forma, para uma melhor aplicação dos recursos, aumento da viabilidade de sucesso e redução dos riscos é recomendável a realização de uma análise técnica, que consiste na avaliação dos fatores internos e externos, as características construtivas e as condições ambientais, identificando os seus potenciais impactos para a obtenção do resultado esperado e consequentemente o sucesso do empreendimento, se baseando nos aspectos relacionados aos custos, prazos e qualidade (KERZNER, 2010).

2.4.1 Fatores internos

Em linhas gerais segundo CHAPMAN (2001), ZHAO (2010) e KERZER (2011) os pontos a seguir são caracterizados como riscos de fatores internos:

- Falhas no projeto básico e detalhado, e em relação as estimativas de prazos;
- Perda de Colaboradores e funcionários com qualificação para a execução da tarefa;
- Acidentes de trabalho;
- Falhas contratuais;
- Falhas na elaboração do orçamento;
- Falhas relacionadas a manutenção e equipamentos;
- Complexidade do empreendimento;

Dentre os fatores internos, para o projeto de produção de biomassa de microalgas, os fatores referentes ao projeto técnico, como por exemplo o material

utilizado para a construção do sistema é de grande importância, uma vez que, a presença de sais no meio de cultivo acelera a oxidação de estruturas metálicas, principalmente os materiais construídos a base de aço carbono (MARXEN *et al.*, 2005). É importante priorizar o uso de materiais compostos de aço inox e plásticos atóxicos, permitindo assim uma maior durabilidade do sistema e qualidade da produção.

Associado aos materiais constitutivos está o processo operacional, pois o bom controle do processo permite a minimização da necessidade de manutenção e proliferação de microrganismos não desejados no sistema. Para um maior controle do processo é necessário avaliar o comportamento da cinética de crescimento da microalga no sistema de produção, com o intuito de identificar o melhor momento para a colheita da biomassa.

Um processo operacional bem realizado permite a redução de perdas de produção devido à presença de contaminações e a formação de biofilmes, o que consequentemente reduz a necessidade de manutenção e limpeza do sistema. O sistema deve ser projetado para uma fácil limpeza e higienização dos equipamentos, visando reduzir a presença de biofilmes e possíveis acúmulo de biomassa entre uma manutenção e outra, aumentando a eficiência do processo e qualidade da biomassa produzida (COSTERTON, 1995).

Outro ponto importante está associado ao processo de separação da biomassa, pois devido ao processo de cultivo em meios líquidos, é interessante que o processo de separação e secagem da biomassa seja realizado em um prazo inferior a 48 horas, uma vez que devido a presença de altas concentrações de proteínas e outros nutrientes a biomassa de microalgas na presença de umidade é facilmente contaminada com a presença de fungos e bactérias (WANG *et al.*, 2008).

2.4.2 Fatores externos

Tão importante quanto os fatores internos, os fatores externos apresentam um impacto significativo no sucesso de um projeto que visa a implementação de um sistema de produção de biomassa de microalgas, sendo considerado de acordo com Chapman (2001), Zhao (2010) e Kerzer (2011), os pontos a seguir como fatores externos:

- Fontes reguladoras, como o caso da ANVISA para o licenciamento da biomassa de microalgas;
- Condições Naturais – Localização;
- Vandalismo;
- Impactos ambientais e sociais;
- Risco de mercado, através de uma avaliação dos custos de produção e estimativas de preço de venda pouco embasadas.

Considerando a unidade de produção de biomassa de microalgas (CHEN *et al.*, 2011), deve-se realizar uma análise mais aprofundada em relação aos aspectos referente a localização do empreendimento, segurança e os riscos de mercado:

Duração do Dia

Em unidades que utilizam a luz solar como a fase clara de produção, a localização em diferentes cidades do Brasil pode apresentar variações na produtividade. Por apresentar dimensões continentais, a duração do dia varia de acordo com o estado em avaliação, como por exemplo o dia 21 de junho de 2016, que enquanto na cidade de Chuí, no Rio grande do Sul tem 9:54:49 segundos de sol, a cidade de Boa Vista em Roraima tem 12:17:10 segundos de duração (<http://dateandtime.info>), apresentando uma variação de cerca de 2:22:21 segundos entre as localidades.

Temperatura

Um outro fator de grande importância é a variação de temperatura, uma vez que em temperaturas acima de 37°C pode ocorrer a morte celular de algumas espécies, e em temperaturas abaixo de 18°C pode ocorrer redução do metabolismo e consequentemente queda de produtividade do sistema. A temperatura ótima para a realização do cultivo de microalgas varia de 20 até 25°C.

Índice Pluviométrico

O índice pluviométrico pode apresentar um maior impacto a depender da metodologia de cultivo utilizada, uma vez que a utilização de sistemas abertos em regiões com muitas chuvas, pode promover a diluição do meio de cultivo,

aumentando o volume a ser processado, aumentando os custos de produção e reduzindo a eficiência do processo.

Todas as questões de variáveis internas e externas ao projeto devem ser avaliadas com o intuito de garantir uma produtividade média do sistema, visando também identificar os requisitos necessários para a implantação da unidade e assim garantir a produção estimada e consequentemente uma maior assertividade das análises econômicas e financeiras do projeto.

2.5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS

A partir da definição dos processos, os equipamentos, estrutura necessária e capacidade produtiva é realizado o estudo de viabilidade econômico-financeira, que tem por objetivo avaliar os fatores financeiros como o investimento necessário e custos operacionais, assim como aspectos econômicos, como o preço e mercado do produto, o tempo de pagamento, entre outras características referentes a resposta do mercado em relação a capacidade operacional e os aspectos financeiros, conjunto de instrumentos que é denominado de engenharia econômica, que são fundamentais para o processo de tomada de decisão (BLANK & TARQUIN, 2008).

O processo de produção da biomassa de microalgas, é responsável contribui com uma parcela significativa do custo total de produção (RUIZ *et al*, 2016), enquanto o processo de recuperação da biomassa, segundo BARROS *et al*. (2015) representa entre 20 e 30% do custo total.

Um importante dado para a realização da análise da viabilidade econômico-financeira é o valor referente ao investimento no projeto, que se refere ao aporte de valor necessário para a implantação da tecnologia proposta. Em sua composição, deve-se englobar todos os custos fixos e variáveis, como os materiais, equipamentos e mão-de-obra. O valor do investimento do projeto é de grande importância uma vez que é a partir dele que são calculados diferentes aspectos econômicos do projeto.

Receitas e despesas operacionais.

O montante que uma empresa recebe pela venda de sua produção é chamado de receita total ou receita operacional, resultado da venda de produtos ou

prestação de serviços. Para a fabricação de produtos, geralmente são necessários materiais e estruturas que permitam a manufatura, e os custos relacionados a estes aspectos são divididos entre fixos e variáveis, onde segundo Mankiw (2005):

- Custos Fixos – Custos que não variam de acordo com a ampliação ou redução da produção.
- Custos Variáveis – Custos que variam de acordo com o volume de produção.
- Despesas Fixas – São os custos que não estão diretamente relacionados com o processo produtivo e que não variam de acordo com a produção.
- Margem de Contribuição – É a receita total subtraída dos custos fixos e variáveis de fabricação.
- Lucro Bruto – Receita total da empresa reduzida dos custos operacionais (custos fixos e variáveis) e despesas fixas;
- Lucro líquido – Lucro bruto subtraído das taxas e impostos.

Segundo Gonçalves (2008), uma despesa é um gasto relativo a bens e serviços não correlacionados com a produção de outros bens e serviços, ou seja, dispêndio ocorrido fora da área de produção de bens e serviços, tendo que ser calculado separadamente a fim de não influenciar nos aspectos relacionados a análise de custos de produção unitária.

A partir destes valores iniciais é possível a realização cálculos referentes a diferentes pontos econômicos do trabalho em análise, como por exemplo, o ponto de equilíbrio, taxa de lucratividade, Retorno Sobre o Investimento (ROI), Valor Presente Líquido(VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Ponto de Equilíbrio

Também conhecida como a técnica “custo lucro volume”, o ponto de equilíbrio representa o nível de atividade da organização para o qual os gastos se igualam a sua receita. Este cálculo pode ser realizado tanto em unidades financeiras como em unidades de produtos. Para a realização da análise de custo do ponto de equilíbrio, deve-se dividir as despesas fixas pela margem de contribuição do produto, chegando assim ao número de produtos que precisam ser vendidos para se atingir o ponto de equilíbrio. Para se calcular o ponto de equilíbrio financeiro, basta multiplicar

o número de produtos do ponto de equilíbrio pela receita obtida na venda de cada unidade de produto.

Um fluxo de caixa em linhas gerais apresenta contribuições relacionadas as receitas e despesas operacionais, os valores residuais dos equipamentos e investimento inicial (HIRSCHFELD, 1992).

Taxa de lucratividade e rentabilidade

O lucro líquido é um dado importante para a avaliação de uma empresa e sua operação, e obtemos o seu resultado através da receita total subtraída dos custos de produto, custos variáveis e despesas fixas e variáveis da empresa, e os imposto e tributos do produto.

A lucratividade é dada em percentual e indica o ganho obtido sobre as vendas realizadas, e para calcula-la, basta dividir o lucro pelo total de vendas e multiplicar por 100 (MANKIW, 2005). Em linhas gerais a lucratividade nos responde se o negócio está justificando ou não a operação, ou seja, se as vendas são suficientes para pagar os custos e despesas e ainda gerar lucro.

Já a rentabilidade indica o percentual de retorno do investimento realizado na empresa. Seu cálculo é muito simples, bastando dividir o lucro líquido pelo capital investido e multiplicar por 100.

Enquanto a lucratividade demonstra os ganhos imediatos de um negócio em um período específico, a rentabilidade nos dá qual é o retorno sobre um investimento que foi feito na empresa em longo prazo.

Retorno sobre o investimento

Originado da Sigla em Inglês ROI (*Return on Investment*), o ROI representa o lucro ou prejuízo obtido após um determinado investimento. O mais comum é utilizar o ROI para avaliar investimentos operacionais, como a aquisição de máquinas, equipamentos, computadores. O cálculo do ROI pode ser obtido através da divisão da receita líquida de um empreendimento pelos custos operacionais.

Tempo de Pagamento

O Tempo de Pagamento (*Payback*) é um cálculo simples do tempo que levará para um investimento se pagar. O método *Payback* pode ser utilizado tanto por empreendedores que estão iniciando um negócio, quanto por gestores que querem implementar uma ideia e precisam saber o tempo de retorno do investimento. Para se calcular o *payback* devemos inicialmente dividir o investimento pelo lucro líquido no período, obtendo o número de meses para o pagamento do projeto. Uma das desvantagens desta técnica está associada do não acompanhamento do valor do dinheiro no tempo, desconsiderando também o custo de capital da empresa (COSTA JUNIOR, 2011).

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A taxa mínima de atratividade corresponde ao mínimo que um investidor se propõe a ganhar, ou ao máximo que alguém se propõe a pagar ao realizar um financiamento. Para Galesne *et al.* (1999), a taxa de desconto, ou a TMA mais apropriada para decisões de investimento é a taxa do custo de capital.

Esta é uma ferramenta bastante utilizada quando se tem diversas opções de investimento e é estimada com base nas principais taxas de juros praticadas pelo mercado como, por exemplo, a taxa básica financeira, a taxa referencial e a Selic. A taxa mínima de atratividade considera também o custo de oportunidade, o risco do negócio e a sua liquidez.

Ao ser aplicado ao VPL (Valor Presente Líquido), abaixo definido, quando o resultado apresenta um valor negativo, indica que as despesas são maiores que as receitas, ou seja, o projeto é inviável. Quando o VPL apresenta o resultado positivo, as receitas são maiores que as despesas, indicando a viabilidade do projeto. E quando o valor do VPL é zero, as despesas e receitas são iguais.

Valor Presente Líquido (VPL)

Também conhecido como o Valor Líquido Atual, é um método que consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento e somá-los ao valor do investimento inicial, usando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade. Desta forma ele representa a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto de investimento em valores monetários atuais, sendo possível avaliar as perspectivas dos resultados monetários e absolutos da implementação de um projeto (SOUZA *et al.*, 2005)

Nas finanças é amplamente utilizado para planejar investimentos a longo prazo. Como sabemos, um projeto só deve prosseguir se o valor atual de todas as entradas de caixa menos o valor atual de todas as saídas for maior que zero. Para se calcular o valor presente líquido devemos dividir o lucro líquido anual por 1 mais a TMA elevado ao período. Já o valor presente líquido descontado, devemos realizar o somatório entre os resultados dos períodos analisados.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno ou também conhecida como taxa de desconto do fluxo de caixa, a TIR é uma é a adição de uma taxa de juros implícita em uma série de pagamentos e recebimentos, que tem o propósito de descontar um valor futuro ou aplicar o fator de juros sobre o valor presente, permitindo levar ou trazer cada um dos valores do fluxo de caixa para uma data específica (HOJI, 2006).

Normalmente, o fluxo de caixa no momento zero é representado pelo valor do investimento ou empréstimo, os demais fluxos de caixa indicam as prestações devidas ou as receitas (NETO, 2006).

Para a tomada de decisão, analisou-se a TIR segundo:

- Aceita-se o projeto - Se a TIR for maior que a TMA
- Rejeita-se o projeto – Se a TIR menor que a TMA
- Cabe a decisão ao gestor – Quando a TIR for igual a TMA

O resultado da TIR deveria aumentar o valor de mercado da empresa e, consequentemente, a riqueza dos seus proprietários.

2.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Em empresas, projetos e negócios, frequentemente existe mais de um fator que implica na obtenção dos resultados inicialmente projetados, e a análise de sensibilidade visa determinar o efeito da variação de um determinado item nos resultados, podendo ser aplicado em diferentes áreas desde ensaios experimentais até a análise de investimentos. Segundo Hertz (1964), durante a realização das análises as diferentes variáveis do projeto são avaliadas de forma independente, com o intuito de identificar quais são as que mais influenciam os resultados.

Algumas técnicas permitem considerar todas as combinações das possíveis variáveis, considerando as inter-relações existentes e dando como resultado a distribuição de probabilidades de fluxo de caixa para cada período ou valores presentes líquidos para o projeto.

Esta análise, além de apresentar diferentes cenários em relação ao investimento, oferece em sua conclusão um cenário no qual se torna mais fácil a tomada de decisão de acordo com as premissas e perspectivas iniciais. A avaliação é realizada através da aplicação de diversas simulações utilizando como base diferentes variáveis do projeto, tais como os preços de mercado, capacidade produtiva, expectativa de retorno, sendo priorizadas aquelas que apresentam um impacto direto no sucesso e viabilidade econômica do projeto.

3.0 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Este projeto tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e econômico-financeira de uma unidade modular de produção de biomassa de microalgas localizada em região tropical.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar análise de viabilidade técnica do projeto de uma unidade de biomassa de microalgas na cidade de Salvador- BA com foco na produção sob o clima tropical.
- Realizar uma análise econômico-financeira da produção e aplicação da biomassa para o mercado de suplementos alimentares.
- Fazer uma análise de sensibilidade acerca dos parâmetros que influenciam na tomada de decisão sobre aspectos econômicos.
- Análise comparativa entre o estudo técnico e econômico-financeiro e a unidade de produção de biomassa de microalgas.

4.0 MATERIAIS E METODOLOGIAS

4.1 Visão Geral dos Objetivos e Metas

✓ Objetivo I - Realizar análise de viabilidade técnica do projeto de uma unidade de biomassa de microalgas na cidade de Salvador- BA com foco na produção sob o clima tropical.	
Meta 1: Análise geral do projeto de engenharia.	• Análise das características gerais do projeto, como a proposta, a metodologia e o sistema operacional.
Meta 2: Análise da Localização do Projeto.	• Os fatores ambientais da localização proposta; • A infraestrutura existente e programada;
Meta 3: Avaliação dos componentes pertencentes ao sistema.	A partir da avaliação geral do sistema, foram identificados os pontos específicos de cada um dos componentes da unidade, sendo avaliados em 4 blocos: • Sistemas de cultivo; • Sistemas de circulação; • Sistema de separação da biomassa; • Envase.

✓ Objetivo II- Realizar uma análise econômico-financeira da produção e aplicação da biomassa no mercado de suplementos alimentares.	
Meta 4: Análise de custos e orçamentação para implementação.	Realizar uma análise de custos para identificar o investimento para a construção da unidade de produção de biomassa de microalgas.
Meta 5: Composição Analítica do custo unitário.	Identificar os custos fixos e variáveis referente ao processo de fabricação da biomassa de microalgas e envase.
Meta 6: Análise de Mercado	A identificação dos preços a fim de buscar um padrão de concorrência do mercado de biomassa para suplementação alimentar vendida a granel.
Meta 7: Análise Econômica dos dados iniciais.	Ponto de Equilíbrio Econômico, Taxa de Lucratividade, <i>Payback</i> , Margem de Contribuição, Retorno sobre o investimento, Valor Presente Líquido descontado e Taxa interna de Retorno.

✓ Objetivo III - Fazer uma análise de sensibilidade acerca dos parâmetros que influenciam na tomada de decisão sobre aspectos econômicos.	
METODOLOGIA	
Meta 8: Identificação das variáveis críticas de sucesso.	Analisar no processo produtivo quais são as variáveis críticas para o sucesso do empreendimento.
Meta 9: Cenários para aplicações da biomassa no mercado.	Elaborar diferentes cenários com o intuito de avaliar os resultados econômico-financeiros na aplicação da biomassa no mercado.

✓ Objetivo IV - Análise comparativa entre o estudo técnico e econômico e a unidade de produção de biomassa de microalgas.	
METODOLOGIA	
Meta 10: Análise técnica de unidade instalada.	Analisar de forma comparativa o projeto técnico e as adaptações realizadas ao longo da implementação da unidade, e os impactos das alterações na produtividade do sistema.
Meta 11: Comparativo das projeções econômicas	Realizar uma avaliação econômico-financeira entre o projeto técnico e a unidade instalada.

4.2 Detalhamento dos Objetivos e Metas

Objetivo I - Realizar análise de viabilidade técnica do projeto de uma unidade de biomassa de microalgas na cidade de Salvador- BA com foco na produção sob o clima tropical.

Meta 1: Análise geral do Projeto de Engenharia.

A análise geral iniciou a partir da definição da tecnologia proposta pelo projeto e mapeamento das suas vantagens competitivas em relação as outras tecnologias utilizadas no processo de produção de biomassa de microalgas. Na comparação entre as tecnologias, foram avaliados os pontos referentes ao:

- Área requerida para a implantação do projeto

- Controle do Processo
- Riscos de contaminação
- Manutenção
- Custo de Implantação
- Produtividade do Sistema

Meta 2: Análise da Localização do Projeto.

A análise da localização foi realizada com base no tempo de insolação (duração do dia) ao longo do ano e em seguida nos aspectos climáticos da cidade de Salvador, sendo identificadas as temperaturas mínimas, medias e máximas mensais do ano anterior a implementação do projeto.

Após a análise dos fatores climáticos, foram avaliados os requisitos técnicos para a implementação da unidade, considerando a disponibilidade da área, água e energia de acordo com a demanda requisitada para operação da unidade.

Meta 3: Avaliação específica dos componentes pertencentes ao sistema.

A avaliação dos componentes do sistema iniciou com a elaboração de uma lista detalhada dos materiais/equipamentos utilizados para a construção da unidade de produção de biomassa de microalgas.

Em seguida, os componentes listados foram organizados em pacotes de trabalho de acordo com a sua função e aplicação. Após a organização em blocos, cada um dos equipamentos foi avaliado de forma independente, sendo avaliado:

- Procedência;
- Disponibilidade dos equipamentos no cenário nacional;
- Função e operação do componente no sistema;
- Durabilidade e resistência dos materiais.

Objetivo II- Realizar uma análise econômico-financeira da produção e aplicação da biomassa no mercado de suplementos alimentares.

Meta 4: Análise de custos e orçamentação para implementação.

A análise de custo e orçamento para a implantação foi realizada através de processo de estimativa *Bottom-up*, classificando cada um dos materiais de acordo

com o seu pacote de trabalho, e incluindo informações referente a mão de obra necessária para fechar a composição do investimento necessário.

A análise dos equipamentos e materiais foi realizada identificando:

- Nome do Equipamento;
- Marca;
- Especificação;
- Preço unitário;
- Preço Total;
- Representatividade no Investimento total.

Após a análise geral, foi realizada uma análise dos custos de acordo com os pacotes de trabalho e sua representatividade no investimento total para a implementação da unidade de produção de biomassa de microalgas.

O cálculo dos custos com recursos humanos foi realizado com base no regime horista, sendo incluído de forma independente como um pacote de trabalho na análise de investimentos.

Meta 5: Composição Analítica do custo unitário

Para a análise do custo unitário de produção, foram considerados os seguintes grupos de custos considerando inicialmente os valores com base na operação mensal:

- Mão de Obra;
- Energia elétrica;
- Insumos.

Para o cálculo da mão de obra, foram identificados os profissionais necessários para a operação e manutenção do sistema, e as cargas horárias necessárias para a realização das suas respectivas funções.

Para o cálculo da energia elétrica foram identificados os equipamentos que operam com energia elétrica, identificadas os consumos em KW/h. Os equipamentos foram classificados por forma de operação (contínuo e pontual), e utilizando a tabela de tarifas de energia para unidades industriais da cidade de Salvador, os custos por

equipamentos foram formados de acordo com a sua operação em horário de ponta e fora de ponta.

O cálculo dos insumos foi baseado no consumo de suprimentos por batelada, onde:

- O consumo de água mensal foi considerado de acordo a tabela de preços da embasa para fornecimento de água para a indústria;
- O nutriente utilizado no meio de cultivo foi o NPK 10:10:10, sendo considerado uma média de preços de mercado do produto, e calculado para uma concentração de 2,5g/l.

Os custos de encapsulação foram avaliados de forma independente, levando em consideração os seguintes materiais necessários para o processamento de 40kg mensais de biomassa:

- Cápsulas;
- Rótulos;
- Embalagens;
- Mão de Obra.

Após a formação do custo variável mensal, o valor foi dividido pelo número de produtos produzidos no mês para se obter o custo de fabricação unitário.

A formação do custo fixo foi composta a partir do aluguel do espaço se baseando no preço médio do aluguel industrial de área descoberta, acrescentado a uma taxa de depreciação de 10% ao ano.

Meta 6: Análise de Mercado

A análise de mercado foi realizada a través da listagem e cotação de produtos vendidos a preço de atacado no mercado, considerando as embalagens com 60 cápsulas de 400mg.

Após a listagem dos produtos e fornecedores, foi realizada uma análise estatística para se avaliar os principais valores para a realização das análises de sensibilidade, considerando os valores mínimos, médios e máximos.

Meta 7: Análise Econômica dos dados iniciais.

A partir das informações de investimento, custo unitário de fabricação e o preço de mercado, foi realizada uma análise inicial de viabilidade econômica, apresentando as seguintes informações:

- Margem de Contribuição – O cálculo da margem de contribuição foi realizado através da subtração dos custos de fabricação da receita;
- Despesas fixas – para o cálculo das despesas fixas foi considerado o aluguel da área industrial acrescentado a uma taxa de depreciação de 10% ao ano;
- Lucro Bruto – O Lucro bruto foi calculado a partir da subtração das despesas fixas da margem de contribuição;
- Impostos – O valor dos impostos foi calculado utilizando a taxa estadual de ICMS Multiplicada pela receita;
- Lucro líquido – O valor do lucro líquido foi obtido a partir da subtração dos impostos do lucro bruto;
- Ponto de equilíbrio – O cálculo do ponto de equilíbrio foi realizado em duas etapas. Sendo a primeira o cálculo do ponto de equilíbrio em unidades, que consiste na divisão das despesas fixas pela margem de contribuição. E o resultado desta análise deve ser multiplicada pelo valor da receita unitária para a obtenção do ponto de equilíbrio financeiro;
- Taxa de Lucratividade – Para a obtenção da taxa de lucratividade, foi dividido o lucro líquido pela receita;
- Payback – O cálculo do Payback foi dado a partir da divisão do investimento do projeto pelo lucro líquido;
- Retorno do Investimento (ROI) – para o cálculo do ROI a partir do lucro líquido multiplicado pelo período, foi realizada a subtração do valor do investimento, e o resultado da subtração foi dividido pelo valor do investimento.

Objetivo III - Fazer uma análise de sensibilidade acerca dos parâmetros que influenciam na tomada de decisão sobre aspectos econômicos.

Meta 8: Identificação das variáveis críticas de sucesso.

Para identificar as variáveis críticas de sucesso do projeto inicialmente foram avaliados os aspectos referente a forma de comercialização do produto no mercado,

seguido pela análise dos preços, da capacidade produtiva da unidade e a taxa de atratividade do projeto.

Meta 9: Cenários para aplicações da biomassa no mercado.

- Forma de comercialização da biomassa – A partir de dados do mercado de produtos comercializados a granel e encapsulados, foram avaliados os aspectos econômicos na aplicação da biomassa em ambos cenários;
- Preços de mercado – Uma vez definida uma das metodologias de venda mais atrativa, foi realizado uma análise do impacto de diferentes preços de mercado na viabilidade econômica do projeto;
- Ampliação da capacidade Instalada – A partir do preço médio de mercado, foram avaliados os impactos na viabilidade econômica com a ampliação da capacidade da unidade para 80 e 120 kg de produção de biomassa seca mensal;
- Taxa Mínima de Atratividade (TMA) – Nesta análise foram incluídos cenários com os valores de 10,12 e 15% de TMA, para projetos com capacidade de produção de 40, 80 e 120 kg mensal avaliando em seguida os impactos dos percentuais na análise para os cenários de 3 e 5 anos.

Objetivo IV - Análise comparativa entre o estudo técnico e econômico e a unidade de produção de biomassa de microalgas.

Meta 10: Análise técnica de unidade instalada

Uma vez construída a unidade, foi realizada uma análise do processo operacional, identificando as falhas e quais foram as medidas paliativas utilizadas para solucionar as problemáticas.

Meta 11: Comparativo das projeções econômicas.

Após a análise operacional, foi realizado uma análise comparativa entre o projeto técnico e a unidade instalada, incluindo os aspectos econômicos, considerando os impactos das adaptações no resultado econômico-financeiro do projeto.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

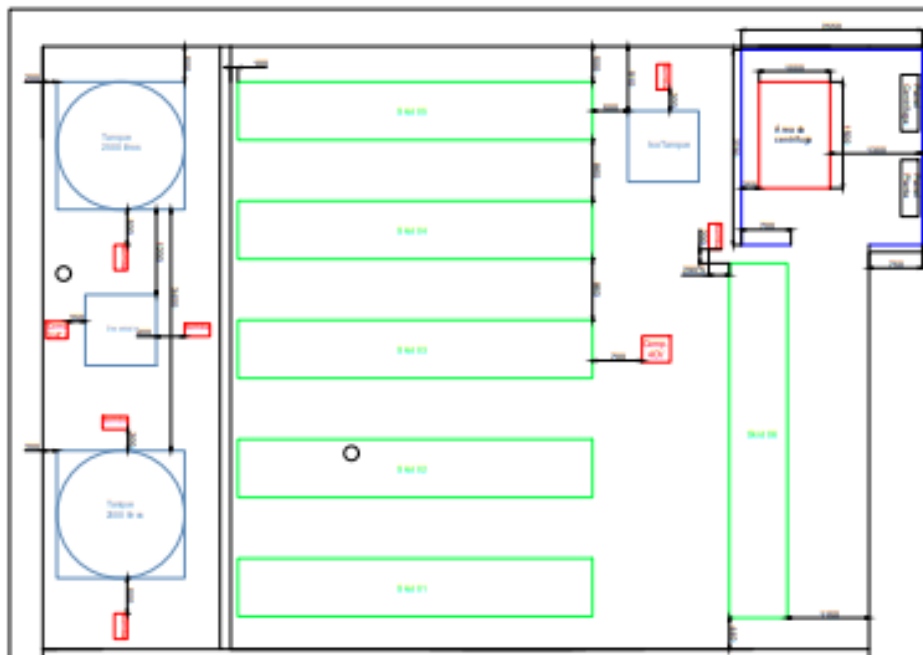
A Análise de Projetos busca evidenciar tanto características técnicas e microeconômicas, associado aos aspectos macroeconômicos do produto quando comparado a outros produtos concorrentes e substitutos no mercado. Desta forma, a análise técnica da unidade de produção de biomassa de microalgas, visa abordar tanto os aspectos do projeto técnico, avaliando a sua proposta construtiva e componentes, como também aborda as características financeiras como o investimento necessário para o desenvolvimento do projeto, juntamente com os aspectos econômicos, como o cenário do mercado de microalgas para suplementos alimentares e os preços executados, e a partir destes valores projetamos cenários econômicos e de viabilidade do projeto. Para a realização e aprofundamento das informações, iniciamos realizando uma análise técnica do projeto.

Análise geral do Projeto de Engenharia (Meta 01)

A tecnologia proposta neste trabalho consiste na implementação de um sistema modular de fotobiorreatores de placas planas associadas a um sistema de tanques. Esta é uma tecnologia desenvolvida pela Universidade Federal da Bahia em parceria para construção da unidade piloto com a empresa Balga Soluções Engenharia e Senai/Cimatec, cuja tecnologia encontra-se em processo de solicitação de patente (BR1020180044249), depósito realizado no dia 06 de março de 2018.

Esta tecnologia permite o cultivo de diferentes espécies de microalgas, visando inicialmente explorar o mercado de suplementos alimentares, porém com a perspectiva de entrada no mercado dos cosméticos. A unidade permite também, ao mesmo tempo que se realiza o processo produtivo, separar módulos para a realização de trabalhos de otimização visando o desenvolvimento de processos que permitam aumentar a capacidade produtiva.

Figura 1 - Desenho Esquemático da Unidade de produção de Biomassa



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017)

A unidade proposta consiste em um sistema fechado, com capacidade operacional de produção de 7.500 litros de cultivo por batelada, as unidades básicas do sistema são os suportes, comumente chamados de *skids*, responsáveis por fornecer o suporte para a instalação dos fotobiorreatores e sistemas de aeração e hidráulico. A unidade é formada por 6 *skids*, cada um composto por 5 fotobiorreatores, totalizando 35 fotobiorreatores na unidade básica projetada para a capacidade de produção de 40kg mensais de biomassa.

Na Figura 1, são observados os suportes (em verde), que operam de forma integrada aos tanques de circulação (círculo azul do lado esquerdo), ou de forma independente, permitindo a sua aplicação em processos de acúmulo de bioativos, especialmente o *skid* à direita da imagem, no qual é submetido a uma maior incidência luminosa quando comparados aos demais. O aumento da incidência luminosa é um fator que pode contribuir com o acúmulo de antioxidantes e pigmentos.

Com a perspectiva de aplicação na indústria de alimentos e produção de *Spirulina platensis*, o sistema fechado permite um maior controle do processo de produção, considerando que o contato com os fatores ambientais como a chuva, poeira e animais, é reduzido. Segundo Andrade (2008) é possível a obtenção de até

2,83g/L em cultivos da *S. platensis*. A expectativa do projeto é a obtenção de uma produtividade média de 2,2g/L, no tempo que varia entre 8 e 10 dias de cultivo, dependendo das condições ambientais.

Desta forma, de acordo com o volume operacional da unidade, a expectativa de produção é de 13,5 kg de biomassa por batelada, permitindo uma produção mensal de aproximadamente 40 kg de biomassa seca mensal na unidade básica.

O projeto construtivo de uma unidade modular permite a fácil ampliação do sistema a baixos investimentos para o aumento de produção. A unidade básica foi desenvolvida para a produção mensal de 40 kg mensal, porém no mesmo espaço útil é possível implementar melhorias que permitem a produção de até 120 kg de biomassa seca por mês.

Resultados de Avaliação Técnica

Atualmente, existem diferentes tecnologias para a produção de biomassa de microalgas, e em geral, as mais utilizadas são classificadas em sistemas abertos e fechados.

Quadro 1 - Comparativo das tecnologias de cultivo.

Parâmetro	Sistemas Abertos	Sistemas Fechados
Espaço Requerido	Muito	Pouco
Risco de Contaminação	Alto	Médio a Baixo
Controle do Processo	Limitado	Possível
Manutenção	Fácil	Difícil
Custo de Construção	Médio	Alto
Concentrações de Biomassa na Colheita	Baixo	Alto
Desgaste do Material de Construção	Baixo	Usualmente Alto

Fonte: Ogbonna, 1997 (adaptado)

Dentre as principais vantagens do sistema abertos está o baixo custo de implantação quando comparados com os sistemas de cultivo em tanques abertos (DEMIRBAS, 2010; RICHARDSON *et al.*, 2012), porém este está associado as grandes chances de contaminações e influência acentuada dos fatores climáticos, fatores que em sistemas fechados podem ser melhor controlados. Um ponto negativo dos sistemas fechados está na manutenção, pois por se tratar de unidades básicas de produção, o fotobiorreator, cujo volume individual é relativamente baixo,

e o número de unidades no sistema são bastante expressivos, tornando o processo de manutenção mais trabalhosa, quando comparada com os sistemas abertos.

De acordo com Borowitzka (2007), a principal vantagem comparativa dos sistemas fechados em relação aos sistemas abertos é a obtenção de maiores produtividades de biomassa microalgal, bem como a possibilidade de maior controle das condições de cultivo. Segundo Chang *et al* (2016), os cultivos em fotobiorreatores permite uma melhor uniformidade da destruição da população no sistema, aumentando a produtividade e reduzindo a população restrita ao acesso de luz.

As tendências de mercado estão ampliando as pesquisas e investindo nos sistemas fechados de produção, uma vez que permitem uma maior produtividade por área produzida quando comparados com os cultivos abertos. Novas tecnologias estão surgindo, como o de cultivos em membranas, que permitem a redução dos custos operacionais, principalmente relacionados ao processo de recuperação da biomassa. Porém estas tecnologias estão em processo de desenvolvimento, avançando em relação ao controle do processo, a fim de atingir a viabilidade para a produção em escala industrial.

Assim, na tentativa de conseguir um maior controle das condições climáticas e de produção, produtividade por área e concentrações de biomassa na colheita, a tecnologia escolhida foi a de sistemas fechados. Além de que este tipo sistema pode permitir a exploração de mais de 100.000 espécies de microalgas conhecidas, corroborando com resultados obtidos por Tredeci (2004) e Ohse (2007).

Análise da Localização do Projeto (Meta 02)

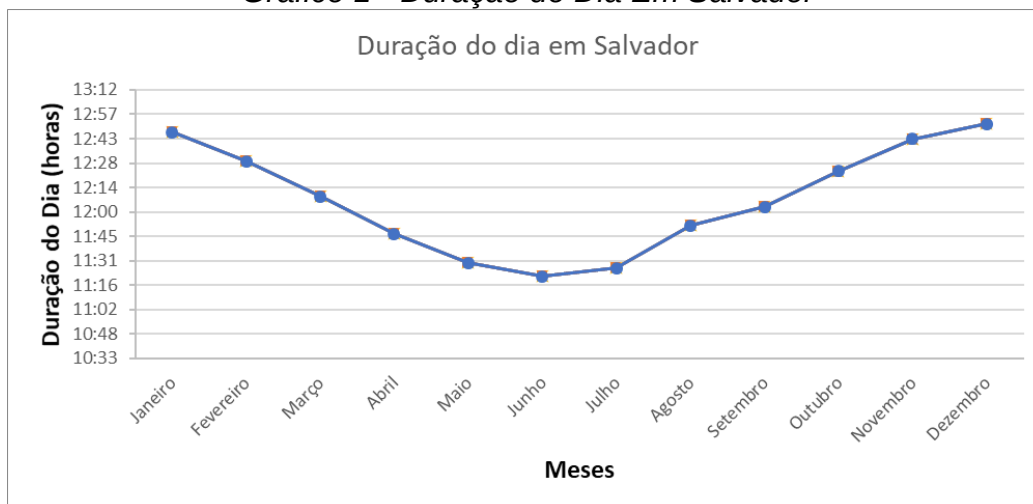
Em diferentes condições de luminosidade, temperatura e nutricional, as microalgas podem apresentar taxas de crescimento diferentes (SCOTT, 2010). Desta forma dos principais fatores a serem analisados é a localização do empreendimento, pois este tem uma influência direta na capacidade produtiva do sistema.

Duração do Dia

O Brasil é um país que tem dimensão continental, portanto os estados podem apresentar diferenças significativas na duração do dia. Na análise avaliação de

duração do dia, a capital do estado da Bahia não apresentou grandes variações de duração do dia.

Gráfico 1 - Duração do Dia Em Salvador



Fonte: Datatime

A cidade de Salvador apresentou no ano de 2016 uma média de 12:07 horas de dia, sendo 26 de junho dia mais curto com 11:21 horas de sol, e 23 de dezembro o dia mais longo com 12:54 horas de dia. Esta duração do dia é um importante fator para o crescimento das microalgas, uma vez que a tecnologia visa utilizar iluminação natural, uma média anual de 12:00 apresenta um impacto positivo no crescimento. Com o aumento da intensidade, aumenta também a taxa de fotossíntese, até atingir uma taxa máxima, sendo considerado o ponto de saturação (LEE, 2001).

Médias das temperaturas ao longo do ano

A temperatura no sistema de cultivo apresenta impacto direto na produtividade do sistema de produção de biomassa de microalgas. Além do impacto das temperaturas altas, em condições de clima frio, as microalgas podem apresentar uma redução no metabolismo.

Tabela 1 - Temperaturas e chuvas em Salvador no ano de 2016.

Temperaturas e chuvas da Cidade de Salvador em 2016												
Descrição	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura média (°C)	27	27	26	26	25	24	23	23,8	25	25	26	26
Temperatura mínima (°C)	23	23	23	23	22	21	20	20,6	21	22	22	22
Temperatura máxima (°C)	30	30	30	29	28	27	26	27	28	29	29	30
Chuva (mm)	76	96	161	252	285	205	189	136	74	79	121	107

Fonte: Climatempo

No ano de 2016, a temperatura na cidade de Salvador, variou em uma média anual de 10°C, sendo a temperatura média máxima no mês de janeiro, no valor de 30,4°C e a mínima no 20,4°C no mês de julho. A temperatura que apresentou os melhores resultados para o crescimento de *Spirulina* sp. e *Chlorella* sp. foi de 25°C, temperatura próxima da qual encontra-se a maior parte dos meses no ano na cidade de Salvador.

Já o índice pluviométrico está diretamente relacionado a nebulosidade, fator que pode impactar a produtividade da unidade de produção de biomassa de microalgas. A média anual do índice pluviométrico de Salvador é de 148 mm, ficando abaixo da média anual nacional.

Desta forma, a cidade de Salvador apresenta condições ambientais favoráveis para a implementação de uma unidade de produção de biomassa de microalgas, uma vez que as variações de temperatura ao longo do ano não apresentam grandes diferenças entre os meses quentes e frios.

Infraestrutura Programada

Para a implementação do projeto da unidade de produção da biomassa de microalgas são necessários alguns requisitos como:

- Energia – Disponibilidade de corrente 380 V para a operação dos equipamentos de grande porte listados na unidade;
- Água – ponto de água que permita a o uso de 30 m³ mensal;
- Área – Área de 10 m² terraplanada, preferencialmente com piso impermeável que pode ser asfalto, concreto, piso.

Avaliação específica dos componentes pertencentes ao sistema (Meta 03)

Após a análise geral do sistema e da localização, foi realizada uma análise detalhada dos componentes construtivos, com o intuito de avaliar tecnicamente cada um dos componentes do sistema. Para uma melhor avaliação, a unidade foi dividida em pacotes de trabalho (blocos operacionais) com o intuito de melhor entender os componentes e suas funções no sistema.

Quadro 2 - Blocos Operacionais da Unidade.

Blocos operacionais	
Bloco	Equipamentos avaliados
Sistema de Cultivo	Espécie, reatores, aeração e suporte
Sistemas de Circulação	Automação, tanques e tubulações
Sistema de Separação da biomassa	Centrífuga e estufa
Sistema de Envase	Máquina de Encapsulação

Fonte: Próprio Autor (2018)

Os blocos operacionais estão organizados de acordo com a função do equipamento e organização do sistema, a lista completa dos equipamentos está no Apêndice I. Para uma avaliação mais aprofundada, cada material, equipamento ou componente foi avaliado dentro dos blocos operacionais. Por se tratar de uma unidade multipropósito, com a possibilidade de cultivo de diferentes espécies para a exploração de mercados como o de biocombustíveis e cosméticos, o sistema de envase foi avaliado separadamente, uma vez que em determinados mercados e cenários a biomassa é comercializada a granel.

Bloco I – Sistema de Cultivo

Para a realização do cultivo de microalgas é necessária uma estrutura básica para que permita a sua sobrevivência no meio. Desta forma, o primeiro bloco foi composto da microalga, dos fotobiorreatores, do sistema de aeração e dos *skids*.

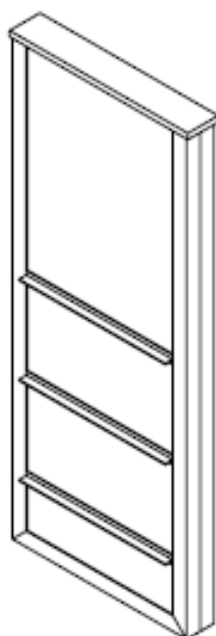
A microalga

As microalgas são microrganismos fotossintéticos com requerimentos nutricionais relativamente simples e cuja biomassa pode ser empregada para obtenção de biocompostos, como suplemento alimentar humano, alimento animal ou fonte de biocombustíveis (ANDRADE, 2008). Desta forma, em um estudo de caso pode ser aplicada diferentes espécies de microalgas, sendo selecionadas de acordo com o mercado de interesse. Com o objetivo de aplicar a biomassa na indústria de alimentos, a espécie inicialmente escolhida para produção foi a *S. platensis*, por se tratar de uma microalga com composição apropriada para o uso como complemento alimentar, podendo ser aplicada no combate à desnutrição (FOX, 1996; SIMOPOULOS, 2002).

Fotobiorreator

Fotobiorreatores são estruturas construtivas que apresentam partes ou totalidade das superfícies transparentes que permitem a passagem da luz para a parte interna do sistema (JANOSKA *et al*, 2017). Na unidade de produção de biomassa de microalgas o modelo construtivo aplicado foi o de fotobiorreatores de placas planas (MATA *et al.*, 2009).

Figura 2 - Desenho Técnico do Fotobiorreator



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017)

Durante o processo de operação, o fotobiorreator de placas planas permite que o cultivo seja realizado em uma coluna de água superior ao comumente utilizados em sistemas abertos, o que permite um aumento da produtividade por área do sistema. Uma problemática do sistema está associada a dificuldade de manutenção e limpeza (OGBONNA, 1997), por cada unidade trabalhar em um volume operacional relativamente baixo, aumenta a demanda de mão de obra na manutenção e limpeza do sistema.

Os equipamentos utilizados na unidade, cujos materiais são todos de origem nacional, e seguem listados no Quadro 3.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens dos materiais do Fotobiorreator.

Lista de Materiais do Fotobiorreator		
Material	Vantagens	Desvantagens
Placas de Acrílico 2mm -	Preço comparado aos substitutos.	Durabilidade, quando exposto ao sol.
Perfil em U Aço carbono 10X4cm	Custo Unitário	Durabilidade, quando em contato com líquidos.
Cantoneira Aço carbono 2mm 1,5X1,5cm	Custo Unitário	Durabilidade baixa
Parafusos atarraxados aço Inox 4,2mm	Durabilidade	-
Tubo PVC 20mm	Custo Benefício	Manutenção/Limpeza
Difusor Tubular	Operação	Manutenção e Limpeza
Adaptador de caixa d'água 32' e 20'	Custo Benefício	-
Silicone SikaFlex	Prevenção de Vazamentos	Manutenção e Limpeza

Fonte: Próprio Autor (2018).

Dentre os materiais utilizados na construção do projeto, podem-se listar vantagens e desvantagens para cada um dos componentes. O acrílico é um polímero termoplástico transparente. Quando exposto ao sol, o material perde a sua transparência e passa a assumir um tom turvo. Este tipo de material é adequado para uso em ambientes fechados sem exposição aos raios solares. Não sendo o material mais adequado para a construção do sistema, uma vez que quando exposto ao sol o material começa a perder suas características.

As laterais do fotobiorreator será construído com o Perfil em U de aço carbono pintado. O aço carbono, quando em contato com a água, começa a apresentar pontos de oxidação). Os meios de cultura das microalgas são constituídos por nutrientes compostos por macronutrientes (carbono, nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, silicato, enxofre e potássio) e micronutrientes (ferro, manganês, cobre, entre outros) (LOURENÇO, 2006). Assim, recomenda-se a substituição do aço carbono para materiais que apresentem maior resistência a oxidação, como por exemplo, o aço inox.

Para fixar o acrílico na moldura de aço carbono, foram utilizados parafusos atarraxados de 4,2mm juntamente com o silicone Sikaflex®. O silicone foi aplicado com o intuito de reduzir a possibilidade de vazamentos. Já os parafusos foram utilizados visando uma maior fixação do acrílico na chapa metálica, uma vez que

devido aos repetidos processos de deformação do acrílico durante os ciclos operacionais, a fixação com os parafusos aumenta a durabilidade do equipamento. Porém o parafuso utilizado ultrapassa o acrílico e fica com a extremidade exposta, aumentando as chances de contaminação e expondo a risco os operadores durante o processo de limpeza.

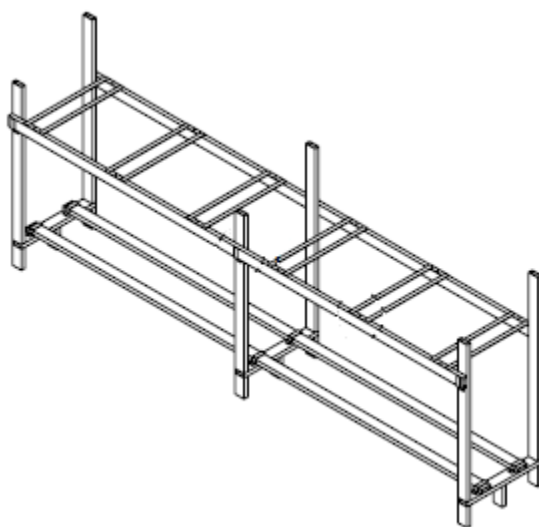
Os adaptadores de caixa d'água foram utilizados com o intuito de introduzir e remover os fluidos, sendo o de 32" localizado na base do reator, e outros dois de 20" localizados na tampa. Estes adaptadores permitem que seja realizado o transporte dos fluidos sem que ocorram vazamentos no sistema. Um dos adaptadores da tampa está conectado ao tubo que alimenta o difusor.

O difusor de gases é um equipamento construído com PVC e uma mangueira emborrachada com microfuros em sua superfície, que permitem a melhor difusão dos gases. O equipamento utilizado apresenta em uma das suas extremidades uma entrada, o que pode promover o acúmulo de biomassa e consequentemente redução da produtividade do sistema.

Suporte (Skid)

O suporte é uma estrutura metálica construída com o objetivo de reduzir o contato dos reatores com o solo, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Desenho estrutural do Skid.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017)

Nos skids, as barras de proteção para evitar o tombamento dos reatores são aparafusadas nas laterais, com o intuito de facilitar o processo de limpeza e remoção dos equipamentos para a manutenção.

Para alimentação da aeração dos fotobiorreatores, o sistema conta com um compressor radial de 5CV. Na unidade, o compressor radial é responsável pela homogeneização e aeração dos fotobiorreatores. Uma vez que a unidade foi projetada para ampliação, este equipamento na unidade projetada para a produção de 40 kg de biomassa, opera em média com 35-45% da capacidade.

BLOCO 2 – SISTEMA DE CIRCULAÇÃO

Integrado ao sistema de reatores existe um sistema de circulação, que conecta todos os reatores a um sistema de homogeneização. Este sistema apresenta sua operação toda automatizada, comandado a partir de um CLP, que envia os comandos de ativação de bombas e acionamento de válvulas.

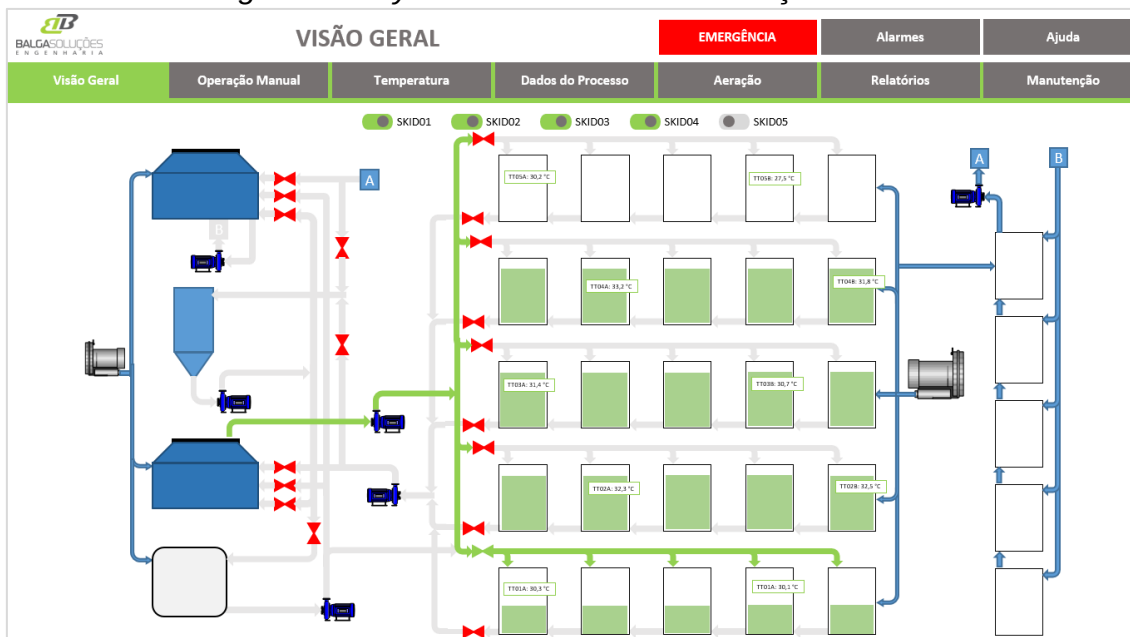
Automação

A automação industrial é a aplicação de componentes elétricos e computacionais com o intuito de permitir o a operação de unidades de forma automatizada, reduzindo a necessidade da ação humana (CHEN *et al.*, 2011).

A unidade de produção de biomassa de microalgas conta com um CPL Motus10, que permite o controle e operação das bombas de forma automatizada, permitindo a implementação de ciclos periódicos no sistema, realizados com o intuito de homogeneizar o sistema e corrigir possíveis diferenças de crescimento entre os reatores devido ao posicionamento na unidade, pois pequenas variações da condição de crescimento em sistemas de microalgas pode influenciar na cinética de crescimento.

A plataforma ScadaBr foi utilizada para o desenvolvimento do sistema de supervisão e controle da unidade. Este é um sistema tipo SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), e para a operação do sistema foi embarcado em um microprocessador *Raspberry Pi* modelo 2b, com a comunicação direta com o CPL responsável pelas atividades da unidade, permitindo a execução de o acesso ao banco de dados de forma remota através da internet, e para acessar o sistema basta um dispositivo com navegador de internet, não sendo necessário a instalação de softwares nem aplicativos.

Figura 4 - Layout do sistema de automação da unidade.



Fonte: Manual Balga de Operação e controle da Unidade de produção de microalgas

Através desta tela, podemos observar na parte superior os botões referente as opções de controle da unidade, como a realização de operação de forma manual, o controle do sistema de temperatura, os dados do processo, o sistema de aeração, alarmes, relatórios, ajuda e manutenção.

Através destes botões, é possível acompanhar o processo produtivo, e determinar por exemplo a temperatura necessária para o acionamento da circulação, permitindo em dias de temperaturas mais elevadas, o sistema identificar que as temperaturas nos reatores atingiram valor de interesse e induzir uma circulação para o controle.

Tanques

Com o intuito de aumentar a produtividade do sistema e controlar a temperatura, a unidade conta com dois tanques de 2.500L para o cultivo das microalgas, e um tanque de 1.000L para a produção do meio.

Os cultivos são homogeneizados a partir da circulação do sistema, e também são alimentados por um compressor radial de 3CV, responsável por homogeneizar os tanques de 2.500L, e também homogeneizar a solução de meio de cultura, onde

nos tanques de cultivo existem instalados 5 difusores tipo prato em cada tanque, e no tanque de 1.000L foram instalados 03 (três) difusores tubulares.

Tubulações

Utilizadas para integrar os sistemas de válvulas e bombas tempos os tubos e conexões, com o intuito de permitir o deslocamento dos fluidos e os ciclos de homogeneização dos sistemas, visando controlar as temperaturas e equalizar a taxa de crescimento entre os fotobiorreatores, e na unidade a tubulação utilizada para este processo é composta de tubos de PVC de 32 polegadas. Os tubos e conexões conectam todo o sistema, sendo possível o desligamento de reatores de acordo com o interesse.

Os tubos são de PVC, utilizado para sistemas hidráulicos, o que oferecem uma segurança contra vazamentos e imprevistos. Uma desvantagem deste sistema está relacionada a sua manutenção, pois é comum a formação de biofilmes, que consistem em uma comunidade complexa e estruturada de microrganismos, envoltos por uma matriz extracelular de polissacarídeos, aderidos entre si a uma superfície ou interface (COSTERNON *et al.*, 1995), que quando aderidos a superfície interna dos reatores e tubulações, dificultam o processo de limpeza e aumentam os índices de contaminações. Desta forma, a limpeza do sistema se torna ineficiente por conta da complexidade das redes de tubos e conexões e a inviabilidade de limpeza mecânica do sistema.

BLOCO 3 – Sistema de separação

Após os 10 dias do processo de produção, o cultivo é submetido ao processo de recuperação com o intuito de obter a biomassa seca como restado do processo. Para isto do tanque 2 de circulação, através do auxílio de uma bomba, o cultivo é direcionado para a centrífuga, na qual é realizada a separação da biomassa úmida do meio de cultivo, que segundo Dassey & Theegala (2013), demonstraram que o uso deste equipamento é vantajoso quando o processamento de grandes volumes, compensando o consumo energético através da eficiência do processo. Segundo PHAL *et al.* (2013), a dificuldade no processo de separação está relacionada ao tamanho e densidade das células das microalgas.

Este equipamento é responsável pela separação da biomassa em suspensão da água, permitindo a obtenção de biomassa úmida. Este equipamento apresenta um grande impacto no custo do projeto, porém será utilizado para viabilizar o

processo de recuperação da biomassa úmida, que depois de obtida será direcionada para o processo de secagem em estufas, realizada em *overnight* (12 horas).

Após a secagem, a biomassa é direcionada para um sistema de trituração, com o intuito de tornar homogêneo o produto, e em seguida é direcionado para um sistema de envase, na qual o produto é estocado em embalagens de 1 kg.

Estima-se que a cada ciclo a unidade apresente uma capacidade de produção de 13,3kg, totalizando 40kg de biomassa seca.

BLOCO 04 – ENVASE

Neste projeto, o objetivo é a comercialização da biomassa produzida cápsulas de 400mg. Para a confecção das cápsulas, a biomassa seca e processada é direcionada para uma encapsuladora semiautomática cujo processo operacional é dividido em 3 fases.

Na primeira fase, a de alimentação das cápsulas, o equipamento retifica e direciona as cápsulas para o interior de jogo de disco, ao mesmo tempo que o sistema faz a abertura dos invólucros. Na segunda fase é realizado o preenchimento com o pó de forma automática, e por fim na terceira fase é realizado o fechamento e travamento das cápsulas. O equipamento permite a confecção de cerca de 10.000 cápsulas por hora.

Os produtos produzidos pela empresa serão comercializados em embalagens com 60 capsulas de 400mg, o que permite a empresa uma produção mensal de 1.666 unidades.

Análise econômico-financeira do anteprojeto de produção de biomassa de microalgas.

Análise de custos e orçamentação para implementação (Meta 04)

Para a realização da estimativa de custos para a construção da unidade de produção de biomassa de microalgas, foram considerados os custos de materiais, equipamentos e mão de obra.

A estimativa utilizada para a realização da estrutura de custos para a implementação do projeto foi a estimativa *Bottom-up*, que é utilizada quando dispomos dos dados detalhados dos requisitos, da solução técnica, de elementos

contratuais e das estimativas de uso dos recursos. Esta técnica requer que todos os custos – RH, materiais, uso de ativos, impostos, encargos sociais, etc, sejam levantados de acordo com os pacotes de trabalho.

Nesta avaliação, foram considerados os pacotes de trabalho (cultivo, homogeneização, separação e envase). Um quinto pacote de trabalho incluído de forma independente foram os recursos humanos, permitindo uma melhor identificação dos impactos dos materiais em cada unidade construtiva, não sendo considerada a hora máquina no processo de implantação da unidade, conforme observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de investimentos por blocos operacionais

Pacote de Trabalho	Valor	% do investimento
Sistema de Cultivo	R\$ 56 345	20%
Sistema de Circulação	R\$34 462	12%
Sistema de Separação	R\$ 133 139	48%
Sistema de Envase	R\$ 27 000	10%
Mão de Obra	R\$ 27 000	10%
Total	R\$ 277 946	100%

Fonte: Próprio Autor (2018).

Podemos observar que o maior custo do projeto está associado ao processo de separação. Este valor está associado principalmente a aquisição da centrífuga industrial, que apresenta um valor de R\$ 131.000,00 reais, sendo somente este equipamento responsável por 48% do investimento do projeto.

Os custos de um projeto com recursos humanos para a montagem da unidade estão avaliados em 10% do custo total do projeto. Para o cálculo dos recursos humanos foi levado em consideração o regime horista.

Tabela 3 - Mão de Obra necessária para instalação da unidade.

Profissão	Descrição da Atividade	Horas necessárias	Valor da Hora	Valor total	% do custo total
Auxiliar de Escritório	Realização das compras	120	R\$	30,00	R\$ 3 600,00 13%
Engenheiro de Automação	Desenvolvimento do Código do Sistema para automação da unidade; e validação da operação	60	R\$	120,00	R\$ 7 200,00 27%
Caldereiro	Corte e Soldagem e montagem dos Skids e Reatores	120	R\$	50,00	R\$ 6 000,00 22%
Auxiliar Geral	Montagem do sistema elétrico e hidráulico	250	R\$	20,00	R\$ 5 000,00 19%
Técnico e Automação	Instalação da parte elétrica, sensores, e equipamentos.	220	R\$	40,00	R\$ 8 800,00 33%

Fonte: Próprio Autor (2018).

De acordo com a Tabela 3, o principal impacto do projeto está associado à contratação do Engenheiro de automação, cuja função está no ajuste do software para a operação da unidade e validação do sistema operacional. A parte de instalação do sistema será realizada por um técnico de automação, ação que permite a redução dos custos com os recursos humanos. As 250 horas destinadas a contratação de auxiliar geral, podem ser organizadas de acordo com a demanda, sendo contratados uma, duas ou três pessoas simultaneamente para viabilizar a realização de atividades em paralelo. O caldeireiro será responsável pela confecção dos reatores e suportes com o auxílio do auxiliar geral. O projeto conta também com uma auxiliar de escritório responsável por realizar as compras e pedidos do projeto.

Através da soma do valor de equipamentos e da mão de obra necessária, podemos chegar ao custo associado a construção da unidade, que para este projeto foi estimado no valor de R\$ 277.946,78, sendo consideradas as estimativas para a implantação da unidade de produção de 40 kg de biomassa mensal.

Composição Analítica do custo unitário (Meta 5)

Entende-se como o custo unitário de uma atividade ou serviço o somatório dos custos previstos para a sua execução, que no caso da unidade de produção de biomassa de microalga, foram considerados os custos mensais de operação, cujo produto do processo, que se refere ao produto obtido a partir da operação de um determinado processo, na condição da implantação da unidade básica, são 40 kg de biomassa.

Para a realização da análise dos custos operacionais, foram identificados os componentes necessários para a produção, os o custo unitário e o percentual do custo total que cada um dos componentes representa (Tabela 4).

Tabela 4 - Custo de Operação para produção unitária de biomassa.

Componentes	Custo Unitário	% do custo Total
A - Mão de Obra	R\$ 7,00	21%
B - Insumos	R\$ 7,01	21%
C - Energia Elétrica	R\$ 19,50	58%
D(A+B+C) - Custo de Operação	R\$ 33,50	100%

Fonte: Próprio Autor (2018).

Para cada quilo de biomassa produzida a unidade apresenta um custo unitário de R\$ 33,50 centavos, que a ser multiplicado pela capacidade mensal produzida, proporciona a unidade um custo operacional de produção da biomassa mensal de R\$ 1.340,14 centavos.

Os custos variáveis, que são custos associados aos insumos utilizados no processo produtivo que variam de acordo com a quantidade produzida, são referentes a mão de obra, insumos e energia elétrica. Os custos referentes ao meio de cultivo, foram baseados em testes previamente realizados, no qual para o inóculo de 1 litro de meio de cultivo são necessários 2,5 gramas de NPK (10:10:10). Já o custo da energia, que representa 58% do custo total, foi calculado de acordo com o consumo dos equipamentos, modo de operação e tarifa da energia. Para a realização de 3 bateladas, a unidade apresenta um custo variável de R\$ 1.340,14.

O componente que apresentou o maior impacto na composição do preço unitário da biomassa de microalgas é a energia elétrica. Na composição do custo energético (APÊNDICE II), pode-se observar que o equipamento que apresenta o maior consumo são os compressores radiais, que são equipamentos que apresentam alto consumo, além de operar de forma contínua, o que incluem um período de operação na tarifação de ponta, que é a tarifa diferenciada em relação ao consumo de energia elétrica no período das 18:00 as 21:00. O consumo não apresenta valores superiores, devido a operação do equipamento de 5CV na capacidade de 42%, e o equipamento de 3CV na capacidade de 20%.

Em relação ao processo de envase da biomassa, uma vez que a unidade apresenta a capacidade de produzir 1.666 unidades, cada uma contendo 60 capsulas, haverá uma produção mensal de aproximadamente 100 mil capsulas

mensais. Uma vez que o equipamento apresenta a capacidade de produzir 10.000 cápsulas por hora, será necessário o uso mensal de 10 horas do equipamento. O consumo do Equipamento é de 1,06kw/h, conferindo um consumo mensal de 10,6kw/h.

Para a realização da envase, será necessário um operador, no período de 20 horas mensais.

Tabela 5 - Custo por unidade com 60 cápsulas.

Componente	Custo por unidade	% do custo Total
Custo de Biomassa	R\$ 1,01	26%
Cápsulas	R\$ 2,40	62%
Embalagem	R\$ 0,50	13%
Etiquetas	R\$ 0,15	4%
Energia Elétrica	R\$ 0,05	1%
Mão de Obra	R\$ 0,75	19%
Total	R\$ 5,29	100%

Fonte: Próprio Autor (2018).

Através da análise de custos realizada de forma independente, na Tabela 5, pode-se notar que no processo de fabricação das embalagens de produtos encapsulados, o custo com a biomassa representa cerca de 26% do custo final de fabricação do produto. Um outro benefício desta metodologia é que podemos aplicar a análise da biomassa para diferentes produtos de mercado, como para cosméticos e comércio a granel da biomassa de microalgas.

Através destas considerações, chega-se ao custo de produção unitário de R\$ 5,29. A este valor deverá ser inserido um aluguel do metro quadrado industrial, considerando uma área descoberta, estimado em R\$ 30,00 o m², proporcionando um incremento de R\$ 300,00 de custo fixo ao processo de produção, somado o custo de depreciação mensal, calculado a partir de 10% do valor do investimento, totalizando um custo fixo de R\$ 2.616,22 para a unidade com capacidade de produção de 40 kg mensal de biomassa.

Análise de Mercado (Meta 6)

As empresas são organizações legais criadas com o objetivo de gerar lucro, desta forma a sua atuação está voltada para o desenvolvimento de produtos cuja

demanda de mercado atendam sejam capazes de absorver a sua capacidade produtiva.

A fim de atender o mercado, as empresas atuam de forma a apresentar sinais, segundo PORTER (2004), um sinal de mercado é qualquer ação de um concorrente que forneça uma indicação direta ou indireta das suas intenções, motivos, metas ou situação interna. Desta forma o primeiro passo da análise foi identificar as tendências de mercado para alimentos, busca de informações de aumento das ofertas de produtos e demanda. Passando a identificar o padrão da concorrência, caracterizar os diferentes tipos de uso dos produtos, produtos substitutos, e concluir com a apresentação de uma lista de fabricantes e fornecedores, produtos e preços de mercado.

Cada vez mais os consumidores estão em busca de produtos mais saudáveis e menos agressivos ao meio ambiente. Segundo o Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística - IBOPE, no ano de 2012 cerca de 8% da população brasileira se declarou vegetariana, cerca de 15,2 milhões de pessoas, público potencial para o consumo a base de microalgas devido a necessidade de busca de outras alternativas de fontes de proteínas. Além do público vegetariano, o consumo de alimentos à base de microalgas traz benefícios a consumidores onívoros devido à grande concentração de lipídeos e antioxidantes.

Já a percepção de empresários do setor, conforme reportagem da Folha de S. Paulo (2016), é de que o mercado crescerá 40% ao ano. De acordo com dados do IBGE e da Secretaria de Comércio Exterior (2014) houve uma retração de mais de 8% no consumo de carne bovina per capita no Brasil em 2015 comparado a 2014, atingindo o menor nível desde 2001.

Em relação aos produtos à base de microalgas, existem diferentes empresas atuando no mercado Brasileiro. Algumas empresas possuem a própria tecnologia de produção enquanto outras realizam a importação da biomassa e envase dos produtos utilizando a sua marca, sendo comercializados por peso ou encapsulados.

Os produtos em capsulados podem ser encontrados com diferentes dosagens por cápsulas, de 100 até 800mg. Dentre um levantamento de produtos à base de microalgas, foi possível observar uma variação entre a espécie, a quantidade de produto por cápsula e preço de mercado. No trabalho de estudo de preços foram considerados produtos compostos por biomassa de *S. platensis*, em recipientes com 60 cápsulas de 400 mg (Tabela 6).

Tabela 6 - Preços de produtos encapsulados com 60 capsulas de 400mg.

Fornecedor	Preço (R\$)
1	9,00
2	9,20
3	12
4	14,75
5	15,00
Média	12,00

Fonte: Próprio Autor (2018).

Visando o mercado de distribuição devido ao grande volume de unidades produzidas, foi realizado a cotação do produto com fornecedores e distribuidores, com o intuito de avaliar o preço de venda a atacado do produto.

Através dos preços oferecidos pelos distribuidores, considerando espécie de *S. platensis*, e em produtos envasados com 400 mg por capsula, em recipientes com 60 capsulas, a média de preço no atacado variou de R\$ 9,00 até R\$ 15,00, sendo para as análises considerado o preço médio de R\$ 12,00. Nesta etapa, também deve ser considerado que a análise foi realizada na cidade de Salvador e Feira de Santana, sendo feita via e-mail e por telefone com os principais distribuidores.

Análise Econômica dos dados (Meta 7)

A análise econômica tem por princípio avaliar o impacto dos fatores econômicos no projeto, e para isso são necessários valores iniciais como o investimento, os custos operacionais e preços de mercado. Considerando o mercado de suplementos alimentares de microalgas, mais especificamente o mercado de *S. platensis*, com 60 cápsulas de 400mg.

A unidade com a capacidade de produção de 40 kg mensal de biomassa de microalgas, na qual foi investido R\$ 277.496,78, e permite a manufatura de 1.666 produtos, com um custo unitário de R\$ 5,29 por produto. De acordo com a análise de mercado, considerando de venda em atacado, o preço médio comercializado por produto é de R\$ 12,00 (Tabela 7).

Tabela 7 - *Análise Inicial de Viabilidade para unidade de 40 kg de biomassa mensal.*

Descrição	Unitário		Total
Investimento no Projeto Constitutivo		R\$	277 946,78
Receita	R\$ 12,00	R\$	20 000,00
Custo de Fabricação	R\$ 5,29	R\$	8 816,67
Margem de Contribuição	R\$ 6,71	R\$	11 183,33
Despesas Fixas	R\$ 1,57	R\$	2 616,22
Lucro Bruto	R\$ 5,14	R\$	8 567,11
Impostos	R\$ 1,44	R\$	2 400,00
Lucro Líquido	R\$ 3,70	R\$	6 167,11
Ponto De Equilíbrio - Unidades			390
Ponto de Equilíbrio em Vendas		R\$	4 678,79
Taxa de Lucratividade			31%
Payback(meses)			45,1

Fonte: Próprio Autor (2018).

Através da análise dos dados da Tabela 7, observa-se que para o mercado de produtos a base de *S. platensis* encapsulada, a aplicação através dos produtos produzidos é possível obter uma receita mensal de R\$ 20.000,00. A margem de contribuição, que é a receita subtraído dos custos operacionais estimada foi de R\$ 11.183,33. Para se atingir o ponto de equilíbrio do projeto, é necessária a venda de aproximadamente 390 produtos, ou uma receita de R\$ R\$ 4.678,79. A taxa de lucratividade, que consiste na divisão do lucro líquido pela receita é de 31%. Através destas análises é possível observar que o *payback* do projeto é de 45 meses, o que representa aproximadamente 3 anos e 9 meses.

Analise de Sansibilidade

A análise de sensibilidade tem por objetivo avaliar os impactos dos diferentes fatores nos resultados econômico-financeiros do projeto. Desta forma para avaliar o impacto nos diferentes cenários, inicialmente é necessário identificar quais fatores são relevantes para a realização da análise.

Identificação das variáveis críticas de sucesso (Meta 07)

As variáveis críticas de sucesso do projeto para a realização da análise de sensibilidade foram:

Forma de Venda – Através de um levantamento de mercado, dentre as diversas formas de comercio de biomassa de microalgas para alimentos, foram selecionadas

duas: a venda por kg e a venda de produtos encapsulados, no qual foi possível identificar uma representativa diferença entre os preços dos produtos. Para a análise da forma de venda, foram avaliados os preços de venda dos produtos, custos de fabricação e investimentos adicionais na construção da unidade.

Preço de mercado – Devido a maior atratividade do projeto com a venda dos produtos encapsulados, foi avaliado o impacto do preço de mercado no resultado financeiro do projeto, considerando os preços mínimo, médio e máximo.

Ampliação da Unidade – A partir do modelo construtivo da unidade, que permite a ampliação da capacidade para a produção de 120kg de biomassa mensal, com um investimento adicional de 25%, foi avaliado o impacto da ampliação da unidade para a produção mensal de 80 e 120kg, visando analisar os impactos no número de produtos produzidos e no *payback* do projeto.

Taxa Mínima de Atratividade – Por fim, foi avaliado a taxa mínima de atratividade, com o objetivo de avaliar o potencial de retorno financeiro do projeto, avaliando os percentuais de 10, 12 e 15% de atratividade, e observados os impactos no valor presente líquido e na taxa interna de retorno para 3 e 5 anos.

Cenários para aplicações da biomassa no mercado (Meta 08)

A fim de se observar o projeto a partir de diferentes perspectivas, com base nos dados econômicos e financeiros da unidade de produção de biomassa de microalgas para a indústria de suplementos alimentares, utilizando a biomassa da *S. platensis* como matéria prima na confecção de produtos com 60 capsulas de 400mg. Alguns cenários foram elaborados com o intuito de avaliar o impacto destas condições no cenário econômico do projeto.

Forma de comercialização da biomassa

No mercado brasileiro, as microalgas são comercializadas de diferentes formas, e as principais são os produtos encapsulados e em pó. Desta forma, a primeira análise realizada consiste em uma avaliação econômica entre os custos e receitas da aplicação da biomassa produzida na unidade para o mercado de

biomassa em pó e encapsulados, considerando a unidade com capacidade de produção de 40 kg de biomassa mensal.

Quadro 4 - Análise de comparativa de produtos a granel e encapsulados.

Análise de Sensibilidade Encapsulados e Produto a granel				
Descrição	Encapsulados		Granel (KG)	
	Unitário	Total	Unitário	Total
Investimento no Projeto Constitutivo	R\$ -	R\$ 277 946,78	R\$ -	R\$ 250 946,78
Receita	R\$ 12,00	R\$ 19 992,00	R\$ 168,00	R\$ 6 720,00
Custo de Fabricação	R\$ 5,29	R\$ 8 813,14	R\$ 33,50	R\$ 1 340,00
Margem de Contribuição	R\$ 6,71	R\$ 11 178,86	R\$ 134,50	R\$ 5 380,00
Despesas Fixas	R\$ 1,57	R\$ 2 616,22	R\$ 65,41	R\$ 2 616,22
Lucro Bruto	R\$ 5,14	R\$ 8 562,64	R\$ 69,09	R\$ 2 763,78
Impostos	R\$ 1,44	R\$ 2 399,04	R\$ 20,16	R\$ 806,40
Lucro Líquido	R\$ 3,70	R\$ 6 163,60	R\$ 48,93	R\$ 1 957,38
Ponto De Equilíbrio - Unidades		390		19
Ponto de Equilíbrio em Vendas	0	R\$ 4 678,79	R\$ -	R\$ 3 267,85
Taxa de Lucratividade	0	31%	R\$ -	29%
Payback(meses)	0	45		128

Fonte: Próprio Autor.

Pelos dados do Quadro 4, observa-se uma variação no custo do investimento do projeto, uma vez que a venda da biomassa a granel não requer o equipamento para encapsulação da biomassa. Em relação ao ponto de equilíbrio podemos observar que enquanto a proposta de venda a granel requer a venda de 19 produtos, a proposta de encapsulação requer a venda de aproximadamente 390 produtos. Devido ao aumento no custo de fabricação, a alternativa que visa encapsular os produtos para atingir o ponto de equilíbrio necessita uma venda de R\$ 4.678,79, enquanto a venda a granel requer R\$2.182,38 de receita para atingir o ponto de equilíbrio. Porém um resultado significativo da comparação dos produtos está no *payback* do projeto, enquanto a proposta de encapsulação permite o pagamento do projeto em 45 meses a proposta de venda a granel requer um prazo de 128 meses, 83 meses a mais para realizar a recuperação do investimento do projeto.

O *payback* é uma análise que visa avaliar o tempo necessário para o pagamento do projeto de acordo com o lucro líquido e investimento. Desta forma, mesmo havendo um investimento de R\$ 27.000,00, a mais, a proposta de encapsulação da

biomassa se mostra mais atrativa quando comparada com a alternativa de venda a granel.

Preços de mercado do produto

Através do estudo de mercado, foi possível encontrar diferentes preços de mercado para a venda a atacado dos encapsulados de microalgas. Desta forma, a segunda análise de sensibilidade visa avaliar o impacto dos diferentes preços encontrados no mercado de venda a atacado dos produtos encapsulados de biomassa de microalgas.

Quadro 5 - Comparativo dos preços de venda unitária.

Análise de Sensibilidade - Preços de Mercado			
Descrição	Mínimo	Média	Máximo
Preço Unitário	R\$ 9,0	R\$ 12,0	R\$ 15,0
Investimento no Projeto Constitutivo	R\$ 277 946,8	R\$ 277 946,8	R\$ 277 946,8
Receita	R\$ 15 000,0	R\$ 20 000,0	R\$ 25 000,0
Custo de Fabricação	R\$ 8 816,7	R\$ 8 816,7	R\$ 8 816,7
Margem de Contribuição	R\$ 6 183,3	R\$ 11 183,3	R\$ 16 183,3
Despesas Fixas	R\$ 2 616,2	R\$ 2 616,2	R\$ 2 616,2
Lucro Bruto	R\$ 3 567,1	R\$ 8 567,1	R\$ 13 567,1
Impostos	R\$ 1 800,0	R\$ 2 400,0	R\$ 3 000,0
Lucro Líquido	R\$ 1 767,1	R\$ 6 167,1	R\$ 10 567,1
Ponto De Equilíbrio - Unidades	33	218	174
Ponto de Equilíbrio em Vendas	R\$ 299,7	R\$ 2 616,2	R\$ 2 616,2
Taxa de Lucratividade	12%	31%	42%
Payback(meses)	157	45	26

Fonte: Próprio Autor.

A análise de sensibilidade sobre o preço oferece importantes informações ao projeto, permitindo visualizar que pequenas diferenças contábeis no valor unitário de venda apresentam importantes alterações nos aspectos econômicos do projeto. Uma vez que o investimento e os custos de fabricação são os mesmos.

Considerando a unidade com a capacidade de produção de 40 kg mensais, mesmo com o aumento do valor pago em impostos, uma vez que o seu cálculo é realizado com base na receita da empresa, a lucratividade ao valor mínimo passa para 12% enquanto no valor máximo observado chega a 42%. A análise do *payback* oferece uma importante observação, uma vez que na perspectiva de venda a R\$ 9,00, o tempo de pagamento do projeto passa para 157,3 meses. Já ao valor o tempo de pagamento do projeto para os preços da média fica próximo aos 4 anos,

enquanto para o preço máximo de mercado fica em torno de 2 anos e 2 meses (Quadro 5).

Esta análise é de fundamental importância para a viabilidade do projeto, uma vez que por se tratar de um mercado crescente, o número de empresas no setor cresce com o passar do tempo, o que além de provocar uma queda de preço e redução das margens de contribuição devido ao aumento da concorrência e perda da característica de “novidade” do produto. Outro ponto que influencia na queda dos preços é o surgimento de novas tecnologias, que por permitirem a produção de forma mais eficiente, podem oferecer ao mercado o mesmo produto a um preço abaixo do normalmente praticado, e como podemos ver na análise do quadro anterior, uma variação de R\$ 3,00 por produto aumenta em 112 anos o *payback* do projeto, inviabilizando a implantação do mesmo.

Ampliação da capacidade instalada

Segundo Porter (2005), uma das formas de se obter vantagens competitivas em relação aos concorrentes está através do ganho de escala. Através da ampliação é possível aumentar a quantidade de produtos comercializados e aumentar a receita através do volume de vendas.

A unidade de produção de biomassa de microalgas foi projetada para atender a produtividade de até 120kg mensais a um baixo investimento e utilizando a mesma área útil inicial. Desta forma, avaliamos o impacto da ampliação da unidade para as capacidades de 80 e 120kg mensais, conforme pode ser observado no Quadro 6.

Quadro 6 - Análise das Capacidades Instaladas.

Análise de Sensibilidade - Capacidade de Produção			
Descrição	40kg/Mês	80kg/Mês	120kg/Mês
Capacidade Instalada (Kg)	40	80	120
Produtos Produzidos	1667	3333	5000
Investimento no Projeto Constitutivo	R\$ 278 491,78	R\$ 300 905,67	R\$ 346 822,55
Receita	R\$ 20 000,00	R\$ 40 000,00	R\$ 60 000,00
Custo de Fabricação	R\$ 8 816,67	R\$ 17 633,33	R\$ 26 450,00
Margem de Contribuição	R\$ 11 183,33	R\$ 22 366,67	R\$ 33 550,00
Despesas Fixas	R\$ 2 620,76	R\$ 2 807,55	R\$ 3 190,19
Lucro Bruto	R\$ 8 562,57	R\$ 19 559,12	R\$ 30 359,81
Impostos	R\$ 2 400,00	R\$ 4 800,00	R\$ 7 200,00
Lucro Líquido	R\$ 6 162,57	R\$ 14 759,12	R\$ 23 159,81
Ponto De Equilíbrio - Unidades	391	418	475
Ponto de Equilíbrio em Vendas	R\$ 4 686,91	R\$ 5 020,95	R\$ 5 705,25
Taxa de Lucratividade	31%	37%	39%
Payback(meses)	45	20	15

Fonte: Próprio Autor (2018).

O aumento da capacidade produtiva apresenta um impacto representativo no tempo de pagamento do projeto. Mesmo apresentando maiores investimentos e maiores taxas de depreciação, as unidades com maior capacidade apresentam tempo de pagamento quanto comparado com a unidade com capacidade produtiva de 40kg. Nesta análise é possível observar que com o aumento da capacidade produtiva, é possível observar um aumento na lucratividade do negócio, passando de 31% no projeto da unidade de 40kg, para 39% no projeto com a capacidade de produção de 120kg. O *payback* da unidade com capacidade de 80 kg foi de 20 meses, enquanto o da unidade de 120kg mensais apresentou um *payback* de 15 meses (Quadro 6).

Sensibilidade da Taxa Mínima de Atratividade

A taxa mínima de atratividade, é uma taxa que representa a expectativa de retorno em relação a um investimento para a realização dos cálculos do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). Através Do Payback, conseguimos avaliar o tempo de pagamento do projeto para diferentes valores e capacidade produtiva. A fim validar os resultados anteriores e confirmar se vale a pena realizar o investimento para a construção das unidades ou ampliar a

capacidade operacional, foi realizada uma análise de sensibilidade variando a taxa mínima de atratividade, e realizado o cálculo do VPL e TIR para 3 e 5 anos.

Quadro 7 - Análise da Taxa Mínima de Atratividade.

Descrição	40Kg			80Kg			120Kg		
Capacidade Instalada (Kg)	40			80			120		
Produtos Produzidos	1666,7			3333,3			5000		
Investimento no Projeto Constitutivo	R\$	277 946,78		R\$	300 905,67		R\$	346 822,55	
Receita	R\$	20 000,00		R\$	40 000,00		R\$	60 000,00	
Custo de Fabricação	R\$	8 816,67		R\$	17 633,33		R\$	26 450,00	
Margem de Contribuição	R\$	11 183,33		R\$	22 366,67		R\$	33 550,00	
Despesas Fixas	R\$	2 616,22		R\$	2 807,55		R\$	3 190,19	
Lucro Bruto	R\$	8 567,11		R\$	19 559,12		R\$	30 359,81	
Impostos	R\$	2 400,00		R\$	4 800,00		R\$	7 200,00	
Lucro Líquido	R\$	6 167,11		R\$	14 759,12		R\$	23 159,81	
Ponto De Equilíbrio - Unidades	390			418			475		
Ponto de Equilíbrio em Vendas	R\$	4 678,79		R\$	5 020,95		R\$	5 705,25	
Taxa de Lucratividade	31%			37%			39%		
Payback(meses)	45,1			20,4			15,0		
ROI - 3 ANOS	-20%			77%			140%		
ROI 5 ANOS	33%			194%			301%		
Taxa Mínima de Atratividade	10%	12%	15%	10%	12%	15%	10%	12%	15%
VPL descontado 3 anos	-R\$ 93 906,50	-R\$ 100 198,48	-R\$ 108 975,97	R\$ 139 539,28	R\$ 124 481,30	R\$ 103 475,04	R\$ 344 317,75	R\$ 320 688,98	R\$ 287 726,23
TIR 3 ANOS	-19%	-20%	-22%	23%	20%	17%	46%	44%	40%
VPL descontado 5 anos	R\$ 2 591,62	-R\$ 11 174,16	-R\$ 29 869,46	R\$ 370 478,43	R\$ 337 534,20	R\$ 292 792,62	R\$ 706 704,36	R\$ 655 008,72	R\$ 584 800,84
TIR 5 ANOS	0%	-1%	-4%	38%	35%	32%	59%	57%	52%

Fonte: Próprio Autor (2018).

Através da análise do Quadro 7, pode ser observado que para o cenário de produção de 40 kg de biomassa mensal, a análise no terceiro ano apresentou resultados negativos tanto para o TIR como para o VPL descontado. Quando são apresentados resultados negativos para o TIR, estima-se que o projeto não atingiu as expectativas de retorno desejada, não sendo recomendável o investimento no projeto. Já para a análise de 5 anos, o projeto apresenta um VPL descontado Positivo para o TMA de 10%. Os resultados da análise do TIR se apresentaram negativos para análise de 12 e 15%, e zero para a análise de 10%, não atingindo o valor da TMA.

Já no cenário com a produção de 80 kg mensais, o *Payback* do Projeto estimado é de aproximadamente 20 meses e o *ROI* para o terceiro ano está estimado em 77%. Para a avaliação no cenário de 3 anos, o VPL descontado apresentou resultados positivos para todos os cenários, assim como o TIR, que ultrapassou os valores do TMA nas 3 análises.

O cenário de 120kg de produção mensal, mesmo com o maior investimento, este apresentou um *payback* de aproximadamente 15 meses, e um ROI no terceiro ano de 140%. Na análise de sensibilidade para 3 e 5 anos, a unidade com capacidade de produção de 120 kg apresentou resultados positivos de VPL descontado e a TIR acima da TMA em todas as simulações.

Através da análise de sensibilidade é possível observar os resultados econômicos do projeto a partir de diferentes cenários, determinando o efeito da variação de um determinado aspecto no seu valor total, como pôde ser observado através da análise da forma de venda, os preços de mercado, a capacidade produtiva da unidade e a taxa mínima de atratividade. Por meio destas análises é possível identificar o projeto que melhor se enquadra nas expectativas dos investidores, de acordo com o valor do investimento, as expectativas de retorno e o mercado a ser explorado.

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMASSA

A partir da avaliação técnica e econômica do projeto de uma unidade de produção de biomassa de microalgas para aplicação na indústria de suplementos alimentares, a oportunidade de negócio foi identificada, em parceria com a

Universidade Federal da Bahia e o Senai/Cimatec, com o apoio do CNPQ e da FAPESB, trabalharam em conjunto e implementaram uma unidade com a capacidade de produção de 40Kg de biomassa de microalgas por mês, com a expectativa de ampliar o projeto para a produção de 80Kg mensal. Desta forma, a avaliação aqui realizada, está relacionada ao processo de instalação e operação da unidade com capacidade de produção de 40Kg mensais, não considerando os aspectos relacionados a etapa de encapsulação, e sim apenas até a produção da biomassa seca.

Análise técnica de unidade instalada (Meta 10)

Localização do empreendimento

A unidade de produção de biomassa de microalgas foi instalada na cidade de Salvador-Ba, mais especificamente nas instalações do Senai/Cimatec (-12.937151, -38.389376), conforme pode ser observado na imagem do Quadro 8, abaixo:

Quadro 8 - Localização da Unidade Instalada em destaque.



Fonte: Google Maps.

O local de instalação encontra-se destacado em Vermelho. No local, a maior parte do dia a incidência luminosa ocorre de forma direta na unidade, o que inicialmente contribuiu de forma negativa devido ao aumento de temperatura dos reatores durante o processo de inoculação, no qual o volume operacional não permite o acionamento do sistema de circulação, aumentando a temperatura dos

reatores e inviabilizando o cultivo as microalgas na unidade, devido a temperaturas acima de 40°C.

Figura 5 - Perda da Produção no Reator A1



Fonte: Próprio Autor.

Após o fracasso na primeira tentativa, foi realizada uma nova tentativa, desta vez aplicando uma espécie de microalgas local, cujos testes em laboratório demonstraram a capacidade de sobrevivência acima dos valores encontrados no sistema. Então a *H.pluvialis* foi substituída pela *Desmodesmus* sp, disponibilizado pelo banco de microalgas do LABEC – Laboratório de Bioenergia e Catálise, ao mesmo tempo que foi providenciado um sistema de sombreamento, composto de sombrite 50% para a instalação na unidade (Figura 5).

Figura 6 - Unidade com sombrite 50% instalado.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Após a instalação do sombreamento, foi possível realizar o cultivo e iniciar a produção na unidade de produção de biomassa. Por se tratar de uma unidade com a capacidade de produção de diferentes espécies de microalgas foi dado continuidade aos testes utilizando a *Desmodesmus* sp. com o objetivo de validar o sistema operacional proposto, para em seguida avaliar a alteração da espécie de microalgas que atenda melhor as expectativas dos interessados.

Testes preliminares

A fim de validar o processo operacional proposto, o primeiro teste foi realizado de acordo com as definições previstas na análise técnica, com 25 dias de inoculação do sistema, e em seguida a realização de 3 bateladas, visando a produção de 40 kg de biomassa seca mensal.

Figura 7 - Unidade em processo operacional com *Desmodesmus* sp.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

A primeira análise realizada foi a da cinética de crescimentos das microalgas no fotobiorreator, na qual foi possível observar que no 12º dia o ponto máximo de crescimento e início da fase de declínio, validando o conceito da realização das bateladas em 10 dias. A colheita antes do dia máximo de crescimento é realizada com o objetivo de reduzir a necessidade de manutenção no sistema, uma vez que, no ponto máximo de crescimento, a taxa de replicação se iguala a taxa de morte celular, o que consequentemente libera para o meio os compostos presentes no citoplasma e consequentemente favorece o crescimento de outros microrganismos não desejados.

INÓCULO DA UNIDADE

O processo de inóculo do sistema foi realizado conforme definido na análise técnica do projeto, sendo realizado em 5 etapas que juntas somam um total de 25 dias.

Etapa 01 – Análise do pré-inóculo

Na análise das amostras em microscópio óptico de campo claro, foram realizadas análises utilizando a câmara de Neubauer e em lâminas com coloração de Gram, sendo a primeira para avaliar a presença de outras espécies de outras espécies de microalgas, e a segunda com o intuito de observar a presença de outros contaminantes, uma vez que a técnica de Gram é um método colorimétrico que permite a observação de bactérias em amostras. Nesta análise foi identificada a contaminação por outros microrganismos (bactérias Gram positivas), em baixa concentração. Durante o processo o número de bactérias apresentou redução uma vez que o meio de cultura utilizado é composto apenas por nutrientes minerais e metálicos, e as bactérias e fungos preferencialmente se alimentam de nutrientes orgânicos.

Desta forma, a amostra foi utilizada como inóculo e foi dada continuidade ao processo de produção.

ETAPA 02 – Inoculo de 40 litros.

Esta etapa tem por objetivo ambientar e iniciar a produção na planta de microalgas. Após a avaliação microbiológica, os 8 litros de cultivo foram utilizados para inocular o reator 1 do *Skid A*. Junto ao cultivo foram adicionados 32 litros de meio de cultivo NKP10:10:10, na concentração de 2,5g/l.

Figura 8 - Inoculação reator A1



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Nestas condições o cultivo ficou por um período de 7 dias sob regime de agitação turbulenta.

Etapa 03 – Cultivo 200 litros.

No oitavo dia de cultivo, os 40 litros presentes no reator A1, foram uniformemente distribuídos entre os 5 reatores do suporte A. A através do sistema de conexões, totalizando 8 litros por reator. Após a equalização os sistemas de conexões foi fechado, e em cada um dos reatores foi adicionado 32 litros de meio NKP.

Figura 9 - Inoculo no Skid A.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

O cultivo foi mantido nas condições de agitação turbulenta por um período de 7 dias. Após o período de incubação, o cultivo já se encontrava no 14º dia do processo de inoculação do sistema.

Etapa 04 – Cultivo 1.000 litros

No 15 dia do processo de inoculação, os 200 litros de cultivo foram uniformemente distribuídos entre os suportes A, B, C, D e E, através do sistema de conexões que interliga todo o sistema. Após a distribuição foi inoculado 32 litros de cultivo em cada um dos reatores, totalizando o volume de 1.000 litros.

Figura 10 - Distribuição do Inóculo para cultivo de 1.000 litros.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Esta etapa do processo de inóculo seguiu até o 21º dia de incubação na unidade de produção de biomassa de microalgas, sem contar com o auxílio do processo de circulação.

Etapa 05 – Inóculo 5.000 e circulação

No 22º dia do processo, é adicionado ao sistema 4.000 litros de meio de cultivo NPK, e nesta etapa foi incluído o suporte F e iniciado o processo de circulação, processo que visa triplicar a capacidade produtiva da planta ao se adicionar 2 tanques de 2.500 litros ao sistema.

Figura 11 - Tanques de Circulação em Operação.



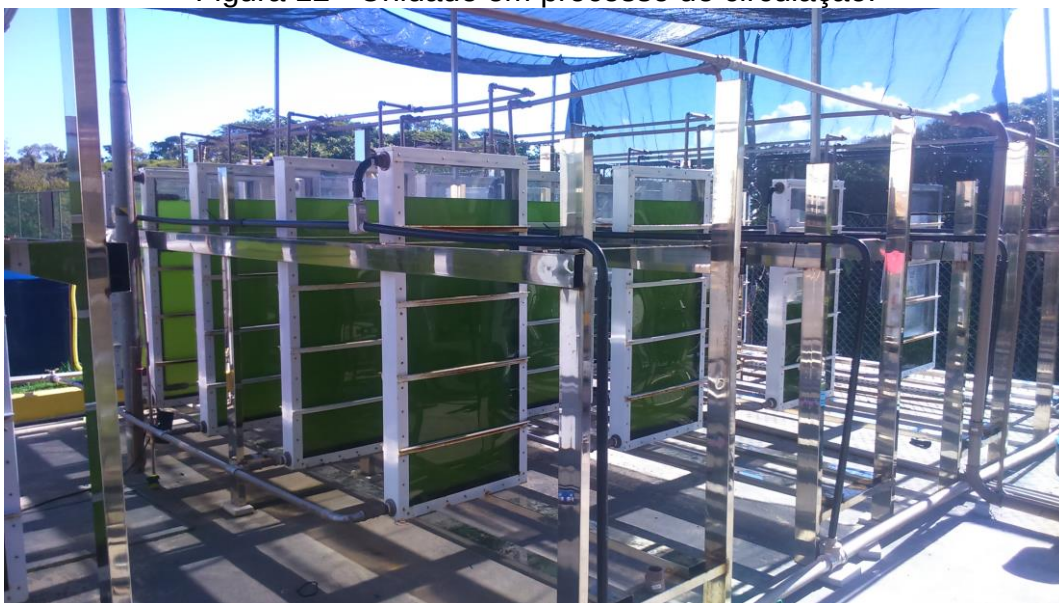
Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Nesta etapa os tanques estão parcialmente os tanques apresentam a importância aumentar a capacidade produtiva como também homogeneizar os cultivos dos reatores, uma vez que devido a diferença de posição e influência da luminosidade os reatores apresentaram resultados diferentes de comportamento da curva de crescimento. Uma outra importância é a recirculação constante, realizados 3 ciclos de circulação a cada 6 horas, permitindo a movimentação as microalgas que supostamente fiquem nas tubulações, evitando assim a redução da produtividade. Nestas condições o cultivo fica por 3 dias, onde no 25 dia é adicionado mais 2.500 litros de meio de cultura, e início do processo de produção propriamente dito.

PROCESSO DE PRODUÇÃO

O processo de produção consiste em manter o cultivo em condições de agitação turbulenta, realizando 4 ciclos diários de 3 circulações, por um período de 10 dias.

Figura 12 - Unidade em processo de circulação.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Após 10 dias de cultivo, 90% do volume do sistema, cerca de 6.750 litros de cultivo foram direcionados para o processo de recuperação da biomassa, e 750 litros foi mantido no sistema com o intuito de inocular a próxima batelada de produção.

O cultivo a ser separado a biomassa foi direcionado para a centrífuga, e devido ao grande teor de umidade presente na amostra, foi necessária a implementação de um sistema de secagem em filtros.

Nesta etapa, a biomassa é distribuída uniformemente em um filtro de tecido, que por ação da gravidade e porosidade do tecido, permite a redução da umidade na biomassa.

Figura 13 - Sistema de secagem de biomassa em filtros.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Após um período de 4 horas, cerca de 75% do volume de água é retirado da biomassa, obtendo como resultado do processo 15 kg de biomassa úmida, que será direcionado ao sistema de secagem em estufas, onde após 12 horas de secagem é obtido o volume de cerca de 13,5 kg de biomassa de microalgas.

Figura 14 - Biomassa de microalgas úmida.



Fonte: Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017).

Em cada ciclo de produção, estima-se a obtenção de cerca de 13,5 kg de biomassa seca, totalizando uma capacidade de produção aproximadamente 40 kg de biomassa por mês.

Comparativo das projeções econômicas (Meta 11)

Em relação ao investimento previsto executado, houveram algumas modificações devido aos ajustes técnicos implementados como os sombrites e sistema de filtragem da biomassa, onde o investimento total para as adaptações foi de R\$ 545,00 reais.

Tabela 8 - Comparativo entre o investimento estimado e real.

Descrição	Estimado	Real	≠
Investimento	R\$ 227.946,78	R\$ 228.491,78	R\$ 545,00
Payback	45,1	45,2	3 dias

Fonte: Próprio Autor (2018).

A instalação do sombrite e implementação do sistema de filtros proporcionou um impacto de aumento de 3 dias no *Payback* do projeto.

Desta forma, através da implementação da unidade foi possível validar o processo operacional e a capacidade produtiva da unidade, considerando a aplicação da espécie *Desmodesmus* para a validação do sistema operacional, podendo a unidade ser aplicada para outras espécies de microalgas a fim de validar a sua cinética de crescimento no sistema e consequentemente calcular a produtividade, para assim validar ou reavaliar as estimativas econômicas e financeiras do projeto.

6.0 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

- A biomassa de microalgas é um produto que apresenta potencial para aplicações em diferentes indústrias, e na indústria de alimentos a matéria prima é comercializada de diferentes formas, como os produtos encapsulados e a granel.
- A avaliação do processo foi direcionada para a análise técnica e econômica do processo produtivo e cenários econômicos, não considerando análises referente a qualidade e regulamentação.
- A análise de mercado foi direcionada para a prospecção de produtos que utilizam a biomassa da *S. platensis* em sua composição.
- A forma de comercialização do produto impacta diretamente nos resultados econômicos do projeto, foi observado nas análises que em um projeto com a capacidade de produção de 40kg mensais de biomassa de microalgas, quando aplicado na fabricação de produtos encapsulados, mesmo com um aumento no investimento e uso do preço médio do mercado, o *Payback* do projeto é de 33 anos, enquanto a aplicação da mesma produção com a venda a granel o *payback* do projeto passa para 58 meses.
- O estudo de mercado é uma etapa fundamental no processo de avaliação de viabilidade de um projeto pois pequenas alterações no preço influenciam de forma significativa o sucesso do empreendimento, podendo reduzir em até O preço de mercado apresenta um impacto significativo nos resultados econômicos, pois ao utilizar os preços mínimo, médio e máximos no mercado

de produtos encapsulados com a produção de 40 kg de biomassa mensal, obtemos respectivamente 147, 45 e 26 meses para o *payback* do projeto, uma variação de 131 meses entre o valor máximo e mínimo.

- Mesmo com aumento dos custos de investimento inicial para ampliação da capacidade produtiva, permitindo com um investimento adicional de 25% para ampliação da capacidade de 40 para 120 kg mensais e aplicando a biomassa no mercado de produtos encapsulados vendido a um preço médio, reduzir o *payback* de 45 para 15 meses.
- Mesmo sendo responsável por 52% do investimento do projeto, a centrífuga apresentou resultados abaixo da expectativa em relação ao processo de separação da biomassa, sendo necessária a implementação do sistema de filtros para complementar a eficiência do processo de obtenção da biomassa seca.
- A unidade de produção de biomassa de microalgas apresentou os resultados que atenderam as projeções do estudo técnico, porém foram necessários alguns ajustes em relação ao processo operacional e na recuperação da biomassa.

7.0 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido a ampla aplicação da biomassa de microalga e tecnologias existentes para a produção, as análises de viabilidade técnica e econômica devem ser realizadas constantemente, pois pequenas mudanças nas tecnologias e no cenário econômico, impactam de forma significativa nos cenários propostos e na viabilidade do projeto. Assim, como continuação do trabalho efetuado, propõem-se:

- Realização de análise dos parâmetros de qualidade a fim de avaliar a viabilidade de aplicação da biomassa em diferentes indústrias;
- Prospecção de alternativas que mantenham a eficiência do processo de produção de biomassa que reduzam os custos relacionados à energia elétrica;
- Avaliar o reuso da água no sistema, com o intuito de reduzir os custos operacionais e impactos ambientais;

- Avaliação de metodologias que permitam a redução do investimento no processo de recuperação e separação da biomassa;
- Avaliar alternativas para realização dos crescimentos em sistemas de tanques;
- Avaliação da biomassa produzida em diferentes mercados, como o de biocombustíveis, cosméticos e farmacêutico;
- Prospectar novas tecnologias, como os cultivos em superfícies imobilizadoras e avaliar a viabilidade técnica e econômica para a produção em escala industrial.

8.0 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. R. & COSTA, J. A. V. 2008. **Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em fontes alternativas de nutrientes**. Ciênc. Agrotec., 32(5): 1551-1556.
- BARCLAY, W. R.; MEAGER, K. M.; ABRIL, J. R. Heterotrophic production of long chain omega-3 fatty acids utilizing algae and algae-like microorganisms. **Journal of Applied Phycology**, v.6, p.123-129, 1994.
- BARLOW J, SIMS R C, QUINN J C. **Techno-economic and life-cycle assessment of an attached growth algal biorefinery**, Bioresour. Technol. 220 360–368, 2016.
- BARROS A I, GONÇALVES A L, SOMÕES M, PIRES J M C. **Harvesting techniques applied to microalgae: a review**, Renew. Sust. Energ. Rev. 41 (2015) 1489-1500.
- BEAL C M, GERBER LN, SILLS D L, HUNTLEY M E, MACHESKY S C, WHALSH M J, TESTER J W, ARCHIBALD I, GRANADOS J, GREENE C H. **Algal biofuel production for fuels and feed in a 100-ha facility: a comprehensive techno-economic analysis and life cycle assessment**, Algal Res. 10, 266–279, 2015.
- BECKER, E. W. **Microalgae: biotechnology and microbiology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 301p.
- BELKIN, S.; BOUSSIBA, S.; **Plant Cell Physiology**, v. 32, p. 953, 199
- BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae - A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 557–577, fev. 2010.
- BLANK, L.; TARQUIN, A.. **Engenharia econômica**. 6. ed. São Paulo: Amgh, 2008. Tradução de José Carlos Barbosa dos Santos.
- BOROWITZKA, M. A.; HALLEGRAEFF, G. M. **Em Algae of Australia: introduction**; McCarthy, P. M.; ORCHARD, A. E., eds.; Australian Biological Resources Study: Canberra, 2007, chap. 29.

BOROWITZKA, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. **Journal of Biotechnology**, v. 70, n. 1-3, p. 313–321, abr. 1999.

CHANG, J.S., SHOW, P.L., LING, T.C., CHEN, C.Y., HO, S.H., TAN, C.H., NAGARAJAN, D., PHONG, W.N. **Photobioreactors**. In: Chapter 11 in Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Volume 6, 2016.

CHAPMAN, R. J. **The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management**. International Journal of Project Management, 19:147-160, 2001.

CHEN, M.; TANG, H.; MA, H.; HOLLAND, T. C.; NG, K. Y. S.; SALLEY, S. O. Effect of nutrients on growth and lipid accumulation in the green algae *Dunaliella tertiolecta*. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 1649-1655, 2011.

COSTA JUNIOR, N. C. A. da. **Análise de Investimentos**. Florianópolis: Ufsc, 2011. 139 p.

COSTERTON, J.W.; LEWANDOWSKI, Z.; CALDWELL, D.E.; KORBER, D.R.; LAPPIN-SOCOTT, H.M. Microbial Biofilms. **Ann. Rev. Microbiol**, v. 49.p.711-745, 1995.

COUSTETS M, JOUBERT-DURIGNEUX V, HÉRAULT J, SCHOEFS B, BLANCKAERT V, GARNIER J-P. **Optimization of protein electroextraction from microalgae by a flow process**. Bioelectrochemistry, 2014.

DASSAEY, A.J., THEEGALA, C.S. **Harvesting economics and strategies usingcentrifugation for cost effective separation of microalgae cells for biodieselapplications**. Bioresour. Technol. 128, 241e245, 2013.

DEMIRBAS, A.; Energy Convers. **Manage**. 2010, 51, 2738.

DERNER, R. B., OHSE, S., VILLELA, M., CARVALHO, S. M. & FETT, R. 2006. **Microalgas, produtos e aplicações**. Ciencia Rural, 36(6): 1959-1967.

FRANCO, A. L. C; LÔBO, I. P; CRUZ, R.S. **BIODIESEL DE MICROALGAS: AVANÇOS E DESAFIOS**. Química Nova, Vol. 36, No. 3, 437-448, 2013

FOX, R. D. **Spirulina production & potential**. Paris: Edisud, 1996. 232 p

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa**. São Paulo : Atlas. 1999.

GONÇALVES, A; LIMEIRA, A; SILVA, C; COELHO, F. **Gestão de Custos**, 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

GRIS,L.R.S. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL **Produção da Microalga *Nannochloropsis oculata* em Fotobiorreator Airlift**. Dissertação de Mestrado. 2011.

HARUN A R, SINGH M, FORDE GM, DANQUAR MK. **Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products**. Renew Sust Energy, 2010.

HERTZ, D. **Risk analysis in capital investment**. Harvard Business Review, p. 95-106, Jan./Feb. 1964.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1992. 465p

HOJI, Masakazu. **Administração Financeira: uma abordagem pratica**. 5ª ed. São Paulo: ATLAS, 2006. 525.

HUNTLEY, M. E.; REDALJE, D. G.; Mitig. **Adapt. Strategies Glob. Change** 2006, 12, 573.

IFRIM, G.A., TITICA, M., Cogne, C., BOILLEREAUX, L., LEGRAND, J. and CARAMAN, S. **Dynamic pH Model for Autotrophic Growth of Microalgae in Photobioreactor: A Tool for Monitoring and Control Purposes**. AIChE Journal, 60(2), 585–599, 2014.

JANOSKA A A, LAMERS P P, HAMHUIS A, VAN EIMEREN Y, WIJFFELS R H, JANSSEN M. **A liquid foam-bed photobioreactor for microalgae production**, Chem. Eng. J. 313, 1206–1214 (2017).

KERZNER, H. **The future of project management**. In: The future of project management. São Paulo: International Institute for Learning, 2010.

KERZNER, H. **Gerenciamento de Projetos**: Uma Abordagem Sistêmica para Planejamento, Programação e Controle. São Paulo: Editora Blucher, 10ª edição, 2011.

KIRROLIA, A., BISHNOI, N. R. & SINGH, R. 2013. **Microalgae as a boon for sustainable energy production and its future research & development aspects**. Renewable Sustainable Energy Rev., 20: 642-656.

KROGER M, MULLER-LANGER F. **Review on possible algal-biofuel production processes**. Biofuels;3(3):333–49, 2012.

LEE, Y. K. **Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential**. Journal of Applied Physiology, v. 13, n. 4, p. 307–315, 2001.

LODI A, BINAGUI L, DE FAVERI D, CARVALHO JCM, CONVERT A. **Fed-batch mixotrophic cultivation of Arthrospira (Spirulina) platensis (Cyanophyceae) with carbon source pulse feeding**. Ann Microbiol; 55(3):181–5,2005.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas – princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 2006.

MARXEN, K.; VANSELOW, K.; LIPPEMEIER, S.; HINTZE, R.; RUSER, A.; HANSEN, U. A photobioreactor system for computer controlled cultivation of microalgae. **Journal of Applied Phycology**, v. 17, n. 6, p. 535-549, 2005.

MANKIW, N. Gregory. **Introdução à Economia**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005. Cap. 1.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 217–232, jan. 2010.

MIAO, X.; WU, Q. High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*. **Journal of Biotechnology**, v.110, n. 2, p.85-93, 2010.

NETO, Alexandre Assaf. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. 9ª ed. São Paulo: ATLAS, 2006. 448p.

OHSE, S.; DERNER, R. B.; OZÓRIO, R. A.; CUNHA, P. C. R.; LAMARCA, C. P.; DOS SANTOS, M. E.; MENDES, L. B. B. **Revisão: sequestro de carbono realizado por microalgas e florestas e a capacidade de produção de lipídios pelas microalgas**. INSULA. Brasil, 36, 39- 74, 2007

OGBONNA, J. C.; Masui, H.; Tanaka H.; J. **Appl. Phycol.** 1997, 9, 359.

OLAIZOLA, M. 2003. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. **Biomolecular Engineering**, 20: 359-466.

ORCHARD, A. E., eds.; **Australian Biological Resources Study**: Canberra, 2007, chap. 29.

PORTER, E. M. **Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Elsevier, 2004.

PULZ, O.; GROSS, W. **Valuable products from biotechnology of microalgae**. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.65, n.6, p.635-648, 2004.

RAS M, LARDON L, SIALVE B, BERNET N, STEYER JP. **Experimental study on a coupled process of production and anaerobic digestion of *Chlorella vulgaris***. *Bioresour Technol*;102:200–6, 2011.

Relatório Técnico - Projeto 407121201317, CNPq-LABEC, Edital 056/2013 (2017)

RICHARDSON A JW, JOHNSON MD, OUTLAW JL. **Economic comparison of open pond raceways to photo bio-reactors for profitable production of algae for transportation fuels in the Southwest**. *Algal Res*, 2012.

RICHMOND, A., 2004. **Handbook of Microalgae Culture: Biotechnology and Applied Phycology**, Oxford: Blackwell Publishing.

RUIZ J, GIUSEPPE O, VREE J, BOSMA R, WILLEMS P, HANS J, EPPINK H M, KLEINEGRIS M D, WIJFFELS R H, BARBOSA M J. **Towards industrial products from microalgae**, Energy Environ. Sci. 9, 3036–3043, 2016.

SAHARAN BS, SHARMA D, SAHU R, SABIN O, WARREN A. **Towards algal biofuel production: a concept of green bioenergy development**. Innov Rom Food Biotechnol 2013;12:1–21.

SAMSON R, LEDUY A. **Influence of mechanical and thermochemical pretreatments on anaerobic digestion of Spirulina maxima algal biomass**. Biotechnol Lett 1983;5:671–6, 1983.

SCOTT, S. A.; Davey, M. P.; Dennis, J. S.; Horst, I.; Howe, C. J.; Lea– Smith, D. J.; Smith, A. G.; **Curr. Opin. Biotechnol.** 21, 277. 2010.

SEO, I. *et al.* Numerical investigation of a bubble-column photo-bioreactor design for microalgae cultivation. **Biosystems Engineering**, v. 113, n. 3, p. 229–241, 2012

SHENHAR, A. J., Dvir, D., Milosevic, D., Mulenburg, J., Patanakul, P., Reilly, R., Ryan, M., Sage, A., Sauser, B., Srivannaboon, S., Stefanovic, J., & Thamhain, H. T (2005). **Toward a NASA-specific project management framework**. Engineering Management Journal, 17(4), 8-16.

SIMOPOULOS, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 56, n. 8, p. 365-379, 2002.

SINGH, B. D. **Biotechnology**. New Delhi: Kalyani Publishers, 1998. p. 498-510.

SOUZA, S. C. de *et al.* **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para Abertura de uma Agroindústria Processadora de Polpa de Frutas no Município AimorésMG. Viçosa**: Intec, 2005.

SPOLAORE, P., CASSAN, C.J., DURAN, E., ISAMBERTA. **Commercial application of microalgae**. J. Biosci. Bioeng. 101, 87–96, 2006.

TEBBANI, S., LOPES, F. and CELIS, G.B. **Nonlinear control of continuous cultures of Porphyridium purpureum in a photobioreactor**. Chemical Engineering Science, 123, 207–219, 2015

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 10a. ed. Porto Alegre, Brasil: ARTMED, 2012.

TREDICI, M. Mass production of microalgae:photobiorreactors. In RICHMOND, A. **Hand book of microalgar culture: Biotechnology and Applied Phycology**. England: Blackwell Publishing, 2004. p 178-214.

VARELA, J.C., PEREIRA, H., VILA, M., LEÓN, R. **Production of carotenoids by microalgae: achievements and challenges**. Photosynth. Res. 125, 423-436, 2015.

VONSHAK, A. 1990. Recent advances in microalgal biotechnology. **Biotechnology Advances**, 6: 709-727.

VONSHAK, A; TORZILLO, G. Environmental stress physiology. In RICHMOND, A. **Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology**. England: Blackwell Publishing, p.57-82, 2004.

WANG, B.; LI, Y.; WU, N.; LAN, C. CO₂ bio-mitigation using microalgae. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 79, n. 5, p. 707-718, 2008.

ZAMALLOA C, BOON N, VERSTRAETE W. **Anaerobic digestibility of Scenedesmus obliquus and Phaeodactylum tricornutum under mesophilic and thermophilic conditions**. Appl Energy;92:733–8, 2012.

ZHAO. T. and LI. J. **Research on Risk Allocation in International Construction Projects**. In: Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference on, Wuhan. [31] P. X.W, 2010.

9.0 APÊNCIDES

APÊNDICE 1 – Custo de Investimento detalhado para Unidade de 40 kg

Peça/Material	Fabricante	Descrição	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Preço Total	% do custo
FOTOBIOREATORES							
Acrílico		1,5X0,70m	70	Unidades	R\$ 125,00	R\$ 8 750,00	3%
Adaptador caixa d'água	Tigre	32"	35	Unidades	R\$ 19,90	R\$ 696,50	0%
Adaptador caixa d'água	Tigre	20"	70	Unidades	R\$ 11,77	R\$ 823,90	0%
Adaptador rosca bolsa	Tigre	20"	70	Unidades	R\$ 0,99	R\$ 69,30	0%
Joelho	Tigre	20"	70	Unidades	R\$ 0,69	R\$ 48,30	0%
União	Tigre	20"	70	Unidades	R\$ 7,16	R\$ 501,20	0%
Joelho	Tigre	20"/25"	35	Unidades	R\$ 0,92	R\$ 32,20	0%
Adaptador rosca bolsa	Tigre	25	35	Unidades	R\$ 1,19	R\$ 41,65	0%
Difusor Tubular		1	35	Unidades	R\$ 30,00	R\$ 1 050,00	0%
Parafuso Atarraxante Chata Philips	Jomarca	4,2 X 38	1365	Unidades	R\$ 0,07	R\$ 100,74	0%
Adaptador Rosca Bolsa	Tigre	32"	35	Unidades	R\$ 2,09	R\$ 73,15	0%
Luva	Tigre	32"	35	Unidades	R\$ 1,75	R\$ 61,25	0%
Sikaflex		1	3,5	tubos	R\$ 31,45	R\$ 110,08	0%
Tampa		Aço carbono	35	Unidades	R\$ 10,00	R\$ 350,00	0%
Perfil em U 5X10		Reator(1,5x7)	154	metros	R\$ 13,02	R\$ 2 004,57	1%
Tubo	Tigre	20" 1,5m	52,5	metros	R\$ 13,02	R\$ 683,38	0%
Cantoneira		2,5X70	98	metros	R\$ 2,81	R\$ 275,22	0%
SKID						R\$ -	0%
Perfil Aço Inox (10X4)			224,1	Metros	R\$ 90,83	R\$ 20 355,75	8%
Tubo	Tigre	32"	36	metros	R\$ 6,85	R\$ 246,60	0%
Curva	Tigre	32"	6	Unidades	R\$ 7,05	R\$ 42,30	0%
Tê	Tigre	32"	24	Unidades	R\$ 2,99	R\$ 71,76	0%
Registro	Tigre	32"	6	Unidades	R\$ 30,00	R\$ 180,00	0%
Joelho	Tigre	20"	12	Unidades	R\$ 0,92	R\$ 11,04	0%
tê	Tigre	20"	48	Unidades	R\$ 2,00	R\$ 96,00	0%
Registro	Tigre	20"	12	Unidades	R\$ 36,90	R\$ 442,80	0%
Tubo	Tigre	20"	72	Unidades	R\$ 2,53	R\$ 182,40	0%
Tubo	Tigre	Eletricidade	36	Unidades	R\$ 4,15	R\$ 149,40	0%
Caixa Passagem		Plastica	12	Unidades	R\$ 12,57	R\$ 150,84	0%
Curva	Tigre	eletricidade	6	Unidades	R\$ 29,19	R\$ 175,14	0%
União Eletricidade	Tigre	eletricidade	30	Unidades	R\$ 2,99	R\$ 89,70	0%
CIRCUITOS ELÉTRICOS						R\$ -	0%
Luva red	Tigre	60"/32"	5	Unidades	R\$ 8,98	R\$ 44,90	0%
tê	Tigre	60"	4	Unidades	R\$ 36,90	R\$ 147,60	0%
Curva	Tigre	60"	1	Unidades	R\$ 29,52	R\$ 29,52	0%
Tubo	Tigre	60"	12	Metros	R\$ 20,83	R\$ 250,00	0%
Calha		Eletricidade	30	Metros	R\$ 8,97	R\$ 269,00	0%
Tampa de calha		eletricidade	30	Metros	R\$ 3,00	R\$ 90,00	0%
fio1mm		Eletricidade	400	Metros	R\$ 1,32	R\$ 527,60	0%
fio4mm		Eletricidade	200	Metros	R\$ 2,35	R\$ 469,80	0%
fiobindado		Eletricidade	30	Metros	R\$ 25,00	R\$ 750,00	0%
EQUIPAMENTOS E SENSORES							
Envasadora	alfa		1	Unidades	R\$ 389,00	R\$ 389,00	
Balança	Tramontina		1	Unidades	R\$ 250,00	R\$ 250,00	
bomba centrífuga	Dancor	0,5cv	5	Unidades	R\$ 495,00	R\$ 2 475,00	1%
Válvula solenoide 1"	Rain Bird	senoide	12	Unidades	R\$ 192,42	R\$ 2 309,04	1%
Centrífuga	GEA Westfalia	7,5cv	1	Unidades	R\$ 131 000,00	R\$ 131 000,00	52%
Controlador CLP	Altus Sistemas de Automação AS		1	Unidades	R\$ 9 138,80	R\$ 9 138,80	
Compressor Radial RADIAL 3CV	Mackven Indus. LTDA	3CV	1	Unidades	R\$ 5 189,00	R\$ 5 189,00	2%
Compressor RADIAL 5 CV	Mackven Indus. LTDA	5CV	1	Unidades	R\$ 7 000,00	R\$ 7 000,00	3%
Estufa	Tecnal	440WATTS	1	UNIDADE	R\$ 1 500,00	R\$ 1 500,00	1%
sensor de temperatura			10	Unidades	R\$ 180,00	R\$ 1 800,00	1%
Eletrodo de pH			8	Unidades	R\$ 577,50	R\$ 4 620,00	2%
Kit acessório CLP	Altus		1	Unidades	R\$ 1 434,99	R\$ 1 434,99	
Módulo Elétrico	Altus		1	Unidades	R\$ 3 397,20	R\$ 3 397,20	
Inversor Motus10	Altus		1	Unidades	R\$ 3 782,70	R\$ 3 782,70	2%
HIDRAULICA							
curva	Tigre	32"	30	Unidades	R\$ 7,05	R\$ 211,50	0%
tê	Tigre	32"	20	Unidades	R\$ 2,99	R\$ 59,80	0%
uniao	Tigre	32"	10	Unidades	R\$ 14,32	R\$ 143,20	0%
tubo	Tigre	32"	60	Metros	R\$ 6,85	R\$ 411,00	0%
tanque	Fortlev	2500l	2	Unidades	R\$ 1 399,00	R\$ 2 798,00	1%
Tanque	Fortlev	1000	1	Unidades	R\$ 450,00	R\$ 450,00	0%
Difusor prato			12	Unidades	R\$ 58,75	R\$ 705,00	0%
Difusor tubo			38	Unidades	R\$ 111,96	R\$ 4 254,48	2%
Registro	Tigre	32	5	Unidades	R\$ 36,90	R\$ 184,50	0%
Envasadora						R\$ 27 000,00	
total						R\$ 250 946,78	83%

APÊNDICE 2 – Cálculo de custo energético operacional

Cálculo de Demanda Energética por Batelada - 10 dias													
Equipamento	Fabricante	Quantidade	Potencia/unid		Tensão (V)	Descrição do uso	Total de Horas por Batelada	Capacidade Operacional do Equipamento	Consumo Energético kw/Batelada	Custo ativo Fora de Ponta (0,4)	Custo Ativo Ponta 18-21 horas (1,03)	Custo Operacional por equipamento	% do custo total
FBS-EPW-AC	Altus	1	21	Watts	220	Contínuo	720	100%	15,12	R\$ 5,29	R\$ 1,95	R\$ 7,24	1%
FBS-60MCR2-AC	Altus	1	36	Watts	220	Contínuo	720	100%	25,92	R\$ 9,07	R\$ 3,34	R\$ 12,41	2%
Fonte 24vac 3,5A	MS	1	350	-	220	Contínuo	720	25%	63	R\$ 22,05	R\$ 8,11	R\$ 30,16	4%
Válvula solenoide 1"	Rain Bird	15	3,22	Watts	25	Pontual	3	100%	0,00966	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	0%
Fonte 24V		1			220			100%	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	0%
Válvula solenoide 1/4"	Danfoss	2	18	Watts	24	Pontual	3	100%	0,054	R\$ 0,02	R\$ -	R\$ 0,02	0%
Transmissor pH	Mettler Toledo	2	10	VA	24	pontual	3	100%	0,03	R\$ 0,01	R\$ 0,00	R\$ 0,01	0%
Transmissor CO2	Mettler Toledo	2	10	VA	24	pontual	3	100%	0,03	R\$ 0,01	R\$ 0,00	R\$ 0,01	0%
Transmissor O2	Mettler Toledo	2	10	VA	24	pontual	3	100%	0,03	R\$ 0,01	R\$ 0,00	R\$ 0,01	0%
Bomba centrífuga	Dancor	7	734	Watts	220	Pontual	30	100%	22,02	R\$ 8,81		R\$ 8,81	1%
Inversor Motus10	Altus	2	1600	Watts	380	contínuo	720	15%	172,8	R\$ 60,48	R\$ 22,25	R\$ 82,73	11%
Compressor Radial	ibram	1	1491,4	Watts	220	contínuo	720	20%	214,7616	R\$ 75,17	R\$ 27,65	R\$ 102,82	13%
Compressor Radial	ibram	1	2982,8	Watts	220	contínuo	720	42%	901,99872	R\$ 315,70	R\$ 116,13	R\$ 431,83	55%
Centrífuga	GEA Westfalia	1	22371	Watts	380	Pontual	12	80%	214,7616	R\$ 75,17	R\$ 27,65	R\$ 102,82	13%
Balança	Tramontina		10	Watts	220	Pontual	1	80%	0,008	R\$ 0,00	R\$ -	R\$ 0,00	0%
Envasadora	Alfa		100	Watts	220	Pontual	1	80%	0,08	R\$ 0,03	R\$ -	R\$ 0,03	0%
Estufa	Tecnal	1	440	Watts	220	Pontual	12	40%	2,112	R\$ 0,74	R\$ 0,27	R\$ 1,01	0%
Total									1632,73558	R\$ 572,56	R\$ 207,36	R\$ 779,92	100%

APÊNDICE 3 – Análise de Sensibilidade para Preço mínimo de encapsulados.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NO PREÇO DE 9,00/UN - VALOR MINIMO												
Capacidade Produtiva biomassa(kg)	40			60			80			120		
Unidades Produzidas	1667			2500			3333			5000		
Investimento	R\$ 277 946,78			R\$ 289 426,23			R\$ 300 905,67			R\$ 346 822,55		
Receita Unitária	R\$ 12,00			R\$ 12,00			R\$ 12,00			R\$ 12,00		
Receita	R\$ 20 000,00			R\$ 30 000,00			R\$ 40 000,00			R\$ 60 000,00		
Custo de Fabricação Unitário	R\$ 5,29			R\$ 5,29			R\$ 5,29			R\$ 5,29		
Custo de Fabricação	R\$ 8 816,67			R\$ 13 225,00			R\$ 17 633,33			R\$ 26 450,00		
Margem de Contribuição Unitário	R\$ 6,71			R\$ 6,71			R\$ 6,71			R\$ 6,71		
Margem de Contribuição	R\$ 11 183,33			R\$ 16 775,00			R\$ 22 366,67			R\$ 33 550,00		
Custos e Despesas Fixas	R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22		
Lucro Bruto	R\$ 8 567,11			R\$ 14 158,78			R\$ 19 750,44			R\$ 30 933,78		
Impostos	R\$ 2 400,00			R\$ 3 600,00			R\$ 4 800,00			R\$ 7 200,00		
Lucro Líquido	R\$ 6 167,11			R\$ 10 558,78			R\$ 14 950,44			R\$ 23 733,78		
Ponto de Equilíbrio unidades	390			390			390			390		
Ponto de Equilíbrio Vendas	R\$ 4 678,79			R\$ 4 678,79			R\$ 4 678,79			R\$ 4 678,79		
Taxa de Lucratividade	31%			35%			37%			40%		
ROI ANO 1	-73%			-58%			-48%			-18%		
ROI ANO 2	-47%			-16%			3%			64%		
ROI ANO 3	-20%			26%			55%			146%		
ROI ANO 4	7%			68%			107%			215%		
ROI ANO 5	33%			111%			159%			311%		
Payback Meses	45			28			23			15		
PAYBACK anos	3,8			2,4			1,9			1,2		
Taxa mínima de atratividade	10% 12% 15%			10% 12% 15%			10% 12% 15%			10% 12% 15%		
VPL Descontado (3 anos)	-R\$ 93 906,50	-R\$ 100 198,48	-R\$ 108 975,97	R\$ 14 191,71	R\$ 3 419,13	-R\$ 11 608,90	R\$ 99 331,93	R\$ 84 078,76	R\$ 62 800,19	R\$ 361 446,13	R\$ 337 231,78	R\$ 303 452,11
TIR 3 anos	-19%	-20%	-22%	2%	1%	-2%	14%	12%	9%	48%	46%	42%
VPL Descontado(5 anos)	R\$ 2 591,62	-R\$ 11 174,16	-R\$ 29 869,46	R\$ 179 407,19	R\$ 155 838,66	R\$ 123 830,22	R\$ 333 264,77	R\$ 299 893,49	R\$ 254 571,91	R\$ 732 813,70	R\$ 679 836,90	R\$ 607 889,06
TIR 5 anos	0%	-1%	-4%	19%	17%	14%	30%	28%	24%	61%	58%	54%
Payback												
ano	-R\$ 277 946,78	-R\$ 277 946,78	-R\$ 277 946,78	-R\$ 300 905,67	-R\$ 300 905,67	-R\$ 300 905,67	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55
1	R\$ 67 277,57	R\$ 66 076,18	R\$ 64 352,45	R\$ 115 186,66	R\$ 113 129,75	R\$ 110 178,54	R\$ 163 095,75	R\$ 160 183,32	R\$ 156 004,63	R\$ 258 913,93	R\$ 254 290,47	R\$ 247 656,80
2	R\$ 61 161,42	R\$ 58 996,59	R\$ 55 958,66	R\$ 104 715,14	R\$ 101 008,71	R\$ 95 807,43	R\$ 148 268,86	R\$ 143 020,82	R\$ 135 656,20	R\$ 235 376,30	R\$ 227 045,06	R\$ 215 353,74
3	R\$ 55 601,29	R\$ 52 675,53	R\$ 48 659,70	R\$ 95 195,58	R\$ 90 186,35	R\$ 83 310,81	R\$ 134 789,87	R\$ 127 697,16	R\$ 117 961,91	R\$ 213 978,45	R\$ 202 718,80	R\$ 187 264,12
4	R\$ 50 546,63	R\$ 47 031,72	R\$ 42 312,78	R\$ 86 541,44	R\$ 80 523,52	R\$ 72 444,18	R\$ 122 536,25	R\$ 114 015,33	R\$ 102 575,58	R\$ 194 525,87	R\$ 180 998,93	R\$ 162 838,37
5	R\$ 45 951,48	R\$ 41 992,61	R\$ 36 793,72	R\$ 78 674,04	R\$ 71 896,00	R\$ 62 994,94	R\$ 111 396,59	R\$ 101 799,40	R\$ 89 196,15	R\$ 176 841,70	R\$ 161 606,19	R\$ 141 598,58
VPL descontado 5 anos	R\$ 2 591,62	-R\$ 11 174,16	-R\$ 29 869,46	R\$ 179 407,19	R\$ 155 838,66	R\$ 123 830,22	R\$ 333 264,77	R\$ 299 893,49	R\$ 254 571,91	R\$ 732 813,70	R\$ 679 836,90	R\$ 607 889,06
TIR	0%	-1%	-4%	19%	17%	14%	30%	28%	24%	61%	58%	54%

APÊNDICE 4 – Análise de Sensibilidade para Preço médio de encapsulados.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NO PREÇO DE 12,00/UN - VALOR MÉDIO												
Capacidade Produtiva biomassa(kg)	40			60			80			120		
Unidades Produzidas	1667			2500			3333			5000		
Investimento	R\$ 277 946,78			R\$ 289 426,23			R\$ 300 905,67			R\$ 346 822,55		
Receita Unitária	R\$ 12,00			R\$ 12,00			R\$ 12,00			R\$ 12,00		
Receita	R\$ 20 000,00			R\$ 30 000,00			R\$ 40 000,00			R\$ 60 000,00		
Custo de Fabricação Unitário	R\$ 5,29			R\$ 5,29			R\$ 5,29			R\$ 5,29		
Custo de Fabricação	R\$ 8 816,67			R\$ 13 225,00			R\$ 17 633,33			R\$ 26 450,00		
Margem de Contribuição Unitário	R\$ 6,71			R\$ 6,71			R\$ 6,71			R\$ 6,71		
Margem de Contribuição	R\$ 11 183,33			R\$ 16 775,00			R\$ 22 366,67			R\$ 33 550,00		
Custos e Despesas Fixas	R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22		
Lucro Bruto	R\$ 8 567,11			R\$ 14 158,78			R\$ 19 750,44			R\$ 30 933,78		
Impostos	R\$ 2 400,00			R\$ 3 600,00			R\$ 4 800,00			R\$ 7 200,00		
Lucro líquido	R\$ 6 167,11			R\$ 10 558,78			R\$ 14 950,44			R\$ 23 733,78		
Ponto de Equilíbrio unidades	390			390			390			390		
Ponto de Equilíbrio Vendas	R\$ 4 678,79			R\$ 4 678,79			R\$ 4 678,79			R\$ 4 678,79		
Taxa de Lucratividade	31%			35%			37%			40%		
ROI ANO 1	-73%			-58%			-48%			-18%		
ROI ANO 2	-47%			-16%			3%			64%		
ROI ANO 3	-20%			26%			55%			146%		
ROI ANO 4	7%			68%			107%			215%		
ROI ANO 5	33%			111%			159%			311%		
Payback Meses	45			28			23			15		
PAYBACK anos	3,8			2,4			1,9			1,2		
Taxa mínima de atratividade	10%	12%	15%	10%	12%	15%	10%	12%	15%	10%	12%	15%
VPL Descontado (3 anos)	-R\$ 93 906,50	-R\$ 100 198,48	-R\$ 108 975,97	R\$ 14 191,71	R\$ 3 419,13	-R\$ 11 608,90	R\$ 99 331,93	R\$ 84 078,76	R\$ 62 800,19	R\$ 361 446,13	R\$ 337 231,78	R\$ 303 452,11
TIR 3 anos	-19%	-20%	-22%	2%	1%	-2%	14%	12%	9%	48%	46%	42%
VPL Descontado(5 anos)	R\$ 2 591,62	-R\$ 11 174,16	-R\$ 29 869,46	R\$ 179 407,19	R\$ 155 838,66	R\$ 123 830,22	R\$ 333 264,77	R\$ 299 893,49	R\$ 254 571,91	R\$ 732 813,70	R\$ 679 836,90	R\$ 607 889,06
TIR 5 anos	0%	-1%	-4%	19%	17%	14%	30%	28%	24%	61%	58%	54%
Payback												
ano	-R\$ 277 946,78	-R\$ 277 946,78	-R\$ 277 946,78	-R\$ 300 905,67	-R\$ 300 905,67	-R\$ 300 905,67	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55
1	R\$ 67 277,57	R\$ 66 076,18	R\$ 64 352,45	R\$ 115 186,66	R\$ 113 129,75	R\$ 110 178,54	R\$ 163 095,75	R\$ 160 183,32	R\$ 156 004,63	R\$ 258 913,93	R\$ 254 290,47	R\$ 247 656,80
2	R\$ 61 161,42	R\$ 58 996,59	R\$ 55 958,66	R\$ 104 715,14	R\$ 101 008,71	R\$ 95 807,43	R\$ 148 268,86	R\$ 143 020,82	R\$ 135 656,20	R\$ 235 376,30	R\$ 227 045,06	R\$ 215 353,74
3	R\$ 55 601,29	R\$ 52 675,53	R\$ 48 659,70	R\$ 95 195,58	R\$ 90 186,35	R\$ 83 310,81	R\$ 134 789,87	R\$ 127 697,16	R\$ 117 961,91	R\$ 213 978,45	R\$ 202 718,80	R\$ 187 264,12
4	R\$ 50 546,63	R\$ 47 031,72	R\$ 42 312,78	R\$ 86 541,44	R\$ 80 523,52	R\$ 72 444,18	R\$ 122 536,25	R\$ 114 015,33	R\$ 102 575,58	R\$ 194 525,87	R\$ 180 998,93	R\$ 162 838,37
5	R\$ 45 951,48	R\$ 41 992,61	R\$ 36 793,72	R\$ 78 674,04	R\$ 71 896,00	R\$ 62 994,94	R\$ 111 396,59	R\$ 101 799,40	R\$ 89 196,15	R\$ 176 841,70	R\$ 161 606,19	R\$ 141 598,58
VPL descontado 5 anos	R\$ 2 591,62	-R\$ 11 174,16	-R\$ 29 869,46	R\$ 179 407,19	R\$ 155 838,66	R\$ 123 830,22	R\$ 333 264,77	R\$ 299 893,49	R\$ 254 571,91	R\$ 732 813,70	R\$ 679 836,90	R\$ 607 889,06
TIR	0%	-1%	-4%	19%	17%	14%	30%	28%	24%	61%	58%	54%

APÊNDICE 5 – Análise de Sensibilidade para Preço máximo de Encapsulados.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NO PREÇO DE 15,00/UN - VALOR MÁXIMO												
Capacidade Produtiva biomassa(kg)	40			60			80			120		
Unidades Produzidas	1667			2500			3333			5000		
Investimento	R\$ 277 946,78			R\$ 289 426,23			R\$ 300 905,67			R\$ 346 822,55		
Receita Unitária	R\$ 15,00			R\$ 15,00			R\$ 15,00			R\$ 15,00		
Receita	R\$ 25 000,00			R\$ 37 500,00			R\$ 50 000,00			R\$ 75 000,00		
Custo de Fabricação Unitário	R\$ 5,29			R\$ 5,29			R\$ 5,29			R\$ 5,29		
Custo de Fabricação	R\$ 8 816,67			R\$ 13 225,00			R\$ 17 633,33			R\$ 26 450,00		
Margem de Contribuição Unitário	R\$ 9,71			R\$ 9,71			R\$ 9,71			R\$ 9,71		
Margem de Contribuição	R\$ 16 183,33			R\$ 24 275,00			R\$ 32 366,67			R\$ 48 550,00		
Custos e Despesas Fixas	R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22			R\$ 2 616,22		
Lucro Bruto	R\$ 13 567,11			R\$ 21 658,78			R\$ 29 750,44			R\$ 45 933,78		
Impostos	R\$ 3 000,00			R\$ 4 500,00			R\$ 6 000,00			R\$ 9 000,00		
Lucro Líquido	R\$ 10 567,11			R\$ 17 158,78			R\$ 23 750,44			R\$ 36 933,78		
Ponto de Equilíbrio unidades	269			269			269			269		
Ponto de Equilíbrio Vendas	R\$ 4 041,54			R\$ 4 041,54			R\$ 4 041,54			R\$ 4 041,54		
Taxa de Lucratividade	42%			46%			48%			49%		
ROI ANO 1	-54%			-32%			-18%			28%		
ROI ANO 2	-9%			37%			64%			156%		
ROI ANO 3	37%			105%			147%			283%		
ROI ANO 4	82%			174%			229%			390%		
ROI ANO 5	128%			242%			311%			539%		
Payback Meses	26			18			15			9		
PAYBACK anos	2,2			1,5			1,2			0,8		
Taxa mínima de atratividade	10%	12%	15%	10%	12%	15%	10%	12%	15%	10%	12%	15%
VPL Descontado (3 anos)	R\$ 37 399,29	R\$ 26 618,21	R\$ 11 578,32	R\$ 211 150,39	R\$ 193 644,17	R\$ 169 222,53	R\$ 361 943,50	R\$ 337 712,14	R\$ 303 908,76	R\$ 755 363,49	R\$ 717 681,85	R\$ 665 114,97
TIR 3 anos	7%	5%	2%	33%	31%	28%	48%	46%	42%	95%	92%	87%
VPL Descontado(5 anos)	R\$ 202 745,16	R\$ 179 158,03	R\$ 147 124,33	R\$ 479 637,50	R\$ 441 336,93	R\$ 389 320,90	R\$ 733 571,85	R\$ 680 557,85	R\$ 608 559,49	R\$ 1 333 274,32	R\$ 1 250 833,45	R\$ 1 138 870,43
TIR 5 anos	23%	21%	18%	48%	45%	41%	61%	58%	54%	105%	101%	96%
Payback												
ano	-R\$ 277 946,78	-R\$ 277 946,78	-R\$ 277 946,78	-R\$ 300 905,67	-R\$ 300 905,67	-R\$ 300 905,67	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55	-R\$ 346 822,55
1	R\$ 115 277,57	R\$ 113 219,04	R\$ 110 265,50	R\$ 187 186,66	R\$ 183 844,04	R\$ 179 048,11	R\$ 259 095,75	R\$ 254 469,04	R\$ 247 830,71	R\$ 402 913,93	R\$ 395 719,04	R\$ 385 395,93
2	R\$ 104 797,79	R\$ 101 088,43	R\$ 95 883,04	R\$ 170 169,69	R\$ 164 146,46	R\$ 155 694,01	R\$ 235 541,59	R\$ 227 204,50	R\$ 215 504,97	R\$ 366 285,39	R\$ 353 320,57	R\$ 335 126,90
3	R\$ 95 270,72	R\$ 90 257,52	R\$ 83 376,56	R\$ 154 699,72	R\$ 146 559,34	R\$ 135 386,09	R\$ 214 128,72	R\$ 202 861,16	R\$ 187 395,63	R\$ 332 986,72	R\$ 315 464,79	R\$ 291 414,69
4	R\$ 86 609,74	R\$ 80 587,07	R\$ 72 501,35	R\$ 140 636,11	R\$ 130 856,55	R\$ 117 727,04	R\$ 194 662,47	R\$ 181 126,03	R\$ 162 952,72	R\$ 302 715,20	R\$ 281 664,99	R\$ 253 404,08
5	R\$ 78 736,13	R\$ 71 952,75	R\$ 63 044,66	R\$ 127 851,00	R\$ 116 836,21	R\$ 102 371,34	R\$ 176 965,88	R\$ 161 719,67	R\$ 141 698,02	R\$ 275 195,63	R\$ 251 486,60	R\$ 220 351,38
VPL descontado 5 anos	R\$ 202 745,16	R\$ 179 158,03	R\$ 147 124,33	R\$ 479 637,50	R\$ 441 336,93	R\$ 389 320,90	R\$ 733 571,85	R\$ 680 557,85	R\$ 608 559,49	R\$ 1 333 274,32	R\$ 1 250 833,45	R\$ 1 138 870,43
TIR	23%	21%	18%	48%	45%	41%	61%	58%	54%	105%	101%	96%

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA
CEP: 40.210-630
Telefone: (71) 3283-9800
E-mail: pei@ufba.br
Home page: <http://www.pei.ufba.br>

