

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E
BIOTECNOLOGIA

FELIPE GUERRA DE BORTOLI

**PROJETO DE INDÚSTRIA DE BIOPROCESSOS PARA PRODUÇÃO
DE INOCULANTES UTILIZANDO *Bradyrhizobium spp.***

TOLEDO - PR
2021

FELIPE GUERRA DE BORTOLI

**PROJETO DE INDÚSTRIA DE BIOPROCESSOS PARA PRODUÇÃO
DE INOCULANTES UTILIZANDO *Bradyrhizobium spp.***

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Bioprocessos

Orientador: Dr. Luís Felipe Minozzo Figueiredo

TOLEDO – PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

Projeto de Indústria de Bioprocessos para Produção de Inoculantes Utilizando *Bradyrhizobium spp.*

Felipe Guerra de Bortoli

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 23/07/2021 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Bioprocessos e biotecnologista, do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Toledo (UTFPR-TD). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Priscila Vaz de Arruda
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Fabiano Bisinella Scheufele
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Luís Felipe Minozzo Figueiredo
(UTFPR – TD)
Orientador

Prof. Dr. Thiago Cintra Maniglia
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. de
Bioprocessos e Biotecnologia

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmãs, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava para realizar este projeto.

Ao Prof. Luís Felipe Minozzo Figueiredo, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação, amizade e paciência.

A Prof^a. Sandra Pinela, pela significativa contribuição e auxílio no desenvolvimento do projeto.

Aos professores Fabiano Bisinella Scheufele e Priscila Vaz de Arruda por aceitarem participar da avaliação deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

Dedico este trabalho a minha mãe, Sra.
Luciana de Souza Guerra. Sem ela nada
disso seria possível.

“A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana”

Louis Pasteur

RESUMO

A agricultura é uma atividade de suma importância para o ser humano e este sempre procura maneiras de deixá-la mais eficiente e menos nociva a natureza. Neste sentido surge a utilização de insumos biológicos, uma busca de reduzir o uso de insumos químicos para oferecer alimentos mais saudáveis e reduzir os custos destas moléculas. Portanto, nos últimos anos ampliou-se a criação de indústrias produtoras destes insumos, dentre os quais se destaca o inoculante para soja produzido a partir do microrganismo *Bradyrhizobium* spp. Entretanto observa-se uma concentração destas unidades produtoras em grandes centros distantes dos produtores rurais. Desta forma o presente trabalho apresenta um projeto de indústria para produção de inoculantes localizada no interior do país, para aproximar a indústria do seu principal consumidor. Para desenvolvimento do projeto primeiramente foi realizado o estudo de localização e a análise de demanda, após foram realizados os balanços mássicos e dimensionamentos dos equipamentos principais para posterior elaboração do *layout* industrial, por fim foi realizada a análise econômica os indicadores apontaram uma possível viabilidade do projeto inicial realizado.

Palavras-chaves: Inoculantes. *Bradyrhizobium* spp. Projeto de Indústria. Fermentação.

ABSTRACT

Agriculture is an activity of paramount importance for human, the humanity is always looking for ways to make it more efficient. In this sense, the use of biological supplies grows, a search to reduce the use of chemical pesticides to offer healthier foods to humans and reduce the costs of these molecules. In this sense, in recent years, the creation of industries producing these supplies has expanded, among which the inoculant for soy produced from the microorganism *Bradyrhizobium* spp stands out. However, there is a concentration of these production units in large centers. the present work presents an industry project for the production of inoculants located in the interior of the country. For the development of the project, the location study and the demand analysis were first carried out, after the mass balances and sizing of the main equipment were carried out for further elaboration of the industrial layout, finally the economic analysis was carried out, the indicators pointed to a possible feasibility of the project initial performed.

Keywords: Biological supplies. *Bradyrhizobium*. Industry desing. Fermentation.

Lista de figuras

Figura 1 – Comportamento histórico da produtividade total de soja no Brasil.....	24
Figura 2 - Histórico de consumo de inoculantes no Brasil.....	28
Figura 3 - Mapa do estado do Mato Grosso contendo as principais usinas produtoras de açúcar e as possíveis regiões de implementação da indústria.....	33
Figura 4 - Raio de atuação da indústria	37
Figura 5 - Demanda mensal de consumo de inoculantes na região abrangida pela indústria.....	37
Figura 6 - Demanda e produção acumulada	38
Figura 7 - Diagrama de afinidade da unidade	45
Figura 8 - Planta baixa inicial da unidade industrial	47
Figura 9 - Destaque do setor administrativo da planta baixa da fábrica de inoculantes agrícolas.....	47
Figura 10 - Diagrama de blocos do processo.....	49
Figura 11 - Diagrama PFD do processo de produção de inoculantes.....	54
Figura 12 - Diagrama P&ID do processo de produção de inoculantes.....	55
Figura 13 - Projeto do misturador TM-101	58
Figura 14 - Biorreator modelo D-DCU	61
Figura 15 - Envasadora semiautomática	63
Figura 16 - Válvula modelo borboleta com acionamento manual.....	66
Figura 17 - Válvula borboleta com atuador elétrico	66
Figura 18 - Gráfico do ponto de equilíbrio.....	72

Lista de tabelas

Tabela 1 - Ponderação qualitativa das localizações.....	35
Tabela 2- Dados cinéticos e estequiométricos utilizados para dimensionamento da	41
Tabela 3 - Distribuição espacial dos ambientes	46
Tabela 4 - Descrição dos insumos utilizados para produção de inoculantes.	48
Tabela 5 - Composição de bactérias.....	50
Tabela 6 - Cálculo do peso molecular da bactéria	51
Tabela 7 - Componente por batelada.....	53
Tabela 8 - Resumo do balanço de massa global do processo de produção de inoculantes	53
Tabela 9 - Dimensões do equipamento TM-101	57
Tabela 10 - Dimensões do equipamento TF-101	59
Tabela 11 - Dimensões do equipamento TM-102	62
Tabela 12 - Valores dos orçamentos para CAPEX	71
Tabela 13 - Índices economicos para a fábrica de inoculantes	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	NUTRIÇÃO VEGETAL	16
4.2	NITROGÊNIO.....	17
4.3	FERTILIZANTES NITROGENADOS.....	18
4.4	FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO	20
4.4.1	Fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro.....	20
4.4.2	Fixação biológica de nitrogênio em soja (<i>Glycine max</i>)	21
4.4.3	Fixação biológica de nitrogênio em não leguminosas	22
4.5	SOJA NO BRASIL.....	23
4.7	INOCULANTES.....	25
5	METODOLOGIA	27
6	ESTUDO DE MERCADO	28
6.1	HISTÓRICO DE MERCADO	28
6.2	MERCADO CONCORRENTE	29
6.3	MERCADO SUBSTITUTO	30
7	ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO	31
7.1	FATORES DETERMINANTES NA LOCALIZAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA.....	31
7.2	AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO.....	33
8	ESTUDO DOS VOLUMES DE PRODUÇÃO E DAS CAPACIDADES	36
8.1	DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE PRODUÇÃO	36
8.2	DETERMINAÇÃO DAS CAPACIDADES DA INDÚSTRIA.....	39

9	PLANEJAMENTO DAS INSTALAÇÕES	42
9.1	ATIVIDADES PRINCIPAIS E DE APOIO	42
9.2	ESTUDO DA INTER-RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES	43
9.3	DETERMINAÇÃO DOS ESPAÇOS PARA AS ATIVIDADES.....	45
9.4	LAYOUT GERAL DAS INSTALAÇÕES.....	46
10	PROCESSO DE PRODUÇÃO	48
10.1	ESPECIFICAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E INSUMOS	48
10.2	DIAGRAMAS E BALANÇO DE MASSA GLOBAL DO PROCESSO	48
10.3	ESPECIFICACAO E DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	55
10.3.1	Tanque de mistura (TM-101).....	55
10.3.2	Fermentador (TF-101).....	58
10.3.3	Tanque de mistura (TM-102).....	61
10.3.4	Envasadora (EV-101).....	63
10.4	ESTERILIZAÇÃO DO FERMENTADOR	63
10.5	ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE UTILIDADES	64
10.5.1	Tubulações.....	65
10.5.2	Válvulas.....	65
10.5.3	Sistema de tratamento de efluentes industriais.....	67
10.5.4	Bombas	67
10.5.5	Caldeira e torre de resfriamento.....	68
11	LIMITES LEGAIS ENVOLVIDOS NO PROJETO	69
12	ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA	71
12.1	CAPEX	71
12.2	OPEX	71
12.3	RECEITA ANUAL	72
12.4	AVALIAÇÃO FINANCEIRA	72
13	CONCLUSÃO	75

REFERÊNCIAS.....	76
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO MELAÇO	82
ANEXO B – TABELA DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA.....	83
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO	84
A.1 CAPACIDADE PRODUTIVA DA INDÚSTRIA.....	84
A.2 BALANÇO DE MASSA GLOBAL	85
A.3 TANQUE DE MISTURA (TM-101)	87
A.4 FERMENTADOR (TF-101)	88
A.5 TANQUE DE MISTURA (TM-102)	88
A.6 BOMBAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento exponencial da população mundial pode-se dizer que a maior preocupação dos próximos anos será alimentar com eficiência a população (EMBRAPA, 2011). Para isso é imprescindível buscar maneiras de aumentar a eficiência agrícola atual, através de um manejo mais efetivo e o desenvolvimento de insumos agrícolas que potencializem essa produção.

Dentre os insumos com potencial para melhoria da produtividade pode-se dizer que o uso de inoculantes é o que apresenta maior potencial de expansão (PEIXOTO, 2014). Os inoculantes são produtos agrícolas comerciais constituídos de microrganismos simbióticos que promovem a fixação biológica do nitrogênio atmosférico nas raízes das plantas, dispensando assim o uso de fertilizantes nitrogenados. Esses produtos vêm sendo usados frequentemente nas lavouras brasileiras, principalmente em cultivo de soja. A fixação biológica de nitrogênio promovida pelos microrganismos diazotróficos é capaz sozinha de suprir totalmente a necessidade da planta por nitrogênio em todo seu ciclo de vida o que gera uma economia em fertilizantes nitrogenados de aproximadamente R\$ 27 bilhões por ano somente com a cultura de soja (CONAB, 2017).

Além da economia financeira, o uso de inoculantes gera uma melhor relação entre o agronegócio e o meio ambiente uma vez que, diferentemente dos fertilizantes nitrogenados, o impacto ambiental durante a produção do insumo é muito pequeno e também não existe o risco de se ocorrer lixiviação do inoculante contaminando assim mananciais que rodeiam as lavouras (HUNGRIA, 2001).

Portanto é notável a necessidade deste tipo de produto para a produção agrícola brasileira se manter competitiva internacionalmente e também atender a busca por alimentos de uma população mundial com alta taxa de crescimento.

Porém, elevar a produção nacional de inoculantes não é o suficiente; pois, é preciso estabelecer um programa logístico que possibilite a melhor distribuição deste produto em regiões com características agrícolas, pois a maioria das indústrias produtoras desse insumo estão localizadas em metrópoles.

Uma possibilidade para melhoria dessa distribuição é a implantação de pequenas fábricas produtoras de inoculantes no interior no país, atendendo as demandas locais, levando renda e desenvolvimento para o interior do Brasil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o projeto inicial de uma planta de produção do microrganismo *Bradyrhizobium spp.* para uso como insumo biológico agrícola.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir a demanda do produto e localização da unidade fabril, a partir do estudo de mercado
- Elaborar os fluxogramas do processo.
- Realizar o balanço de massa global para o processo de produção do microrganismo.
- Determinar as operações unitárias.
- Dimensionar os equipamentos principais da unidade.
- Projetar o *layout* industrial.
- Realizar uma análise econômica inicial do projeto preliminar.

3 JUSTIFICATIVA

O Brasil se consolidou como grande usuário de inoculantes agrícolas, com cerca de 33 milhões de hectares cultivados com o uso deste insumo, segundo a Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII, 2019). Em entrevista ao portal Agrolink o presidente da ANPII diz que apesar da elevada adoção o mercado para produção e comercialização de inoculante se manterá bem aquecido nos próximos anos (AGROLINK, 2019).

Visto essa tendência de elevação do consumo de insumos agrícolas biológicos, faz-se necessário estruturar uma cadeia produtiva para esses produtos no interior do país, instalando pequenas unidades industriais que sejam capazes de atender as demandas regionais. Desenvolvendo uma estrutura simplificada e eficiente com o objetivo de desenvolver uma tecnologia de produção nacional, reduzir custos de produção e também distribuir unidades de produção no interior do Brasil gerando empregos e causando um fortalecimento da economia regional de cidades do interior.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será realizada uma contextualização sobre a nutrição vegetal e a importância que o nitrogênio tem no desenvolvimento das leguminosas, como por exemplo a soja, evidenciando assim a importância do uso de insumos agrícolas que elevem a taxa de absorção desse nutriente. Sabendo disso o mercado se apresenta altamente receptivo para produtos como o proposto no presente trabalho, uma vez que o uso de fertilizantes nitrogenados químicos vem sendo substituído por insumos que apresentam menos impactos negativos na natureza. Visando oferecer uma alternativa aos fertilizantes químicos a fixação biológica de nitrogênio vem se estabelecendo no mercado agrícola, principalmente nas culturas de soja.

4.1 NUTRIÇÃO VEGETAL

As plantas são a base da pirâmide alimentar pois são seres capazes de realizar autotrofismo, ou seja, os vegetais são capazes de metabolizar compostos simples presentes no ambiente em moléculas complexas essenciais para seu desenvolvimento e funções vitais, desta forma elas não dependem de outros organismos vivos para se alimentar como a maioria dos animais e são responsáveis por reinserir compostos orgânicos na cadeia alimentar (RAVEN, 2018).

Contudo, essa habilidade de produzir seu próprio alimento tem algumas limitações, e pode-se dizer que a principal delas é a necessidade de retirar do ambiente todas as substâncias básicas ao seu metabolismo, essa necessidade de retirar os nutrientes do ambiente é tão fundamental para os vegetais que muitos dos processos evolutivos destes seres foram especializações morfológicas e bioquímicas para que a absorção e distribuição destes componentes vitais se tornasse mais eficiente (RAVEN, 2018).

Desta forma, pode-se dizer que a nutrição vegetal envolve a absorção de todas as substâncias inorgânicas que são necessárias para os processos bioquímicos essenciais e a distribuição dessas substâncias dentro do vegetal (RAVEN, 2018), e este conjunto de moléculas inorgânicas são denominadas elementos essenciais.

O termo elemento essencial classifica todos os elementos minerais dos quais uma planta depende completamente para completar seu ciclo de vida (ARNON & STOUT, 1939). Depois de absorvidos os nutrientes são responsáveis por compor

estruturas como ácidos nucleicos, proteínas e compostos estruturais (NELSON & COX, 2018).

Os nutrientes são demandados em quantidades diferentes, pois em toda a complexidade de um organismo vegetal alguns compostos químicos são úteis em várias atividades e outros são necessários em atividades. Os componentes inorgânicos absorvidos do ambiente são classificados em macronutrientes e micronutrientes (RAVEN, 2018). Sendo que os macronutrientes englobam todos aqueles compostos químicos necessários em grandes quantidades para as plantas e, os micronutrientes os que compõem uma pequena porcentagem do peso seco dos vegetais, mas mesmo assim são importantes para o seu desenvolvimento (RAVEN, 2018).

Dentre todos os macronutrientes pode-se destacar o nitrogênio, seja pela sua importância fisiológica para os vegetais, desempenhando funções em moléculas fundamentais como ácidos nucleicos e proteínas, e também pela sua importância econômica nos fertilizantes quando se foca o olhar no agronegócio.

4.2 NITROGÊNIO

O nitrogênio, ou azoto, simbolizado na tabela periódica pela letra N e com número atômico igual a sete é, em condições normais de temperatura e pressão, um gás incolor e inodoro. É também o elemento mais abundante na atmosfera terrestre, pois 78,08 % do ar atmosférico é constituído desse elemento em sua forma gasosa (N₂) (WILLIAMS, 2019).

Esse elemento foi identificado pela primeira vez por Daniel Rutherford em 1772 na Escócia enquanto estudava o ar residual a partir da queima de compostos em uma atmosfera limitada; porém, seu nome só foi dado em 1790 por Jean-Antoine-Claude Chaptal ao perceber que esse elemento era o principal constituinte do ácido nítrico e do nitrato, sendo assim, denominou-o de nitrogênio, do grego *nitron genes*, que significa aquele que forma o nitro (GREENWOOD & EARNSHAW, 1997).

Além da já citada importância do nitrogênio em proteínas e moléculas biológicas, o azoto também é indispensável para outros inúmeros processos industriais, como na indústria petrolífera que utiliza esse gás inerte para proteção contra a corrosão e também quando se deseja remover os compostos orgânicos voláteis em correntes de processos químicos de refino. Em laboratórios, utiliza-se nitrogênio líquido para

controle de temperatura e conservação de material biológico pois esse método garante a preservação por longos períodos a uma temperatura constante (WOLFE & BRYANT, 2001).

Além disso, não se pode esquecer do uso de nitrogênio em fertilizantes que são amplamente utilizados no manejo agrícola no mundo inteiro, pode-se dizer que este é o principal destino e função do azoto atualmente devido a necessidade crescente de alimentos.

Mesmo sendo abundante na atmosfera, a sua concentração de nitrogênio no solo é relativamente escassa, cerca de 19 ppm (GREENWOOD & EARNSHAW, 1997), mas como exemplificado, este possui alto apelo comercial. Portanto, a produção e comércio de nitrogênio no mundo é fundamental para suprir as necessidades demandadas.

4.3 FERTILIZANTES NITROGENADOS

A crescente demanda por alimentos é uma constante preocupação da humanidade. Estudiosos diziam que a taxa de crescimento populacional era dada por uma progressão geométrica, enquanto a produção de alimentos seguia uma progressão aritmética (MALTHUS, 1798). Então se fazia necessário desenvolver tecnologias que revolucionassem a agricultura tradicional para uma agricultura mais precisa e rentável, atendendo assim a demanda mundial de alimentos (HARARI, 2011).

Quase dois séculos depois da publicação de Malthus, houve um grande avanço nas tecnologias aplicadas ao campo, essa mudança aprimorou tanto a produtividade que ficou conhecida como revolução verde (ALBERGONI; PELAEZ, 2007). Essa revolução foi pautada em vários elementos, todavia pode-se dizer que o mais importante, e o que causou mais impactos positivos sobre a produção agrícola mundial foi a descoberta dos fertilizantes nitrogenados.

No ano de 1909, o alemão Fritz Harber, realizou uma síntese que marcou o desenvolvimento da agricultura, ele desenvolveu um método para produzir amônia a partir de nitrogênio e hidrogênio, nesse método os gases desses elementos passam em um reator com pressão e temperatura controlada e na presença de um catalisador a amônia é formada (MODAK, 2011). Essa descoberta permitiu triplicar a produção agrícola sem a necessidade de realizar abertura de novas áreas, muitos especialistas

dizem que a descoberta da síntese da amônia, e conseqüentemente a descoberta dos fertilizantes nitrogenados, foi um dos fatores que proporcionou a primeira explosão demográfica mundial, e foi tão significativa na época que rendeu o prêmio Nobel em química no ano de 1918.

Anos mais tarde, o tradicional fertilizante nitrogenado foi incrementado de outros macronutrientes, como fósforo e potássio, dando vida ao agroquímico NPK (*Nitrogen, Phosphate and Potash*) que é utilizado em larga escala até hoje. Seu uso foi crescente durante muitos anos com expectativa de um consumo que pode chegar a aproximadamente 202 milhões de toneladas em 2050 (FAO, 2017).

Esse excesso de fertilizantes com o tempo acaba gerando problemas no ecossistema de várias maneiras e pode-se dizer que a principal delas é a lixiviação. Quando um agroquímico é aplicado ao solo cerca de 60 % dele não é incorporado aos vegetais, ficando assim livre no solo e pronto para ser carregado pelas intempéries, contaminando assim cursos de água e vegetação nativa (CAMARGO, 2012).

Outro problema do uso de fertilizantes químicos é a poluição presente em seu ciclo de produção, seu processo de fabricação também é muito poluente, o processo fabril que transforma N_2 e em amônia utiliza o hidrogênio que é derivado de um gás de petróleo, catalizadores contendo metais, uma grande quantidade de energia utilizada para manter a elevada temperatura necessária (300 a 600 °C). Desta forma, estima-se que para produzir uma tonelada de NH_3 sintético sejam gastos seis barris de petróleo (HUNGRIA *et al.*, 2001).

No Brasil, a ureia é o fertilizante mais utilizado por ser o mais acessível e barato. Entretanto, por ser muito instável, quando é aplicada ao solo, a ureia sofre hidrólise e é volatilizada para atmosfera em forma de gás amônia e gás carbônico (CABEZAS *et al.*, 1997). As perdas de nitrogênio do solo por fontes gasosas e volatilização da ureia contribuem com 9,4 % da transmissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (FREITAS, 2015). Por isso é preciso encontrar alternativas que substituam os adubos químicos principalmente em cultura de leguminosas.

Visando minimizar os impactos negativos que o uso de fertilizantes causa ao ambiente e ao rendimento financeiro da propriedade rural, já que a eficiência de utilização do aditivo pela planta raramente ultrapassa 50 % (HUNGRIA *et al.*, 2001), faz-se necessário utilizar de outras maneiras para disponibilizar esse nutriente tão importante para a planta e a técnica que vem se destacando no cenário como mais

promissora e efetiva para substituir o uso destes aditivos químicos nas lavouras é a fixação biológica de nitrogênio.

4.4 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

O processo de fixação de nitrogênio com o auxílio de organismos vivos é a principal forma que esse elemento é inserido em ecossistemas naturais (CLEVELAND *et al.*, 1999). Para isso, bactérias conhecidas como microrganismos fixadores de nitrogênio ou diazotróficos, presentes no solo, se associam com as raízes das plantas formando assim os nódulos, e nestes nódulos elas captam o nitrogênio presente no ar (N_2) e quebram a tripla ligação que une estes dois átomos transformando-os assim em formas nitrogenadas assimiláveis pelas plantas (CAMPO *et al.*, 2007).

Essa associação acontece de forma natural, mas coube aos cientistas alemães Hermann Hellriegel e Hermann Wilfarth relatar pela primeira vez a ocorrência desse processo ao estudar a ocorrência de caroços nas raízes de ervilhas em 1886 (PEIXOTO, 2014). Porém, somente após um ano a primeira bactéria fixadora foi isolada pelo botânico holandês Martinus Willem Beijerinck (PEIXOTO, 2014).

Mesmo sendo um processo relatado há muito tempo, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) ganhou notoriedade no fim da década de 90, sendo que em 2009 esse processo foi escolhido como um dos cinco pilares do programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento com a finalidade de incentivar o uso de técnicas sustentáveis na agricultura focando na redução da emissão dos gases do efeito estufa (BRASIL, 2012).

4.4.1 Fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro

O feijão é a leguminosa mais tradicional na mesa do brasileiro o que resulta em uma grande demanda dessa semente e a FBN pode vir a ser uma grande aliada nas lavouras. Dentre os microrganismos diazotróficos, o primeiro catalogado para nodulação de feijoeiro foi uma espécie de *Rhizobium leguminosarum* (JORDAN, 1984). Mas com o avanço das pesquisas outros microrganismos dos gêneros *Sinorhizobium* e *Mesorhizobium* foram isolados juntamente com outras estirpes sem classificação taxonômica conhecida, as quais podem simbolizar novas espécies aptas a nodulação do feijoeiro (GRANGE; HUNGRIA, 2004).

Grande parte dos microrganismos noduladores do feijoeiro são nativos do Brasil o que causa alguns problemas, a concentração de células nativas no solo acaba por prevenir a formação de nódulos pelas estirpes selecionadas (VARGAS *et. al.*, 2000), fazendo com que os resultados da taxa de nodulação sejam muito dependentes do histórico do solo. Quando a área já tem um histórico de plantio de feijão a taxa de nodulação é baixa, pois esse solo já tem uma concentração elevada de microrganismos simbióticos competitivos. Todavia, em regiões em que nunca foram cultivadas com feijão existe uma taxa de nodulação maior pela ausência de competição, ou competição muito baixa (EMBRAPA, 2011).

Mesmo sabendo da existência da relação simbiótica entre o feijoeiro e esses microrganismos, a adoção dessa tecnologia ainda é baixa (EMBRAPA, 2011). Existem vários testes comparando cultivos com o uso de fertilizantes químicos e a inoculação biológica e, em muitos deles não é observado um aumento significativo da produtividade. Em alguns casos, a produtividade até diminui; porém, o custo do fertilizante químico custa em média 15 vezes mais do que o valor do inoculante (EMBRAPA, 2011), o que impacta financeiramente na produção, principalmente para pequenos produtores.

Pode-se dizer que observando somente a produtividade do feijão comparando o uso de fertilizantes químicos e inoculantes biológicos, não existe uma melhora evidente. Todavia, quando se leva em consideração os custos envolvidos no processo o uso de inoculantes é mais vantajoso pelo seu baixo valor, tornando esse tipo de manejo favorável para pequenos produtores.

4.4.2 Fixação biológica de nitrogênio em soja (*Glycine max*)

A soja é a leguminosa que é mais auxiliada pela FBN devido a seu alto índice proteico, cerca de 100 gramas de soja contêm aproximadamente 38 gramas de proteínas (KAGAWA, 1995), e também ao fato do microrganismo mais comum que inocula essa cultura, o *Bradyrhizobium japonicum*, não ser nativo do território brasileiro, não sofrendo assim competição com estirpes selvagens o que torna as taxas de nodulação mais eficientes.

Quando se iniciou a implantação dos inoculantes nas lavouras brasileiras, os agricultores não confiavam na premissa que a simbiose era capaz de suprir toda a necessidade de nitrogênio da planta mantendo a produtividade (EMBRAPA, 2011).

Entretanto, os estudos realizados apontam a existência de um pequeno aumento da produtividade quando se associa adubação nitrogenada com inoculação biológica, mas esses incrementos são tão pequenos que se tornam antieconômicos e que o processo de FBN é capaz sozinho de suprir todas as necessidades da planta em todo seu ciclo (VARGAS *et al.*, 1982).

Existe também o questionamento sobre a necessidade de se realizar a reinoculação de áreas que já foram inoculadas em safras anteriores, vale salientar que devido a rotação de culturas uma safra de soja quase nunca é plantada em sequência da outra, e esse tempo de plantio de outra cultura causa uma queda de microrganismos viáveis no solo, desta forma pesquisas apontam a necessidade de se realizar a inoculação sempre ao início de uma nova safra pois esse novo incremento de organismos simbióticos pode causar um aumento médio de 8 % na safra (HUNGRIA *et al.*, 2006).

Assim percebe-se que, diferentemente do feijão, a cultura de soja apresenta ganhos consideráveis quando associada a FBN, fazendo com que esse processo seja economicamente vantajoso para grandes e pequenos produtores, e represente uma forma barata de substituir completamente os adubos químicos nitrogenados.

4.4.3 Fixação biológica de nitrogênio em não leguminosas

Uma característica interessante que difere a FBN em não leguminosas, como gramíneas e cana-de-açúcar por exemplo, é o fato de que nessas culturas não existe a formação dos nódulos nas raízes. Nesse caso, o microrganismo pode se instalar na rizosfera, que é a região do solo extremamente próxima com a raiz da planta ou também pode se instalar dentro dos tecidos vegetais sem a formação dos tumores típicos de nodulação. Quando esse microrganismo se instala dentro dos tecidos se diz que ele se trata de um microrganismo endófito ou endofítico (EMBRAPA, 2011).

A ocorrência de microrganismos endofíticos é interessante pois, como eles se instalam no interior da planta, os nutrientes são absorvidos e liberados diretamente no interior do vegetal. Desta forma, não ocorre a competição com organismos selvagens, o que torna a nodulação mais eficiente. E como o tecido vegetal é um ambiente pobre em oxigênio a enzima nitrogenase, que é sensível a esse elemento, não é inibida (REIS & TEIXEIRA, 2006).

Existem relatos que mostram também que algumas associações entre bactérias e não leguminosas podem induzir a formação de hormônios vegetais de crescimento, essa situação é observada na associação entre *Herbaspirillum seropedicae* e a cana-de-açúcar (REIS JUNIOR, 1998), causando um crescimento maior das raízes destas plantas, aumentando significativamente a absorção de nutrientes do solo.

Como visto, o processo de FBN é um grande auxiliador no aumento da produtividade e conseqüentemente dos retornos financeiros das lavouras. Desta forma, é normal que seu uso seja mais comum em culturas que tem um maior apelo econômico. Esse é o caso da soja no Brasil, que é a cultivar mais exportada e por esse motivo uma das mais importante economicamente para a nação. Visto isso, entender o processo de implantação da soja no Brasil e desenvolver produtos que aumentem a produção nacional é extremamente importante para tornar a soja brasileira mais competitiva internacionalmente.

4.5 SOJA NO BRASIL

A soja (*Glycine max*) é a *commodity* vegetal mais importante economicamente atualmente, além de ser muito utilizada pela indústria alimentícia de origem animal e vegetal. Seu uso também vem se expandindo com o avanço das pesquisas, pois já existem grupos de pesquisa que utilizam a soja como matéria-prima para plásticos e até como fonte alternativa para produção de biocombustíveis (COSTA NETO & ROSSI, 2000).

No território brasileiro, os indícios apontam que a soja foi primeiramente implantada na Bahia por volta de 1882; porém, essa cultura só se adaptou completamente quando foi levada para o sul do Brasil em 1914 por imigrantes. Na região sul, elas encontraram condições climáticas e solos praticamente virgens favoráveis ao crescimento e um fotoperíodo mais adequado para a espécie (FREITAS, Marcio; 2011).

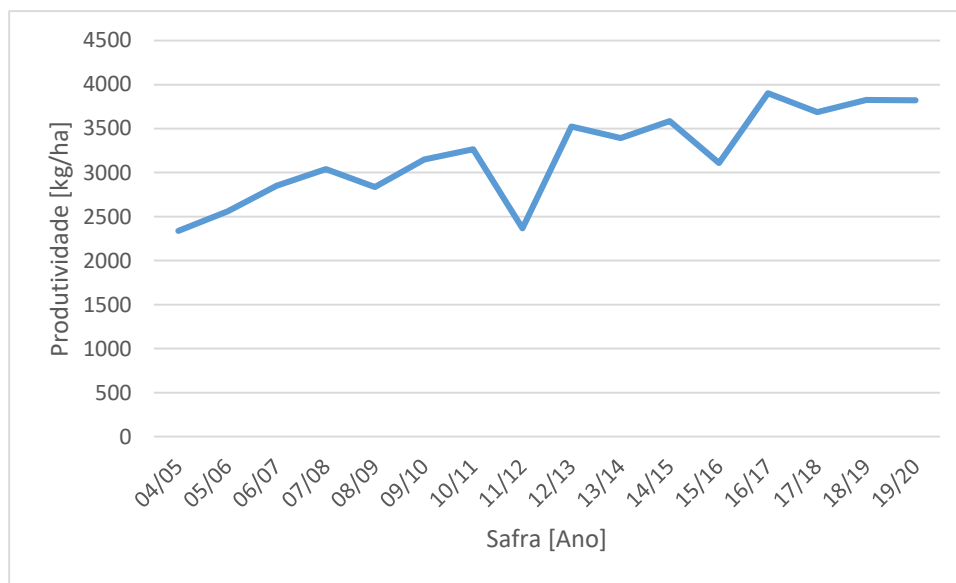
Outro fator que garantiu a adaptabilidade e expansão da leguminosa em território nacional foi o desenvolvimento de variedades com resistência para doenças como a mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) que apareceu em 1980 e causou enormes prejuízos na época (PICININI & FERNANDES, 1998).

O crescimento do cultivo de soja em território nacional foi notável, segundo dados do Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) saímos de uma área

plantada de aproximadamente 7 milhões de hectares no ano de 1977 para uma expectativa de aproximadamente 36 milhões de hectares em 2019, aumentando a nossa produção desse grão de 23 milhões de toneladas em 1977 para 114 milhões de toneladas em 2019 (CONAB, 2019).

Analisando os dados da produção de grãos no Brasil percebe-se que houve uma elevação na produtividade, ou seja, o Brasil se tornou mais eficiente, produzindo mais massa de grãos na mesma área, segundo o gráfico da CONAB apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Comportamento histórico da produtividade total de soja no Brasil



Fonte: Adaptado de CONAB (2019)

Anos de informações do CONAB indicam a variação de produtividade, inicialmente o Brasil apresentava de uma produtividade de 2339 kg de soja por hectare plantado em 2005 para em 2020 um total de 3622 kg de soja por hectare plantado, um crescimento de aproximadamente 55 % em produtividade (CONAB, 2019).

Foram muitas as tecnologias responsáveis por esse aumento e sejam elas o desenvolvimento de novos equipamentos de manejo, como tratores e implementos mais modernos com sistemas eletrônicos que computadorizaram as safras, até o uso de processos biológicos simbióticos com as bactérias diazotróficas, principalmente a *Bradyrhizobium japonicum*, que é hoje o microrganismo mais indicado para inoculação dessa cultura.

4.6 *Bradyrhizobium* spp.

São as bactérias responsáveis pelo trabalho, pois têm a capacidade de realizar a conversão de nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas, sendo que *Bradyrhizobium* spp., especialmente *Bradyrhizobium japonicum*, possuem maior compatibilidade com as culturas de soja (ZHANG *et al.*, 2011).

Os relatos sobre a primeira observação da ação desse tipo de microrganismo são do fim do século XVI, quando o botânico francês Jacques Daléchamps observou a formação de tumores em raízes de certos vegetais, mas somente ao fim do século XIX que surge a teoria de que a possível causa de formação destes tumores é a infecção da planta por algum microrganismo, sendo estes classificados no gênero *Rhizobium*.

Hoje em dia o conhecimento sobre as bactérias diazotróficas é muito amplo, já foram catalogadas e homologadas cerca de 90 estirpes desse microrganismo, cada qual que melhor se adapta a uma cultura específica no Brasil pelo ministério da agricultura (BRASIL, 2011) e dentre tantas destacam-se as de *Bradyrhizobium* spp. pelas inúmeras recomendações em diversas culturas.

Bradyrhizobium spp. são bactérias do solo com formato de bacilos, Gram-negativos, naturalmente encontrados em maior concentração no solo de países do leste asiático como a China. Hoje, porém, elas são cultivadas no mundo todo e vendidas como um produto para uso agrícola, os quais são denominados inoculantes. Sua demanda vem crescendo de acordo com os resultados que esse insumo vem mostrando em campo no aumento da produtividade (CONAB, 2019).

4.7 INOCULANTES

Os inoculantes são insumos agrícolas biológicos comerciais de natureza líquida ou sólida dependendo do estado físico do meio em que essas células estão dispostas, estes contêm uma alta concentração de bactérias benéficas puras ou misturas de diferentes microrganismos variando de acordo com a cultura alvo para o qual o inoculante foi proposto.

O inoculante sólido também é denominado turfoso, pelo fato do meio no qual a bactéria foi adicionada ser constituído de turfa. A turfa é um material orgânico vegetal semidecomposto, o que torna esse material rico em substâncias húmicas que são

aqueles materiais com estruturas químicas não definidas e muito complexas; e também apresenta certo nível de substâncias não húmicas, que são aquelas moléculas mais simples e conhecidas como proteínas, por exemplo. O inoculante turfoso apresenta vantagens em relação a sua maior taxa fixação de microrganismos nas sementes, menor risco de contaminação e acondicionamento mais simples. Porém, o processo de aplicação só pode ser feito diretamente na semente o que o torna muito laborioso fazendo com que esse tipo de inoculante acabe sendo inviável operacionalmente em algumas situações (HUNGRIA et. al, 2001).

Já os inoculantes líquidos são os mais utilizados atualmente, pois possuem a vantagem da facilidade de aplicação, pois a maioria dos maquinários agrícolas está adaptada ao uso de insumos líquidos. O líquido presente geralmente é composto por alguma solução inerte que deve garantir a concentração celular mínima exigida por lei de 1×10^9 unidades formadoras de colônias (UFC) por mililitro até seis meses após a sua fabricação (BRASIL, 2011). A vantagem desse tipo de produto é o seu fácil manejo e aplicação. Contudo, a sua concentração celular acaba sendo menor quando comparada ao inoculante turfoso.

Sendo assim, para atender a demanda por microrganismos diazotróficos da agricultura brasileira a produção de inoculantes deve aumentar, com a implementação de mais fábricas distribuídas por todo o território nacional atendendo principalmente regiões agrícolas mais isoladas que carecem de logística para o transporte do inoculante produzido em fábricas localizadas em grandes capitais.

5 METODOLOGIA

Por se tratar de um projeto de indústria, todo o desenvolvimento do projeto é feito de forma sequencial e cada etapa é dependente da etapa anterior para sua conclusão. Desta forma optou-se por descrever a metodologia utilizada para desenvolvimento do projeto da mesma forma, de modo sequencial de modo que todos os métodos estão presentes no início de cada tópico, evitando assim a repetição de termos e conceitos e dando mais fluidez ao presente trabalho. Muitos dos cálculos e informações complementares do dimensionamento dos equipamentos se encontram no apêndice memorial de cálculo.

6 ESTUDO DE MERCADO

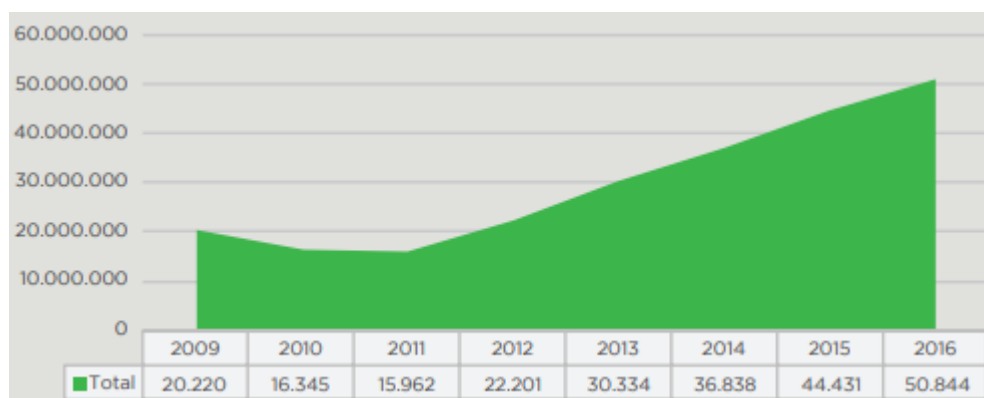
O estudo de mercado é fundamental e geralmente o primeiro passo para abertura de uma empresa ou instalação de uma unidade industrial, se faz necessário obter o maior número de informações sobre o mercado consumidor, suas demandas e possíveis concorrentes para se realizar um investimento consciente e com o menor risco possível (IRIGARAY, 2006).

6.1 HISTÓRICO DE MERCADO

Como já dito o mercado agrícola no Brasil é um setor fundamental na economia e o uso de insumos orgânicos é relativamente recente na história da agricultura, deu-se início com a descoberta da fixação biológica de nitrogênio em 1886 (PEIXOTO, 2014) culminando nos primeiros produtos comerciais registrados no mercado brasileiro no século XX.

O mercado desde então se mantém bem aquecido e com constantes crescimentos, como mostra a Figura 2, sua crescente demanda mostra que o investimento em novas unidades de produção de insumos biológicos é necessário para atender a demanda nacional.

Figura 2 - Histórico de consumo de inoculantes no Brasil



Fonte: ANPII (2017).

A Figura 2 mostra que o produtor brasileiro aderiu a tecnologia do uso de bactérias fixadoras de nitrogênio em plantas. Atualmente, o uso destes produtos em regiões de clima quente, como é o caso da região Centro-Oeste brasileira, já está

estabelecido e os funcionários das fazendas já estão habituados a rotina do preparo das caldas de aplicação contendo as doses de insumos biológicos.

6.2 MERCADO CONCORRENTE

A produção de insumos biológicos agrícolas hoje não é muito distribuída no território nacional, existem poucas empresas e estas estão concentradas na região Sul e Sudeste do país, conseqüentemente longe dos grandes centros de produção agrícola.

Existem apenas 9 empresas associadas junto a Associação Nacional dos Produtores e Importadoras de Inoculantes (ANPII, 2017). Após levantamentos, foram identificadas as principais empresas produtoras de inoculantes no Brasil e possíveis concorrentes diretas, são elas: Rizobacter[®]; Bioma[®]; Simbiose[®]; Novozymes[®]; Stoller[®]; Nitro1000[®]; Bioagro[®]; Vittia[®] e MicroQuímica[®]. Estas empresas são responsáveis por grande parte do produto disponível no mercado.

Com o objetivo de se analisar o impacto destas empresas como concorrentes foi levantada suas localizações e todas as empresas citadas estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste. Desta forma notou-se a inexistência de unidades de produção destas empresas na região Centro-Oeste.

A instalação de uma unidade nesta região daria uma maior vantagem competitiva pois os custos logísticos para distribuição do produto são reduzidos, a proximidade entre a indústria e o produtor é um fator que gera confiança na marca e no produto regional e também possibilita uma parceria para desenvolvimento de pesquisas no desenvolvimento de novos produtos.

Deve-se ressaltar o fato de que o transporte deste tipo de produto deve ser feito em condições específicas, evitando a elevação da temperatura por longos períodos. Como a principal forma de transporte de cargas no Brasil é o rodoviário, muitas vezes estas condições não são respeitadas e, durante o transporte a temperatura se eleva, podendo ocasionar perda de viabilidade da bactéria fixadora de nitrogênio no produto.

Levando em consideração todos estes fatores, é possível observar que a instalação de uma unidade regional de produção de insumos biológicos agrícolas apresenta inúmeras vantagens competitivas no cenário atual, visto que atende demandas regionais e desta forma está muito próxima do produtor podendo assim

validar o controle de qualidade do produto e obtendo constantes *Feedback's* sobre os resultados encontrados no campo. A perda de viabilidade durante o processo de transporte é reduzida, uma vez que não existe a necessidade de o produto cruzar grandes distâncias no território nacional, o que diminui os custos logísticos e operacionais, e também possibilita o desenvolvimento da economia local onde a indústria for instalada, oferecendo empregos diretos e indiretos e movimentando a economia regional.

6.3 MERCADO SUBSTITUTO

Segundo Reis (2018), os produtos substitutos são produtos diferentes que competem pela mesma fatia de mercado consumidor, sendo que no ato da compra o consumidor irá sempre optar pelo produto A ou pelo produto B, mas nunca os dois ao mesmo tempo.

Observando o conceito, foi identificado um produto no mercado que se enquadra na descrição para produto substituto, a ureia obtida por via química que é comercializada para disponibilização de nitrogênio no solo. Os produtos apresentam inúmeras diferenças entre si, sendo que o uso do inoculante biológico apresenta grandes vantagens em relação a ureia.

Primeiramente, o preço dos inoculantes em relação ao fertilizante químico é inferior, gerando economia e maior lucratividade para os produtores rurais. Em segundo lugar, o fertilizante químico apresenta alta taxa de lixiviação, chegando a taxa de perdas de aproximadamente 50 % do total aplicado (HUNGRIA, 2001). Destaca-se que tal fato não é observado de forma tão expressiva no inoculante biológico, uma vez que o material é aplicado diretamente no sulco de plantio ou no tratamento prévio de semente, dificultando as perdas por lixiviação. Também se observa que a poluição gerada na produção e decorrente da contaminação pela lixiviação é muito maior no fertilizante químico.

Desta forma, o inoculante biológico é mais vantajoso economicamente, ambientalmente e operacionalmente (uma vez que sua aplicação é feita ao mesmo tempo do plantio) e por este motivo vem se tornando a preferência dos produtores rurais. Segundo relatórios de vendas do comércio de insumos agrícolas da região de Sorriso no estado do Mato Grosso, o consumo de ureia para cultivo de soja não é expressivo e foi substituído em grande parte das fazendas pela FBN.

7 ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO

Ao se instalar uma planta industrial deve-se realizar um levantamento sobre qual a localização mais estratégica para construção. A localização afeta diretamente a capacidade competitiva de qualquer unidade industrial, pois tem influência nos custos de logística, mão de obra, energia elétrica e entre outros pontos relevantes economicamente para a empresa (CORRÊA, 2019).

A escolha do local de implantação deve ser realizada de forma meticulosa, pois os custos inerentes à troca do local depois da unidade implantada são elevados e requerem anos de planejamento, após determinado o local e início da operação, a unidade ficará nesse local provavelmente durante toda a sua vida útil (CORRÊA, 2019).

Durante o processo, deve-se realizar o estudo de localização com uma equipe multidisciplinar e com uma abordagem ordenada, levando em consideração todos os fatores que envolvidos na alocação de uma indústria.

7.1 FATORES DETERMINANTES NA LOCALIZAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA

Visto o intuito da indústria a ser operada, alguns fatores foram considerados, sendo eles: disponibilidade de matéria-prima; disponibilidade de mão de obra; proximidade com o consumidor e disponibilidade de transporte.

- Disponibilidade de matéria-prima: escolher implementar uma indústria próxima a matéria-prima pode se dar por vários fatores, como por exemplo: dificuldade de transporte do material; precificação da matéria; ou mesmo o custo logístico de transporte (CORRÊA, 2019). O processo de produção utilizará o melaço de cana como substrato. Grande parte das indústrias que produzem melaço como subproduto do processo de produção do açúcar, o utilizam para produção de etanol. Dificilmente se encontram indústrias que produzem melaço unicamente para venda. Dessa forma, deseja-se um local que haja indústrias sucroalcooleiras ao redor de modo a aproveitar o melaço que não seja utilizada por tais indústrias;

- Disponibilidade de mão de obra: em uma indústria, seja ela qual for, é comum que haja demanda por mão de obra tanto especializada quanto não especializada. Cabe à empresa analisar as diferentes quantidades e habilidades da mão de obra da região para o seu funcionamento (CORRÊA, 2019). Como qualquer indústria, é necessário que haja mão de obra para que ela funcione. Importante que haja mão de obra especializada visto a natureza da indústria a ser criada assim como a não especializada para manter a produção funcionando. A busca é por mão de obra mais barata possível e em maior quantidade, para que não haja escassez desta;
- Proximidade com o consumidor: para uma grande quantidade de empresas, estar próximo do consumidor é muitas vezes o fator de maior importância. Nesses casos, o custo de transporte pode ser muito elevado, difícil ou o produto pode ser perecível (CORRÊA, 2019). Visto que inicialmente a indústria tem como objetivo atender o comércio de uma região específica, é importante que haja uma quantidade considerável de consumidores e que estes estejam próximos da unidade fabril. Além disso, os consumidores dos quais a empresa busca se encontram em locais específicos, uma vez que o produto tem um uso específico para a agricultura;
- Disponibilidade de transporte: o transporte se torna indispensável uma vez que esse é necessário para mover o substrato de uma indústria até a outra assim como levar o produto acabado para os consumidores na região.

7.2 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO

Após uma avaliação inicial dos estados brasileiros com potencial para implantação da unidade observou-se que o estado do Mato Grosso tem grande potencial para receber uma empresa desse setor. Segundo a Conab, a produção agrícola do estado ultrapassou as 34 mil toneladas de soja em 2020 (CONAB, 2020). Sendo assim, foram distribuídos no mapa (Figura 3) os possíveis fornecedores de matéria prima (circunferências em vermelho) e, levando em consideração a estrutura rodoviária do estado, principalmente a rodovia BR-163, foram escolhidos dois possíveis pontos para implementação da unidade, sendo eles um na cidade de Sorriso (1) e o outro na capital do estado, Cuiabá (2).

Figura 3 - Mapa do estado do Mato Grosso contendo as principais usinas produtoras de açúcar e as possíveis regiões de implementação da indústria



Modificado de: Google mapas (2020)

A primeira localização (Local 1) foi escolhida devido a sua relevância no cenário nacional e internacional da produção de grãos. Segundo dados do IBGE divulgados no PAM (Produção Agrícola Municipal) em 2020, a cidade de Sorriso plantou um total

de 605 mil hectares (IBGE, 2020). A cidade de Sorriso pertence a região denominada Alto do Teles Pires que abrange a região central do estado e contempla uma área cultivável de aproximadamente 900 mil hectares em 2019 (IBGE, 2020) que depende totalmente de inoculantes oriundo de outros estados do Brasil para seu abastecimento. Muito próxima a BR-163 a região tem uma via de acesso rodoviário muito bem estabelecida e a partir dela conseguiria obter as matérias-primas necessárias para a produção, entretanto sua localização é distante da maioria das usinas de produção de açúcar, o que causaria um custo maior com transporte de materiais quando comparada a localização 2.

A segunda localização (Local 2) foi escolhida por estar uma região mais próxima aos fornecedores, a região de Cuiabá é favorecida pois está muito próxima a um cruzamento rodoviário muito importante, conectando as rodovias federais BR-364, BR-163 e BR-070, ligando as regiões leste e oeste do estado. Está ainda muito próxima à região da cidade de Rondonópolis, cidade essa que conta com a estrutura ferroviária ligada diretamente aos principais portos do Brasil.

A fim de verificar qual a melhor localização para implementar a indústria, um dos métodos mais comumente utilizados é chamado de ponderação qualitativa ou ponderação de fatores, método esse que faz, como o nome diz, uma ponderação de vários fatores locais. Tal método consiste em atribuir pesos aos fatores determinantes na escolha da localização e, em seguida, atribuir notas para os fatores com base nas localizações. Por fim, multiplica-se cada peso pela nota dos fatores e faz-se o somatório final. Aquele que obtiver maior nota se torna a escolha (CORRÊA, 2019).

Os pesos foram atribuídos utilizando como base nos estudos dos fatores que se mostram mais importantes para implantação de uma indústria. Estudos sugerem que existem fatores que são decisivos na alocação de uma indústria podendo destacar a proximidade com os clientes e fornecedores (SANTOS, 2014). Desta forma o presente estudo instituiu pesos maiores para estas variáveis.

As notas foram atribuídas seguindo um método de julgamento de valor relativo, forma de atribuição onde a nota de cada elemento é estabelecida em relação uns com os outros (NORONHA, 1998), ou seja, compara-se os elementos entre si ordenando-os do melhor para o pior de acordo com o julgamento do avaliador.

Para um julgamento mais metódico foi utilizada a metodologia de taxação, onde o avaliador avalia dentro de determinada escala, no presente trabalho utilizou-se de 1

até 5, atribuindo a nota mínima ao ponto visivelmente menos relevante para aquele fator e em seguida utilizando este como referência atribui-se as notas dos demais pontos (DAVIES, 1999).

Essa metodologia pode conter certos vícios, segundo KAO & LIN (1996) atribuir notas a esses fatores pode ser complexo à medida que mais fatores são avaliados, assim essa atribuição pode ser muitas vezes controversa e subjetiva. Contudo se bem realizada pode trazer resultados interessantes e ser capaz de atender a proposta inicial.

Tabela 1 - Ponderação qualitativa das localizações

Localização 1			
Fator	Peso	Nota	Peso x Nota
Disponibilidade de matéria-prima	0,2	3	0,6
Disponibilidade de mão de obra	0,1	2	0,2
Proximidade com o consumidor	0,5	5	2,5
Disponibilidade de transporte	0,2	4	0,8
Total	1	-	4,1

Localização 2			
Disponibilidade de matéria-prima	0,2	4	0,8
Disponibilidade de mão de obra	0,1	3	0,3
Proximidade com o consumidor	0,5	2	1
Disponibilidade de transporte	0,2	5	1
Total	1	-	3,1

Fonte: Autor (2021)

As notas foram atribuídas considerando valores de 0,00 até 5,00, cada um tem seu próprio significado: 0,00, fator não é atendido de modo algum; 1,00, fator é atendido fracamente; 2,00, fator é atendido de forma mediana; 3,00, fator é atendido; 4,00, fator é muito bem atendido; e 5,00, a localização favorece totalmente o fator.

Após a análise ponderativa chegou-se à conclusão de que a melhor localidade para a indústria produtora de inoculantes agrícolas a base de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* spp. é a localização 1. A cidade de Sorriso no estado do Mato Grosso conta com um parque industrial no perímetro urbano, sendo este o local escolhido para construção da unidade.

8 ESTUDO DOS VOLUMES DE PRODUÇÃO E DAS CAPACIDADES

Neste tópico serão apresentadas as análises do volume de produção de inoculantes para uso agrícola e a capacidade produtiva da fábrica, tendo como base as informações do estudo de mercado.

8.1 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE PRODUÇÃO

Uma vez que o produto é destinado para produtores rurais, todos os cálculos para determinação de volume de produção serão feitos tendo como base a área agricultável na região de abrangência da indústria.

Através da empresa, busca-se atuar a partir do modelo de negócio *Business-to-Consumer* (B2C), desta forma o atendimento será voltado para o consumidor final, como por exemplo, os produtores rurais. Por este motivo, a proximidade com os produtores é fundamental para a estratégia de negócio da empresa. Sendo assim, a localização na região da cidade de Sorriso é muito interessante, pois como já dito anteriormente, a região tem uma área de cultivo de 605 mil hectares (IBGE,2020).

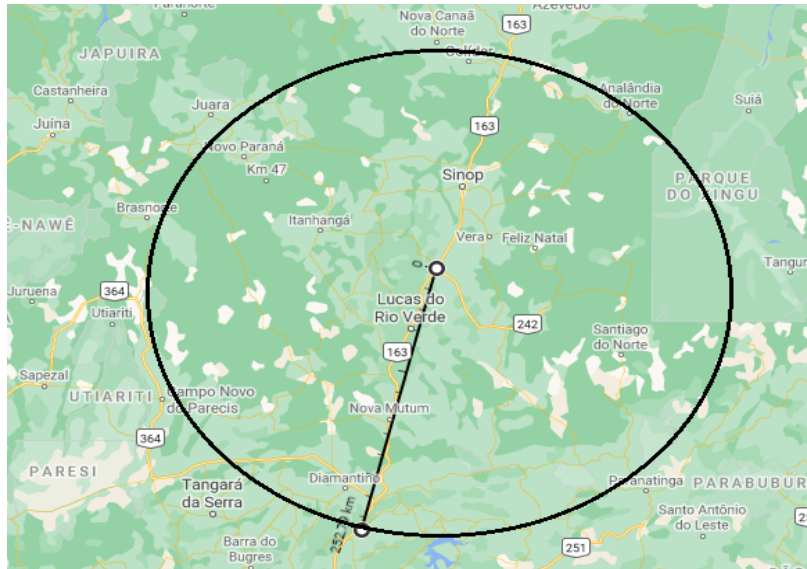
É importante salientar que a área de abrangência da indústria não se restringe somente à cidade de Sorriso, pois adotou-se um plano de negócio mais agressivo e delimitou-se um raio de atuação de 250 km (*Figura 4*), tendo a cidade sede como origem do segmento de reta.

Segundo dados do IBGE, as cidades englobadas na área de abrangência da indústria somam um total de aproximadamente 1 milhão de hectares (IBGE,2020), e a partir destes dados é possível estimar o consumo de inoculantes desta região. Comumente se utiliza uma dosagem de aproximadamente 600 mL por hectare por aplicação. Assumindo um total de 3 aplicações por ano, é possível chegar ao valor de 1,2 milhões de litros de inoculantes por ano, para o dimensionamento da unidade foi considerado o universo total de consumo.

Mesmo com a existência de 9 empresas a nível nacional como possíveis concorrentes, percebe-se que na região escolhida o mercado é dominado por duas empresas. A partir disso, para definir o *market share*, ou seja, a fatia de mercado que a empresa irá absorver considerou-se uma divisão do mercado de forma igualitária entre as empresas atuantes na região. Desta forma, compete à indústria entregar

aproximadamente 33 % da demanda da região, o que equivale a um valor de 396 mil litros por ano.

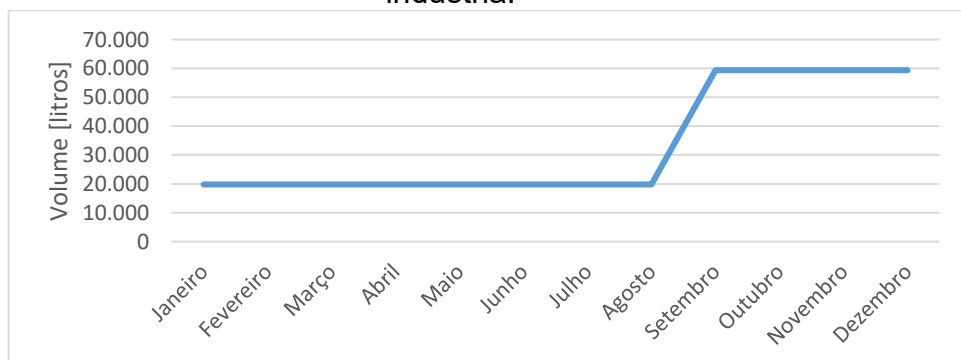
Figura 4 - Raio de atuação da indústria



Fonte: Google Maps (2021)

Uma vez que os inoculantes são utilizados nas fases iniciais do plantio, espera-se que a demanda não se realize de forma igual durante os meses do ano. Após discussão com produtores rurais, estipulou-se que do total produzido, cerca de 60 % seriam consumidos entre os meses de setembro a dezembro e os 40 % restantes distribuídos nos outros meses do ano. Com isso foi possível elaborar um gráfico do consumo em litros distribuído nos meses do ano (Figura 5) e observou-se que não é vantajoso manter uma mesma taxa de produção. Sendo assim, determinou-se que o estoque da empresa seja o mínimo possível ao final do ano.

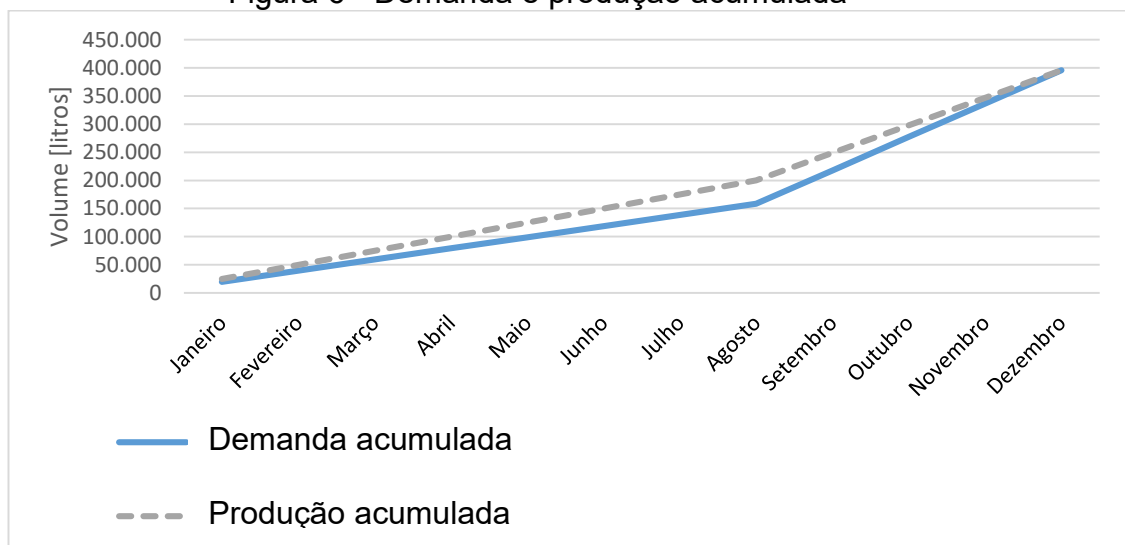
Figura 5 - Demanda mensal de consumo de inoculantes na região abrangida pela indústria.



Fonte: Autor (2021)

A partir dos dados referentes ao consumo foi possível realizar um estudo pelo método de tentativa e erro utilizando as demandas acumuladas para que a empresa não produzisse a ponto de ter um estoque muito grande e possibilitar a rotatividade do produto no estoque. A Figura 6 apresenta um gráfico com a demanda acumulada (azul e preenchida) e a produção acumulada (cinza e tracejada) utilizando as taxas de produção mensal de 49.000 litros mensais nos meses de setembro a dezembro (produção alta) e 25.000 litros nos meses de janeiro a agosto (produção baixa).

Figura 6 - Demanda e produção acumulada



Fonte: Autor (2021)

Percebe-se que utilizando estas taxas de produção não ocorre a falta de produto no mercado, pois a produção acumulada é sempre superior ou igual a demanda do mês. E também que o maior estoque no ano está presente no mês de agosto, um mês antes de encerrar a lei do vazio sanitário e os produtores iniciarem a nova safra. Dessa forma a empresa deve ser capaz absorver todos os pedidos de início da nova safra.

8.2 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DA INDÚSTRIA

Determinar a capacidade produtiva da indústria é uma etapa importante e difícil, pois muitos dos dados sobre a cinética de crescimento e comportamento do microrganismo são considerados segredos industriais. Sendo assim, foi necessário realizar um levantamento bibliográfico das informações relativas as características de crescimento do microrganismo para que fosse possível dimensionar os equipamentos industriais e planejar a produção.

O metabolismo celular é muito complexo, um mesmo organismo tem várias vias metabólicas possíveis para sua respiração e muitas vezes os fatores ambientais podem determinar qual via seguir, e desta forma afetar diretamente a eficiência do processo de produção. Quando existe o interesse que o microrganismo se reproduza de forma rápida e eficiente adota-se a via respiratória aeróbica onde o temos o oxigênio como acceptor final de elétrons e temos como um dos resultados a liberação de dióxido de carbono ao final do processo (REIS, 2009).

Após levantamentos bibliográficos sobre o comportamento estequiométrico da bactéria estudada em meio de cultivo tendo como principal fonte de carbono o melaço de cana-de-açúcar pôde-se encontrar dados relativos ao fator de conversão do substrato em células $Y_{x/s} = 0,501$ g/g para biomassa pelo substrato em testes realizados pela UFRJ (SCHEIDT, 2015), outro estudos também disponibilizaram dados relativos ao fator de conversão de $Y_{x/s} = 0,493$ g/g (VIEIRA *et al.*, 2020) e que tem como tempo de geração de aproximadamente 10 horas (PRADELLA; OLIVEIRA; URENHA, 2001).

Baseando-se nos estudos supracitados sobre o fator de conversão foi realizada uma média entre os dois fatores encontrados nos estudos, o qual foi utilizado no desenvolvimento do trabalho, sendo o valor de fator de conversão médio $Y_{x/s}$ igual a 0,497 g/g.

Escolheu-se como concentração final do inoculante, baseando-se nos produtos comerciais disponíveis no mercado, um valor de 8,25 g/L de células. A partir dos valores citados no tópico de determinação de demanda para nossa unidade sabemos que a demanda anual de inoculante enfrentada pela unidade é de 396 mil litros por ano. A partir da análise da concentração e a demanda é possível deduzir a biomassa celular demandada anualmente, como na Equação 1.

$$C \left[\frac{\text{g}}{\text{L}} \right] \times V[\text{L}] = M [\text{g}] \quad (1)$$

$$C = 3.267 \text{ kg} \quad (1.1)$$

Na qual:

C = Concentração [g/L]

V = Volume [L]

M = Massa [g]

A partir da demanda em massa anual, foi possível determinar a quantidade de substrato (para fins de cálculo considera-se como substrato somente melaço diluído em água ou solução açucarada) anual a partir da taxa de conversão, mostrada na Equação 2.

$$Y_{X/S} = \frac{\text{biomassa (m)}}{\text{substrato(m)}} \quad (2)$$

$$Y_{X/S} = \frac{0,497 \text{ g biomassa}}{1 \text{ g substrato}} \quad (2.1)$$

$$\frac{3.267 \times 10^3 \text{ g biomassa}}{0,497 \frac{\text{g biomassa}}{\text{g substrato}}} \quad (2.2)$$

$$6.573,5 \text{ kg de substrato} \quad (2.3)$$

Desta forma o substrato consumido no decorrer de um ano seria de 6.573,5 kg de melaço para atingir a nossa capacidade real, caso a eficiência da fermentação fosse de 100% esse volume de substrato seria suficiente para uma produção de 4.083,75 kg de biomassa ou 495 mil litros de inoculante.

Esses valores representam a capacidade teórica da unidade em pleno funcionamento e foram feitos para se obter uma estimativa inicial e comparativa com o balanço via estequiometria posterior. Todos os cálculos de dimensionamento serão realizados utilizando a meta de produção máxima da unidade e os dados utilizados nesta etapa estão sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2- Dados cinéticos e estequiométricos utilizados para dimensionamento da unidade de produção de inoculantes

	Fator de conversão [g/g]	Concentração comercial do produto [g/L]	Demanda anual de inoculante [L]	Velocidade específica máxima de crescimento [h⁻¹]
Dados do processo	0,497	8,25	396.000	0,230

Fonte: Autor (2021)

Devido a fermentação ser um processo que necessita de controle contínuo, é indispensável a presença de ao menos um operador a todo instante observando o processo, por este motivo a unidade será operada em regime de três turnos.

9 PLANEJAMENTO DAS INSTALAÇÕES

Nesta etapa as instalações básicas serão descritas tendo em vista as atividades a serem desenvolvidas na unidade. Para isso, após a identificação das atividades será realizado um estudo inicial de inter-relação dos setores para reserva de área física dentro da planta em cada setor. A partir do dimensionamento dos espaços, será desenvolvida a planta baixa da unidade.

9.1 ATIVIDADES PRINCIPAIS E DE APOIO

Pode-se dizer que a linha principal da fábrica é constituída por quatro etapas, são elas:

- Preparação do meio de cultura; } *Upstream*
- Multiplicação da bactéria; } Multiplicação da biomassa
- Padronização do produto; } *Downstream*
- Envase e armazenagem; }

Contudo, para que as atividades principais sejam desenvolvidas é necessária a construção de estruturas anexas importantes, que atuam como apoio a atividade principal fornecendo a elas suporte material, energético e técnico para o bom funcionamento da fábrica como um todo. As atividades de apoio necessárias são:

- Caldeira: Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares. Atuarão fornecendo a energia térmica necessária para operações específicas tais como, esterilização, controle de temperatura e preparo do meio de cultivo;
- Laboratório: O laboratório é fundamental para unidade pois presta o serviço de controle de qualidade do material produzido, colhendo amostras em várias etapas do processo e aferindo se o produto está se mantendo nos parâmetros de qualidade exigidos;
- Guarita: Local para controle de entrada e saída de pessoas nas dependências da unidade, local de permanência do guarda que é

responsável pela segurança interna da fábrica. Neste local também são recebidas e entregues as notas fiscais aos motoristas;

- Escritório: É necessário a emissão de documentação fiscal, controle logístico e processamento de toda a carga burocrática inerente ao processo, desta forma a presença do escritório é fundamental;
- Vestiário: Para a adequação nas normas de segurança vigentes no país todos os colaboradores devem estar equipados com os equipamentos de proteção individual (EPI) segundo a norma regulamentadora, desta forma é necessário a instalação de um vestiário para que os colaboradores possam guardar seus pertences pessoais e se equipar com os EPI's;
- Oficina/depósito: Uma fábrica operando continuamente está sujeita a desgastes e avarias, visando não prejudicar o andamento das atividades que se dão de forma contínua é necessária a implementação de uma oficina que é capaz de realizar reparos, como troca de válvulas e borrachas de vedação e troca de motores e bombas.
- Refeitório: É exigido por lei no Brasil que a unidade tenha um ambiente exclusivo e sem ruídos elevados onde os colaboradores possam se alimentar e descansar.
- Estoque: Local para armazenagem final, acomodados de forma a se facilitar a expedição.

9.2 ESTUDO DA INTER-RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES

O planejamento das atividades é importante pois dinamiza o fluxo de processos desenvolvidos e evita estresses desnecessários em equipamento e funcionários, assim torna a fábrica mais eficiente e planejada.

Existem equipamentos que geram ruídos elevados e algumas áreas podem ser classificadas como perigosas, então é preciso estar atento para que setores incompatíveis fiquem próximos tornando o dia a dia da produção mais conturbado que o necessário.

Levando em consideração o processo, se faz necessário construir duas estruturas prediais, uma para todo setor administrativo, laboratório, vestiário e refeitório e uma segunda estrutura que comportará os equipamentos responsáveis pelo processo produtivo e o estoque em um ambiente separado localizado ao lado do setor produtivo.

O setor de recebimento é composto pela guarita, na guarita a nota de recebimento é repassada ao escritório, ou no caso de expedição a nota de transporte é entregue ao motorista. Após a passagem pela guarita, o caminhão é orientado a seguir no local de carga e descarga de insumos e produtos.

Como o produto a ser produzido pode ser escoado, o transporte de um setor para o outro será realizado através de dutos apropriados para esse fim. Pode-se prever que o maior fluxo de pessoas é esperado no setor de expedição, devido a presença dos caminhões, e no estoque pelo pessoal responsável pelo carregamento. Os demais setores têm posições fixas de trabalho, sendo desnecessário em condições normais o fluxo de pessoas.

Para transporte dos materiais no estoque utiliza-se um carrinho manual para transporte de *pallet* e o carregamento conta com um desnível para que ao posicionar o caminhão o chão do setor de carregamento esteja no mesmo nível da carroceria do caminhão, facilitando o transporte.

Para melhor visualização da inter-relação entre os setores da fábrica foi elaborado um diagrama (Figura 7) indicando qual o nível de proximidade entre os setores.

Figura 7 - Diagrama de afinidade da unidade

	Escritório	Guarita	Laboratório	Refeitório	Vestiário	Fermentação	Preparo	Estoque	Expedição
Escritório	-								
Guarita	C	-							
Laboratório	C	D	-						
Refeitório	D	E	E	-					
Vestiário	E	E	E	C	-				
Fermentação	E	E	C	E	E	-			
Preparo	E	D	B	E	E	A	-		
Estoque	C	C	D	D	E	B	B	-	
Expedição	C	C	E	E	E	E	B	A	-

Valor	Proximidade
A	Muito necessário
B	Necesário
C	Importante
D	Indiferente
E	Indesejável

Fonte: Autor (2021)

9.3 DETERMINAÇÃO DOS ESPAÇOS PARA AS ATIVIDADES

Devido ao fato de a fábrica não ter uma produção muito elevada e também ser composta por poucas etapas ela não demanda de uma área muito grande para instalação. Foi realizado um levantamento na cidade de Sorriso e as dimensões médias dos terrenos no setor industrial são de aproximadamente 1250 metros quadrados, sendo assim adotou-se dois terrenos deste porte unidos como padrão para instalação da fábrica.

Para cada local foi determinado um espaço físico baseado na necessidade das atividades desenvolvidas no local e também no diagrama de afinidade, Figura 7, as áreas para cada setor estão disponíveis na Tabela 2.

O dimensionamento inicial da planta não ocupa toda a área útil do terreno, foram deixados espaços de forma intencional para posterior ampliação da unidade e um pátio para deslocamento e armazenagem de veículos.

Tabela 3 - Distribuição espacial dos ambientes

Setor	Área (m²)
Laboratório	40
Guarita	20
Escritório	120
Vestiário	80
Oficina/Depósito	50
Refeitório	90
Estoque	294
Produção	300

Fonte: Autor (2021)

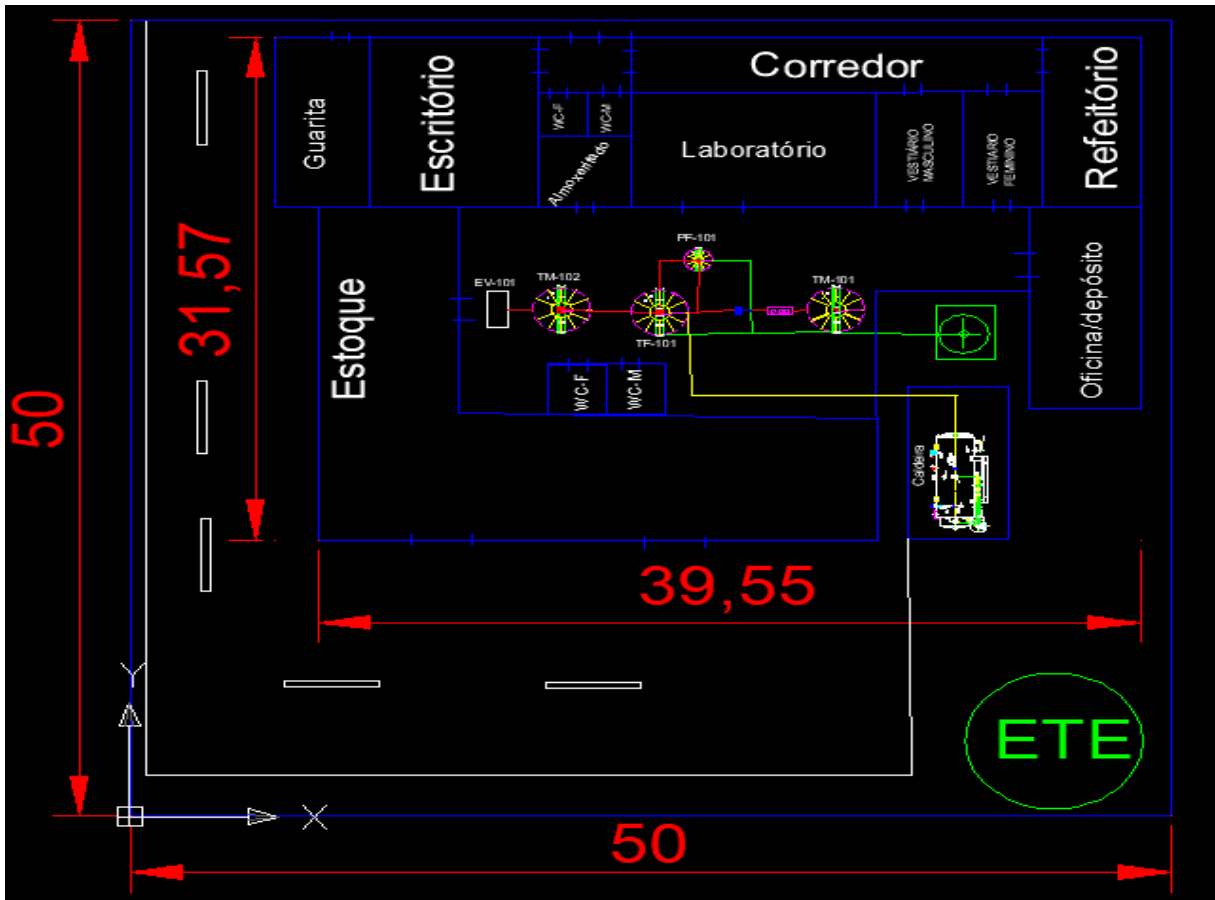
9.4 LAYOUT GERAL DAS INSTALAÇÕES

Com o objetivo de auxiliar na visualização e no processo de alocação de equipamentos da unidade foi elaborado uma planta baixa dos setores e equipamentos básicos da unidade de produção e setor administrativo e o resultado deste estudo é apresentado na Figura 8.

Pode-se observar que cada espaço foi alocado de forma que respeitasse o diagrama de afinidade de localização e também foi pensado em um amplo espaço para manobras de caminhões e pátio.

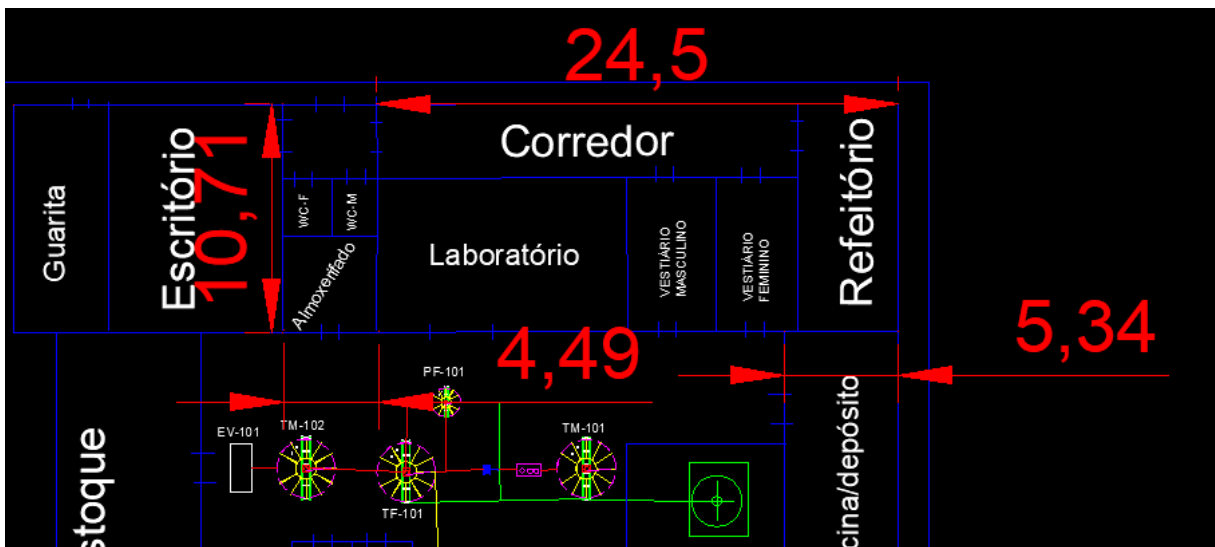
O terreno foi pensado para estar apto a receber ampliações futuras realizando apenas pequenas adaptações sem a necessidade de se realizar paralizações na linha de produção principal.

Figura 8 - Planta baixa inicial da unidade industrial



Fonte: Autor (2021)

Figura 9 - Destaque do setor administrativo da planta baixa da fábrica de inoculantes agrícolas



Fonte: Autor (2021)

10 PROCESSO DE PRODUÇÃO

Existem basicamente dois modos de operação para produção de bactérias, o modo semicontínuo e o modelo em batelada (CNPEM, 2017). No presente projeto, optou-se pelo modo em batelada, devido ao baixo volume de produção, maior simplicidade dos equipamentos e maior facilidade de controlar os parâmetros das operações.

10.1 ESPECIFICAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E INSUMOS

A principal matéria-prima desse processo é o meio de cultura envolvido no preparo do substrato para multiplicação celular. As necessidades nutricionais das bactérias serão supridas de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição dos insumos utilizados para produção de inoculantes.

	Fonte de carbono	Fonte de nitrogênio	Conservante
Insumo	Melaço	Amônia	Ácido ascórbico

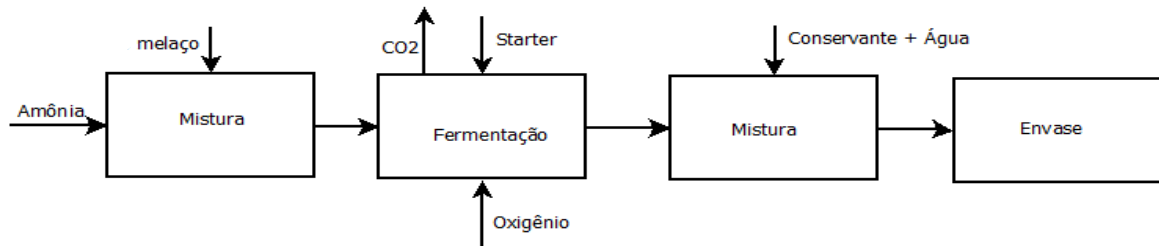
Fonte: Autor (2021)

O melaço, dentre as fontes de nutrientes, se torna o mais importante pois sua disponibilidade afeta diretamente o crescimento do micro-organismo. As suas características estão dispostas no Anexo 1 (CHEN, 1985).

10.2 DIAGRAMAS E BALANÇO DE MASSA GLOBAL DO PROCESSO

A partir da demanda inicial da indústria foi elaborado o diagrama de blocos, Figura 10, neste diagrama são apresentados de forma sequencial as principais etapas do processo.

Figura 10 - Diagrama de blocos do processo



Fonte: Autor (2021)

Primeiramente o meio de cultura é preparado no setor de mistura, onde são diluídos os componentes nutritivos para posterior fermentação. Logo após esse caldo é encaminhado para a dorna de fermentação, dentro da dorna ocorre a esterilização do conteúdo através do tratamento térmico do conteúdo da dorna. Após esse processo a temperatura do meio é reduzida para a temperatura de fermentação e o *starter* é adicionado. No mesmo momento é ativada a linha de oxigênio filtrado para aeração do meio.

Após a fermentação o caldo fermentado é encaminhado para o setor de estabilização para mistura de aditivos e correções para finalmente seguir para o envase.

O balanço de massa global do processo foi elaborado levando em consideração as necessidades iniciais da unidade e caso exista alguma ampliação futura o mesmo deve ser reconsiderado. Todo o balanço foi desenvolvido utilizando a Equação 3 que é utilizada para processos em regime permanente.

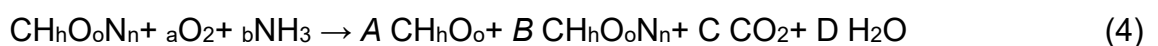
$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n S_i \quad (3)$$

Na qual:

E = Correntes mássicas de entrada;

S = Correntes mássicas de saída;

Desta forma a partir dos dados já obtidos é possível desenvolver o balanço global de massa. Uma vez que o processo consiste na produção de células de *Bradyrhizobium spp*, a equação que rege o processo e que permite determinar as quantidades mássicas dos componentes envolvidos é a equação estequiométrica de crescimento celular aeróbico (Equação 4).



Os valores a , b , C , D , A e B são os coeficientes estequiométricos do oxigênio, da amônia, dióxido de carbono, água, subprodutos e biomassa, respectivamente. Considerando que os subprodutos produzidos não contribuem de forma considerável, não foram contabilizados nos cálculos.

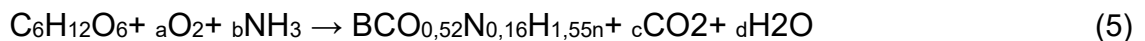
Para determinar a fórmula da biomassa é necessário primeiro encontrar a composição da bactéria, Tabela 3 (REED, 1982).

Tabela 5 - Composição de bactérias

Elemento	Composição mássica (%)	Peso molecular (g/mol)	Mol/100 g de bactéria	Mol/mol de carbono
Carbono	46	12,011	3,83	1
Nitrogênio	8,5	14,007	0,61	0,16
Oxigênio	32,0	15,999	2,00	0,52
Hidrogênio	6	1,008	5,95	1,55

Fonte: Adaptado de REED (1982)

Com essas informações é possível determinar a nova forma da equação estequiométrica (Equação 5).



Nesse momento se faz necessário realizar o balanço para cada componente para que sejam encontrados os coeficientes estequiométricos de cada elemento.

Balanço para carbono (C):

$$B + c = 6 \quad (6)$$

Balanço para nitrogênio (N):

$$0,16B - b = 0 \quad (7)$$

Balanço para hidrogênio (H):

$$1,55B + 2d - 3b = 12 \quad (8)$$

Balanço para oxigênio (O):

$$0,52B + 2c + d - 2a = 6 \quad (9)$$

Neste sistema existem cinco incógnitas, porém somente quatro equações. Entretanto o valor "B" é deduzido a partir do peso molecular do açúcar, do coeficiente de rendimento e do peso molecular da bactéria (Tabela 4).

Tabela 6 - Cálculo do peso molecular da bactéria

Elemento	Peso molecular do elemento	Proporção na molécula (Mol/Mol C)	Peso molecular na molécula
Carbono	12,011	1,00	12,011
Oxigênio	15,999	0,52	8,320
Nitrogênio	14,007	0,16	2,241
Hidrogênio	1,008	1,55	1,562
Total			24,134

Fonte: Autor (2021)

Deve-se levar em conta que o estudo de REED (1982) sugere que exista cerca de 3,5 % de cinzas na composição da bactéria, desta forma esse valor deve ser levado em consideração para o cálculo do peso molecular. Sendo assim o peso molecular da bactéria, considerando as cinzas, é de aproximadamente 25,01 g/mol.

A glicose, segundo o *Handbook of chemistry and Physics* (2009), tem peso molecular de 180 g/mol. Com estes valores e com o rendimento de conversão discutido anteriormente é possível determinar o valor de “B” a partir da Equação 10.

$$B = \frac{\frac{180 \text{ g açúcar}}{\text{mol}} \times \frac{0,497 \text{ g biomassa}}{\text{g substrato}}}{25,01 \text{ g} \frac{\text{biomassa}}{\text{mol}}} \quad (10)$$

$$B = 3,57$$

Realizando a substituição do valor de “B” nas equações para determinação dos coeficientes pode-se chegar aos resultados abaixo:

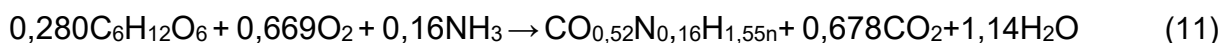
$$c = 2,42;$$

$$b = 0,57;$$

$$d = 4,09;$$

$$a = 2,39;$$

E substituindo os coeficientes na Equação 4 chega-se à equação estequiométrica completa (Equação 11).



Se faz necessário nesse momento calcular o tempo de batelada, o qual pode ser encontrado a partir da Equação 12.

$$T_{\text{batelada}} = \mu_{\text{max}}^{-1} \times \ln X/X_0 \quad (12)$$

Em que:

μ_{max} = Taxa específica máxima de crescimento [h^{-1}]

X = Biomassa ao final do processo [kg]

X_0 = Biomassa inicial [kg]

A taxa específica máxima de crescimento pode ser definida como a medida máxima do número de gerações formadas numa população microbiana por unidade de tempo, tendo neste caso um valor de μ_{max} , segundo LIMA (2001), de $0,230 \text{ h}^{-1}$. O valor de X se refere a quantidade de biomassa ao final da batelada e X_0 a quantidade de biomassa adicionada como inóculo. Considerando um valor de produção por batelada de 14 kg e uma taxa de 15 % para o *starter*. Desta forma o tempo de batelada encontrado é de 29 h.

Sabendo que dos 14 kg totais de biomassa produzido 2,1 kg vem diretamente do inóculo, no fermentador são multiplicados apenas 11,9 kg, ou utilizando o peso molecular encontrado na Tabela 4, aproximadamente 475,8 mols de biomassa.

Sabe-se segundo a estequiometria da reação que é necessário 0,280 mols de açúcar para se produzir 1 mol de biomassa, então para a quantidade de 475,8 mols de biomassa se faz necessário 133,2 mols de glicose, ou 24 kg deste carboidrato.

De acordo com o Anexo A, o melaço é composto por sacarose que por sua vez é quebrada em uma molécula de glicose e uma de frutose, sendo assim a cada um mol de sacarose são formados dois mols de açúcar que a bactéria pode consumir. Desta forma os 133,2 mols de glicose e frutose se transformam em 66,6 mols sacarose e conseqüentemente 22,7 kg de sacarose (considerando a massa molar da sacarose de 342,3 g/mol). Como a sacarose é proveniente de uma solução preparada de melaço contendo aproximadamente 40 % de açúcar a quantidade de melaço a ser utilizada é de 56,75 kg de melaço, por segurança esse valor é arredondado para 60 kg.

A quantidade de oxigênio, segundo a estequiometria, é que para cada mol de biomassa se faz necessário a injeção de 0,669 mols de oxigênio, sendo assim para a quantidade descrita a quantidade de oxigênio total é de 318,31 mols do gás ou 10,19 kg de oxigênio.

O processo para determinação dos componentes restantes da reação é idêntico ao demonstrado acima, todos os componentes e suas quantidades estão demonstrados na Tabela 5.

Tabela 7 - Componente por batelada

Componente	Quantidade em mols	Quantidade em kg
Biomassa	475,8	11,9
Glicose	133,2	24
Oxigênio	318,31	10,2
Amônia	76,12	1,3
Dióxido de carbono	322,6	14,2
Água	542,4	9,7

Fonte: Autor (2021)

Para realizar o balanço do fermentador é necessário realizar algumas considerações, a primeira que todo oxigênio é consumido pela multiplicação celular e a segunda que todo dióxido de carbono produzido é liberado para atmosfera. Para fins de cálculo estes gases não participam do balanço. Desta forma utilizando a equação temos que.

$$\text{Entrada} - \text{Saída} + \text{Gerado} - \text{Consumido} = \text{Acúmulo} \quad (13)$$

Tabela 8 - Resumo do balanço de massa global do processo de produção de inoculantes

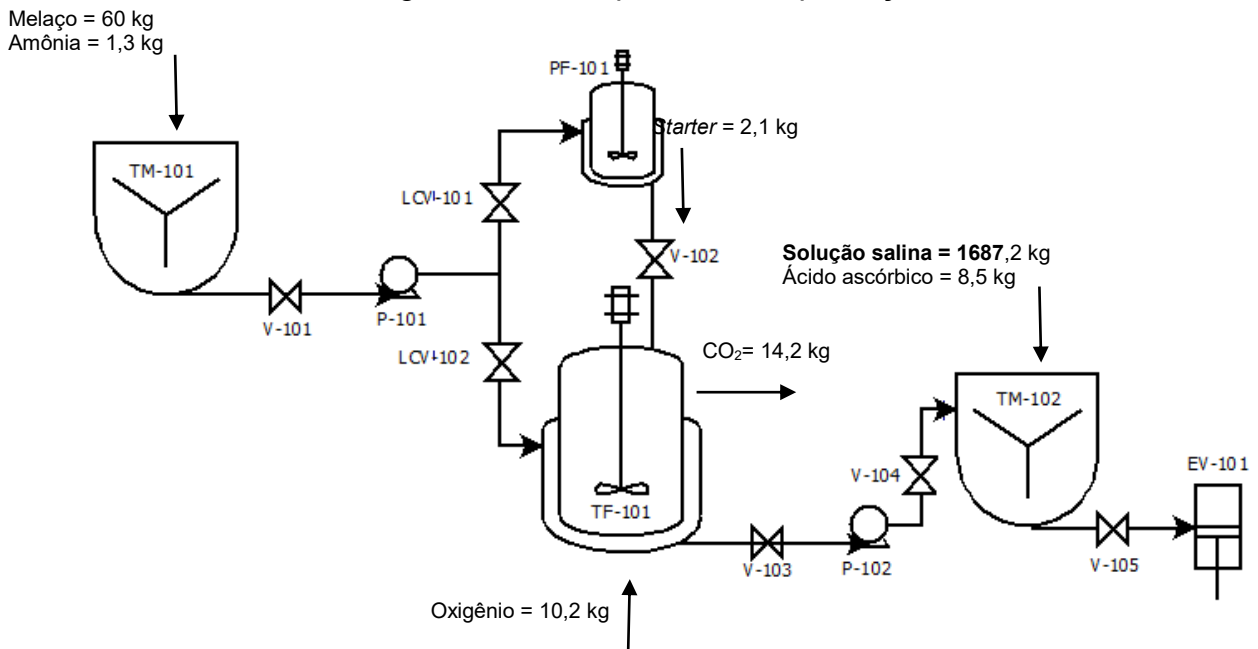
	Entrada [kg]	Consumido [kg]	Gerado [kg]	Acúmulo [kg]	Saída [kg]
Melaço	60				36
Amônia	1,3	1,3			
Inóculo	2,1				2,1
Biomassa			11,9		11,9
Açúcar		24			
Água			9,7		9,7

Fonte: Autor (2021)

Sendo destes 59,7 kg que saem do fermentador, 14 kg de biomassa, 9,7 kg de água e 36 kg de componentes não fermentáveis presentes no melaço. Após a saída do fermentador o caldo fermentado é encaminhado para um tanque de diluição onde a concentração é corrigida e o ácido ascórbico é adicionado, o caldo sai do fermentador contendo 14 kg de biomassa, desta forma para que o produto chegue a concentração de 8,25 g/L é necessário adicionar um total de 1687,2 L de solução salina a 0,85 % e 8,5 kg de ácido ascórbico que atua reduzindo o pH do meio e diminuindo o metabolismo da bactéria garantindo o prazo de validade de 6 meses do produto, estudos indicam que o ácido ascórbico é muito utilizado como conservante pois além de atuar inibindo o crescimento de bolores e leveduras ele possui pouca atividade em bactérias (IFOPE, 2019). A Figura 11 representa o diagrama de fluxo de processo (PFD) já com as correntes calculadas.

Vale ressaltar que a linha de inóculo é produzido no laboratório e levado para a linha de produção pelo técnico responsável no turno, isso significa que o equipamento PF-101 é um biorreator de bancada alocado no laboratório e não unido fisicamente ao processo.

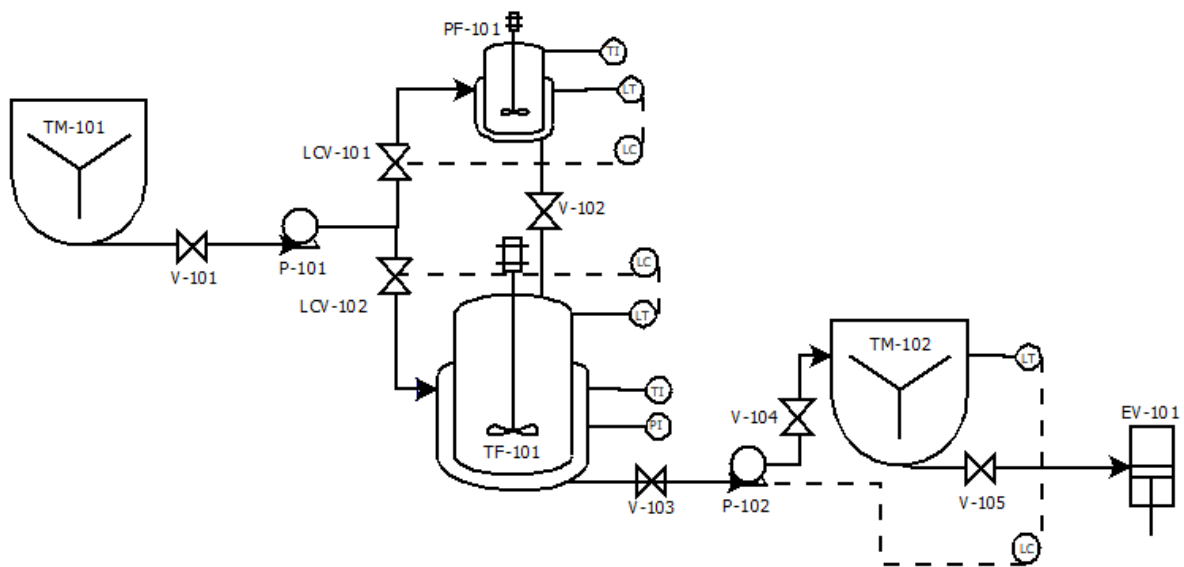
Figura 11 - Diagrama PFD do processo de produção de inoculantes.



Fonte: Autor (2021)

Sabendo da importância do controle de qualidade do processo e sabendo que a qualidade do produto depende diretamente do controle das condições de operação, o diagrama de instrumentação foi elaborado, Figura 11. Para atender a proposta inicial do projeto os sistemas de controle e instrumentação instalados na unidade estão relacionados com os parâmetros mais básicos da fábrica, sendo em sua maioria indicadores atuando de forma a garantir o mínimo de controle e também o mínimo de investimento, ou seja, melhor relação custo-benefício.

Figura 12 - Diagrama P&ID do processo de produção de inoculantes.



Fonte: Autor (2021)

10.3 ESPECIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

A partir da realização de balanços materiais deve-se calcular os fluxos nos equipamentos. Os fluxos foram utilizados para dimensionamento dos equipamentos da linha principal (fermentadores) e equipamentos adjacentes (caldeira e bombas) necessários para o funcionamento do processo.

10.3.1 Tanque de mistura (TM-101)

O primeiro tanque de mistura desempenha o papel de homogeneizar o meio de cultura contendo o melaço e a fonte de nitrogênio de forma que ao entrar no

fermentador este caldo apresente as características mais próximas a uma solução ideal possível para que a fermentação ocorra de forma correta.

Para atender a essa demanda uma dorna cilíndrica simples é necessária, entretanto é preciso atentar-se a altura e diâmetro do tanque para que se obtenha uma relação área x volume.

A área superficial e o volume de um cilindro são dados pelas Equações 14 e 15:

$$A_{\text{cilindro}} = 2 \times \pi \times r^2 \quad (14)$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \times r^2 \times h \quad (15)$$

Onde r é o raio do cilindro e h a altura do cilindro. Isolando o termo altura (h) da Equação 15 e substituindo na Equação 14 obtemos o modelo apresentado na Equação 16.

$$A_{\text{cilindro}} = 2 \times \pi \times r^2 + (2 \times V_{\text{cilindro}} \times r^{-1}) \quad (16)$$

Derivando a Equação 16 e igualando-a a zero, obtemos os valores de raio e da altura desejados. Por fim isola-se o termo r como na Equação 17.

$$r_{\text{min}} = \sqrt[3]{\frac{V}{2 \times \pi}} \quad (17)$$

Em sequência, substitui-se r_{min} na Equação 15 para se obter h_{min} .

$$h_{\text{min}} = \frac{V}{\pi \times r_{\text{min}}^2} \quad (18)$$

Considerando que no tanque de mistura são adicionados 60 kg da solução de melaço e 1,3 kg da fonte de nitrogênio. Assumindo que a densidade da solução de melaço é 1.232,02 kg/m³, temos que o volume ocupado pelo material é de 0,055 m³.

Para que o tanque não opere em capacidade máxima adiciona-se uma margem de segurança volumétrica de 25 %, chegando em um volume total para o tanque de 0,068 m³. Substituindo o volume na Equação 17 é possível calcular o raio mínimo do tanque.

$$r_{\min} = \sqrt[3]{\frac{0,068 \text{ m}^3}{2 \times \pi}} = 0,2215 \text{ m} \quad (18.1)$$

Com o valor do raio é possível determinar a altura do tanque utilizando a Equação 18:

$$h_{\min} = \frac{0,068 \text{ m}^3}{\pi \times 0,2215^2} = 0,4424 \text{ m} \quad (18.2)$$

Na Tabela 7 encontram-se os dados enviados a empresa responsável pela construção do equipamento.

Tabela 9 - Dimensões do equipamento TM-101

TM-101	
Diâmetro [m]	0,43
Altura [m]	0,45

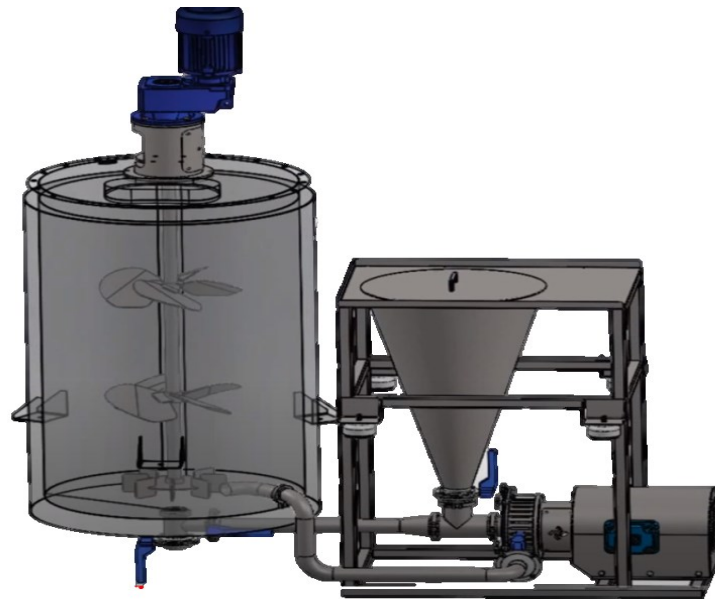
Fonte: Autor (2021)

Também se calculou o tempo estimado de mistura resultando em 31,1 s a partir da Equação 18.3

$$N_i t_m = \frac{1,54 \times V}{D_i^3} \quad (18.3)$$

O agitador escolhido será adquirido da empresa Agimix® que apresentou proposta de personalizar o modelo Agimix Tribler® com as especificações do presente projeto. O agitador é constituído de aço inox AISI 316 e conta com uma pequena dorna para diluição de compostos sólidos, que facilita o processo e auxilia na manutenção da qualidade do produto.

Figura 13 - Projeto do misturador TM-101



Fonte: Agimix (2021).

10.3.2 Fermentador (TF-101)

O fermentador é constituído de um vaso de metal que receberá o meio de cultivo para multiplicação bacteriana, neste mesmo vaso ocorrerá a esterilização do meio, desta forma o reator deve ser preparado para suportar condições de operação e esterilização.

O vaso contém 4 chicanas em suas laterais internas que atuam na agitação do meio, evitando a formação de vórtices para que o caldo sempre se mantenha o mais homogêneo possível. O dimensionamento segue os padrões estabelecidos na literatura citados por Doran (1995).

Inicialmente é preciso determinar o volume de caldo que o reator vai receber. Sabe-se que aproximadamente $0,06 \text{ m}^3$ entram no fermentador diretamente do tanque de mistura com o mosto da fermentação e que $0,7 \text{ kg}$ de inóculo são adicionados diretamente no reator, segundo Bicalho (2011) a densidade do inóculo é aproximadamente 1.240 kg/m^3 , com estes dados é possível calcular o volume ocupado pelo inóculo no fermentador.

$$V_{\text{inóculo}} = \frac{0,7 \text{ kg}}{1240 \text{ kg m}^{-3}} = 0,00056 \text{ m}^3 \quad (19)$$

Desta forma o volume de material dentro do fermentador é o somatório do material vindo do misturador com o inóculo, resultando em um volume de 0,06056 m³ ou 60,56 litros. Como medida de segurança, faz-se necessário deixar um volume de *headspace* de 25 % do volume ocupado elevando o volume do equipamento para 75,7 litros. Pensando em futuras ampliações foi dimensionado um reator com um volume final de 100 Litros.

Utilizou-se no projeto uma proporção entre o diâmetro do tanque e a altura do tanque de 1,6, se baseando em estudos de Doran (1995). Utilizando essa proporção na Equação 15 tem-se.

$$V_{\text{tanque}} = \pi \times \frac{d^2}{4} \times 1,6 \times d \quad (19.1)$$

A partir da Equação 19.1 tem-se que o diâmetro do tanque do fermentador é de 45 cm. E sabendo da existência do volume e o diâmetro do tanque se tem que a altura do tanque de fermentação é de 66,4 cm.

Na Tabela 8 encontram-se as dimensões do equipamento para posterior confecção.

Tabela 10 - Dimensões do equipamento TF-101

TF-101	
Diâmetro [m]	0,45
Altura [m]	0,65
Número de eixos de pás	2

Fonte: Autor (2021)

Também pelo padrão sabe-se que o diâmetro da pá impelidora é exatamente um terço do tamanho do diâmetro do tanque, sendo assim neste caso as pás de agitação do fermentador tem 14 cm de diâmetro. As alturas das pás são proporcionais ao seu diâmetro em uma razão de 20 %, neste projeto serão utilizadas pás com 3 cm de altura. Por fim a largura das pás de agitação são proporcionais ao diâmetro do impelidor em uma razão de 25 %, neste projeto ficando uma largura total de 3,5 cm.

Além das dimensões é interessante determinar algumas condições de operação, sendo que a condição que mais impacta na hora da compra é a agitação, pois a

escolha do tipo de impelidor e potência do motor devem ser escolhidos de forma correta pois um erro causaria uma ineficiência da homogeneidade do meio de cultivo.

Existem diversos tipos de impelidores e o fator determinante na escolha desse componente é a viscosidade do meio. Analisando o processo inicialmente se tem um meio líquido composto basicamente de água e açúcar e ao fim temos um aumento da viscosidade devido ao crescimento bacteriano.

Sendo assim o impelidor deve atender a agitação em viscosidades próximas a da água (0,9 cP) até a viscosidade de 2000 cP com uma margem de segurança, com estes dados temos que o agitador escolhido para o processo é o modelo de turbinas de pás planas, pois este atende uma grande variação de viscosidade e tem manutenção simples.

Calculou-se também o número de Reynolds para verificação do regime com os valores determinados para agitação, primeiramente foi estabelecida uma agitação de $2,5 \text{ s}^{-1}$, buscando uma agitação que resulte em uma mistura do meio e não cause danos as células. Considerando os dados já apresentados pode-se calcular o regime de agitação do meio utilizando a equação de Reynolds para impelidores, disponível no Doran (1995).

$$Re = \frac{D_i^2 \times N_i \times \varphi}{\mu} \quad (20)$$

$$Re = 4900 \quad (20.1)$$

Onde:

D_i = Diâmetro do impelidor [m]

N_i = velocidade de agitação [s^{-1}]

φ = Densidade [kg/m^3]

μ = Viscosidade [Pa x s]

Desta forma o regime de agitação atuante no sistema esta em fase de transição em, uma vez que o número de Reynolds é superior a 4000.

O reator escolhido para produção será produzido pela empresa SARTORIUS® que tem em seu catálogo o biorreator modelo *Biostat*® D-DCU (Figura 13), com volume de 100 litros, produzido em aço inox 316L e com agitação via impelidores.

Figura 14 - Biorreator modelo D-DCU



Fonte: SARTORIUS (2021).

10.3.3 Tanque de mistura (TM-102)

O segundo tanque de mistura segue os mesmos modelos descritos para dimensionamento do tanque TM-101, a diferença principal entre eles é o volume de operação, sendo que o tanque TM-102 opera com um volume maior.

Primeiramente, foi necessário calcular o volume útil exigido pelo processo, para isso analisou-se o balanço já realizado. Sabe-se que a linha oriunda do fermentador fornece diretamente 0,06056 m³ ou 60,56 litros para o tanque, além disso são adicionados 1.686,1 L ou 1,6861 m³ de uma solução salina para diluição e 8,5 kg de ácido ascórbico que atua como conservante do produto. Assumindo a densidade do conservante como 1650 kg/m³ (CRC, 2009) é possível determinar o volume a ser adicionado pelo ácido, Equação 21.

$$V_{\text{ácido}} = \frac{8,5 \text{ kg}}{1650 \text{ kg/m}^3} = 0,0051 \text{ m}^3 \quad (21)$$

Desta forma, o volume total ocupado pela demanda do processo é o somatório dos volumes do processo resultando em aproximadamente 1,7 m³. Utilizando a Equação 17 é possível determinar o raio mínimo do tanque.

$$r_{\min} = \sqrt[3]{\frac{1,7 \text{ m}}{2 \times \pi}} = 0,65 \text{ m} \quad (21.1)$$

A partir do raio determina-se a altura do tanque.

$$h_{\min} = \frac{1,7 \text{ m}}{\pi \times (0,65 \text{ m})^2} = 1,3 \quad (21.2)$$

Na Tabela 11 foram colocadas as dimensões do equipamento que irão ser utilizadas para posterior construção do equipamento.

Tabela 11 - Dimensões do equipamento TM-102

TM-102	
Diâmetro [m]	0,65
Altura [m]	1,3

Fonte: Autor (2021)

Também seguindo a metodologia aplicada no misturador TM-101 o tempo de operação desse equipamento por batelada é de 33 s.

O agitador escolhido será adquirido da empresa Agimix[®] que apresentou proposta de personalizar o modelo Agimix Tribler[®] (Figura 12) com as especificações do presente projeto. O agitador é constituído de aço inox AISI 316 e conta com uma cuba especial para diluição de compostos sólidos, que facilita o processo e auxilia na manutenção da qualidade do produto.

10.3.4 Envasadora (EV-101)

O sistema de envase será realizado com uma envasadora comercial com sistema semiautomático de enchimento. Observando o volume de material processado e com auxílio do setor de consultoria da própria empresa fornecedora o modelo escolhido para envasar o produto é a envasadora de líquidos com volume de operação variando de 1-5 L com dois bicos (Figura 14), constituída com corpo de aço inox 304 e com acionamento via pedal, fornecida pela empresa Cetro®. Esse sistema atenderá o volume necessário da unidade.

Figura 15 - Envasadora semiautomática



Fonte: Cetro (2021).

10.4 ESTERILIZAÇÃO DO FERMENTADOR

Uma etapa importante do processo é a esterilização do meio de cultura e do fermentador. Esse processo ocorrerá dentro do próprio vaso do fermentador por meio de uma linha de vapor responsável pelo aquecimento do vaso até a temperatura de 121 °C. É necessário realizar o cálculo do tempo de esterilização, também conhecido como t_{hd} e para isso devemos fazer algumas considerações.

Primeiramente assume-se que a temperatura de esterilização é de 121 °C, essa consideração é feita se baseando no padrão de morte térmica dos microorganismos. Em segundo lugar, considerou-se que todas as células do contaminante são do microrganismo *B. stearothermophilus*, pois esta é utilizada como padrão em

esterilização devido a sua resistência a temperatura (SCHMIDELL, 2021), em um número inicial de células (N_0) de 8×10^{11} UFC e o número de células ao final do processo (N_f) de 10^{-4} UFC em valores absolutos. Esse valor de concentração final significa que se aceita o risco de que a cada 10.000 bateladas uma esteja contaminada. Sabe-se que o t_{hd} é dado pela Equação 22.

$$t_{hd} = \frac{1}{k} \times \ln \frac{N_0}{N} \quad (22)$$

Estudos realizados relatam que para o microrganismo a constante de morte térmica para meios semelhantes ao utilizado no presente trabalho é $1,535 \text{ min}^{-1}$ (IFPI, 1989). Desta forma com os dados em mãos é possível determinar o tempo total que o fermentador deverá se manter na temperatura de $121 \text{ }^\circ\text{C}$. Assim substituindo os dados e realizando os cálculos, temos o resultado apresentado na Equação 22.1.

$$t_{hd} = \frac{1}{1,535} \times \ln \frac{8 \times 10^{11} \text{UFC}}{1 \times 10^{-4} \text{UFC}} = 23,8 \text{ min} \quad (22.1)$$

Sendo assim o tempo necessário para esterilização nos níveis adotados é de aproximadamente 23,8 minutos, entretanto com o objetivo de se garantir a esterilidade do meio deixou-se uma margem de segurança de 5 % no tempo ficando assim com um t_{hd} de aproximadamente 25 minutos. Vale ressaltar que o t_{hd} só é iniciado no momento que o sensor de temperatura indicar o valor de $121 \text{ }^\circ\text{C}$, o que pela característica de turbulência da agitação do meio demonstrado no dimensionamento do fermentador garante que todo o líquido presente se encontra a essa temperatura.

Para garantir o regime de turbulência, nesta etapa a velocidade de agitação é elevada para 400 s^{-1} , tornando o valor de Reynolds superior a 10.0000, diminuindo assim os efeitos de gradiente de temperatura durante a operação.

10.5 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE UTILIDADES

Nessa seção serão colocadas as especificações dos materiais necessários para que as atividades produtivas principais da indústria funcionem. Ainda, será descrito resumidamente o fornecimento de cada sistema de utilidade.

10.5.1 Tubulações

O dimensionamento hidráulico do projeto consiste em estabelecer os tipos de tubulações mais adequados para cada etapa, assim como os respectivos diâmetros interno e nominal.

De forma geral o material escolhido para implementação dos equipamentos e tubulações principais da linha de produção será o aço inox padrão alimentício. Justificativa encontrada na resistência a corrosão e contaminação, ampla faixa de temperaturas. Dos três grupos de aço inox segundo a American Iron and Steel Institute (AISI), o mais utilizado industrialmente é o grupo dos austeníticos uma vez que possui facilidade de conformação, maior resistência a rupturas e trincas.

Dos austeníticos, o aço AISI 304 é o mais comum, abrange desde indústrias farmacêuticas, químicas, alimentícias, até petroquímicas. Esse material é o menos dispendioso do grupo o que o torna diferencial para ser utilizado na execução do projeto, pois o processo ocorre em temperatura composição brandas, assim, não havendo necessidade de utilização de material mais resistente.

Já nos sistemas que envolvem o deslocamento de fluidos como vapor, água e fluido refrigerante, o material escolhido é o aço carbono. Esses são de forma geral os mais utilizados industrialmente devido ao seu baixo custo e boas qualidades mecânicas.

10.5.2 Válvulas

No projeto foram determinadas a presença de sete válvulas na linha principal. Foram escolhidos dois modelos de válvulas para implementação, nos pontos de acionamento manual o modelo escolhido foi a válvula tipo borboleta de acionamento manual (Figura 15). Esse modelo foi escolhido por serem modelos de baixo custo e confiáveis, são de fácil implementação e manutenção.

Figura 16 - Válvula modelo borboleta com acionamento manual



Fonte: Valcontech (2021).

Já para as duas válvulas dotadas de controle por *feedback*, LVC-101 e LVC-102, foi escolhido o modelo de válvula borboleta dotada de controle com atuador elétrico (Figura 16). Esse modelo de atuador foi escolhido devido a sua maior segurança frente aos modelos pneumáticos, maior precisão dos movimentos e maior facilidade de instalação.

Figura 17 - Válvula borboleta com atuador elétrico



Fonte: MTI Brasil (2021)

10.5.3 Sistema de tratamento de efluentes industriais

Os efluentes gerados na indústria são provenientes das operações de limpeza, descarga, descarte, vazamentos e derramamentos. O volume total não é alto pela dimensão da produção, ainda assim, a maior parte desse são das operações de limpeza, que incluem o enxágue e desinfecção de tanques diversos, tubulações para remoção de resíduos do melaço e lavagem de pisos.

Desta forma esse efluente será acondicionado em sistema interno de piscina de tratamento em dois estágios e posteriormente direcionado para o sistema de tratamento de esgoto da concessionária municipal.

10.5.4 Bombas

As bombas a serem utilizadas deverão ser sanitárias, centrífugas e com rotor aberto, uma vez que, ao longo do processo, a solução a ser bombeada poderá conter células viáveis em suspensão. Desta forma, a utilização do rotor aberto possibilita uma menor tensão de cisalhamento e uma fácil higienização.

Ao definir o uso de bombas sanitárias, as mesmas devem possuir algumas características como alta resistência à corrosão, fácil desmontagem para limpeza, não provocar batimento e nem formar espuma, o sistema de lubrificação não deve contaminar o produto, a fricção entre as partes internas deve ser mínima, o desenho mecânico das superfícies deve apresentar curvas suaves, sem espaços mortos, de modo a evitar acúmulo do material. Além disso, a bomba deverá ser construída em material aço inoxidável, assim como as tubulações que serão utilizadas.

Para o dimensionamento da bomba considerou-se que a o fluido transportado é incompressível. Foram alocadas duas bombas no processo uma que insere o material oriundo do primeiro misturador dentro do fermentador e outra que retira o material do fermentador e bombeia para o segundo misturador. Como as condições são parecidas foi realizado apenas um dimensionamento e o modelo escolhido será adotado para ambas as bombas.

Considerando que no projeto existem 3 curvas de 90° de raio longo feitas em aço inox, sendo o somatório das perdas localizadas gerando uma perda de carga equivalente de 0,47 m segundo o Anexo B.

Segundo o projeto temos um comprimento de tubulação de aço inox de aproximadamente cinco metros e uma velocidade de escoamento de 15 m³/h para que o tanque seja esvaziado em aproximadamente três minutos.

Considerando uma altura geométrica como um metro e somando as perdas de carga temos que a altura manométrica do sistema é de oito metros, com um rendimento da bomba de 80 %. Sendo assim utilizando a Equação 23 temos a potência requerida para essa bomba.

$$P = \frac{1000 \times Q \times H_m}{75 \times \eta} \quad (23)$$

$$P = \frac{1000 \times 0,0042 \times 8}{75 \times 0,8} = 0,56CV \quad (23.1)$$

Desta forma observando o catálogo da empresa da empresa Shimge[®] bombas hidráulicas optou-se pelo modelo BW com 0,7 CV (Figura 18), distribuída pela mesma empresa.

Figura 17 - Bomba centrífuga modelo BW



Fonte: Shimge (2021)

10.5.5 Caldeira e torre de resfriamento

O projeto, dimensionamento e instalação do sistema de caldeira será realizado em forma de parceria econômica com a empresa ARAUTERM[®]. Desta forma a instalação deste equipamento será realizada com profissionais com vasta experiência neste setor, essa medida foi adotada para minimizar os riscos de possíveis erros de projeto e maximizar a segurança da unidade.

O vapor será demandado principalmente para esterilização das dornas e controle de temperatura.

11. LIMITES LEGAIS ENVOLVIDOS NO PROJETO

Ao projetar uma indústria, os limites legais envolvidos podem ser bastante complexos. Grandes obras devem ser executadas e vistoriadas conforme rege a legislação, assim, a documentação entra como garantia do empreendedor. Essa é a garantia de que a proposta do projeto foi analisada pelos órgãos e autoridades competentes.

Para iniciar uma obra é necessário analisar as regras particulares de cada município. Contudo, alguns procedimentos são comuns em todas as localidades: alvará de construção, da autorização para instalação de energia elétrica e captação de água, da apresentação do projeto e seu planejamento de execução, a obtenção da carta de habite-se, entre outros.

Existem três etapas que devem acontecer para liberação da construção de um estabelecimento industrial: Licença Ambiental Prévia, Licença Ambiental de Instalação e Licença Ambiental de Operação.

Além dos trâmites em relação a conformidade ambiental deve-se realizar o cadastro do produto junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA) e os alvarás municipais de funcionamento emitidos na prefeitura e no corpo de bombeiros.

Ao que diz respeito à legislação trabalhista, é de responsabilidade do empregador fornecer boas condições físicas e psicológicas ao trabalhador. Assim, com a NR17 referente a Ergonomia estabelece parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, proporcionando máximo conforto, segurança e desempenho eficiente.

A NR6 trata de equipamentos de proteção individual, EPI, ou seja, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. O empregador é obrigado a fornecer, gratuitamente o equipamento adequado ao risco, em perfeito estado, sempre que houver necessidade. As categorias de EPI são divididas em proteção para a cabeça, dos olhos e face, proteção auditiva, respiratória, do tronco, membros superiores, membros inferiores, corpo inteiro e contra quedas com diferença de nível.

A NR 8 dispõe sobre edificações e estabelece requisitos técnicos mínimos que devem ser observados nas edificações, para garantir segurança e conforto aos

trabalhadores. Enquanto a NR 10 relata sobre segurança em instalações e serviços em eletricidade, estabelecendo requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores.

Segundo a NR 25 de resíduos industriais, entende-se que esses são aqueles provenientes dos processos industriais, na forma sólida, líquida ou gasosa, ou combinação dessas, e que por características físicas, químicas ou microbiológicas não se assemelham aos resíduos domésticos, como cinzas, lodos, óleos, materiais alcalinos ou ácidos, escórias, poeiras, borras, substâncias lixiviadas e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como demais efluentes líquidos e emissões gasosas contaminantes atmosféricas.

A NR9 do programa de prevenção de riscos ambientais estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais.

Também se levou em consideração a NR 13 para instalação da caldeira colocando o equipamento a uma distância segura do restante das instalações.

Resumidamente, inúmeros requisitos legais estão envolvidos na projeção de uma indústria, uma vez que visam desde a possibilidade de implementação do empreendimento até as condições necessárias para operar. Essas condições vão desde técnicas que envolvem todos os equipamentos e processo, assim como os quesitos ambientais, até as relacionadas aos trabalhadores que devem ser protegidos pelas legislações vigentes.

12 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

Foi realizado um estudo econômico inicial relativo a custos de operação e implementação utilizando uma metodologia que reduza os erros de forma significativa e traga uma aproximação mais realista dos gastos de implantação, desta forma foram realizados orçamentos com empresas no Brasil que já atuam nos ramos de construção civil, construção e instalação de equipamentos industriais.

12.1 CAPEX

Capex é a sigla do termo em inglês *Capital Expenditure* é a demonstração do capital necessário para investimento em bens de capitais, ou seja, aquisição de equipamentos e instalações. Desta forma, a Tabela 6 demonstra os custos levantados através de orçamentos do valor necessário para implementação da unidade.

Tabela 12 - Valores dos orçamentos para CAPEX

Descrição	Valor (R\$)
Terreno	450.000
Construção (civil, elétrico e hidr.)	500.000
Equipamentos	680.000
Parcerias econômicas (caldeira)	95.000
Laboratório	50.271,25
Veículo	78.390
Total	1.838.390,25

Fonte: Autor (2021)

Este valor pode ter como fonte capital próprio ou em linhas de crédito abertas em instituições financeiras.

12.2 OPEX

O OPEX é a sigla para o termo inglês *Operational Expenditure* e significa o capital necessário para manutenção e operação da fábrica, incluindo matéria-prima, mão de obra e gastos fixos. Primeiramente, calcula-se o valor de matéria-prima e para

fins de cálculo considerou-se o melaço como item principal. Em consulta a usinas de processamento de cana-de-açúcar da região sudoeste do estado do Mato Grosso obteve-se que o custo médio do melaço é de R\$1.030,00 a tonelada entregue a frete *Cost, Insurance and Freight* (CIF). Observando o balanço temos que a cada batelada são utilizados 83,07 kg de melaço, considerando 250 bateladas por ano, tem-se que o custo de matéria prima é de R\$21.390,53.

Para a mão de obra, estimou-se 9 funcionários ganhando uma média salarial de aproximadamente R\$3.500,00. Considerando a carga tributária e que todos os funcionários serão contratados e o custo anual por funcionário é aproximadamente R\$72.800,00. Desta forma o custo total anual de mão de obra considerando os encargos trabalhistas é de aproximadamente R\$655.200,00.

Também foi adicionado um valor para despesas variáveis diversas de R\$ 300.000 para abranger gastos relativos a energia elétrica e despesas relativas a transporte.

12.3 RECEITA ANUAL

Considerando a média de preços dos produtos similares distribuídos na região foi fixado o valor de R\$6,00 o litro do produto, temos que a receita anual será de aproximadamente R\$2.376.000,00.

12.4 AVALIAÇÃO FINANCEIRA

Por fim nota-se que os custos operacionais anuais são inferiores ao valor da receita total, o que nesta avaliação primária, mostra um caminho promissor para sua implementação. Existem ainda muitas variáveis nos custos pois a metodologia pode apresentar falhas, entretanto nesta primeira avaliação o projeto se mostra como opção interessante ao investimento. Existe a possibilidade de usar a mesma estrutura no futuro para produção de bactérias de ação de controle de doenças o que aumentaria a receita sem elevar de forma substancial os custos.

Foram realizadas algumas análises importantes sobre esse modelo de negócio em parceria com o serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas (SEBRAE) para avaliar os indicadores econômicos principais. A presente proposta apresenta uma rentabilidade mensal de 3,87 % e uma taxa de retorno de investimento

de 25 meses, Figura 18. Os indicadores de rentabilidade e risco apresentam uma proposta com lucratividade de 31,62 % e com taxa mínima de atratividade, que é o percentual mínimo que um investidor está disposto a ganhar a partir de uma aplicação financeira, de 11,35 %. A taxa interna de retorno é um valor de desconto hipotético que ao ser aplicado ao fluxo de caixa faz com que as despesas sejam iguais aos valores dos retornos de investimento, e segundo a partir da avaliação da consultoria o projeto obteve uma taxa interna de retorno de 37,14 %.

Por fim o último indicador apresentado foi o valor presente líquido que é um método que consiste em trazer todos os fluxos de caixa para o início da operação e utilizando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade, interpretando esse valor tem-se um bom indicativo sobre a viabilidade do projeto, sendo um valor positivo um projeto viável, valor negativo um projeto inviável e valor zero a decisão para investimento é neutra. O presente trabalho apresentou um valor presente líquido de R\$ 1.049.890,55 o que mostra a sua viabilidade, todos os índices econômicos estão sintetizados na Tabela 13.

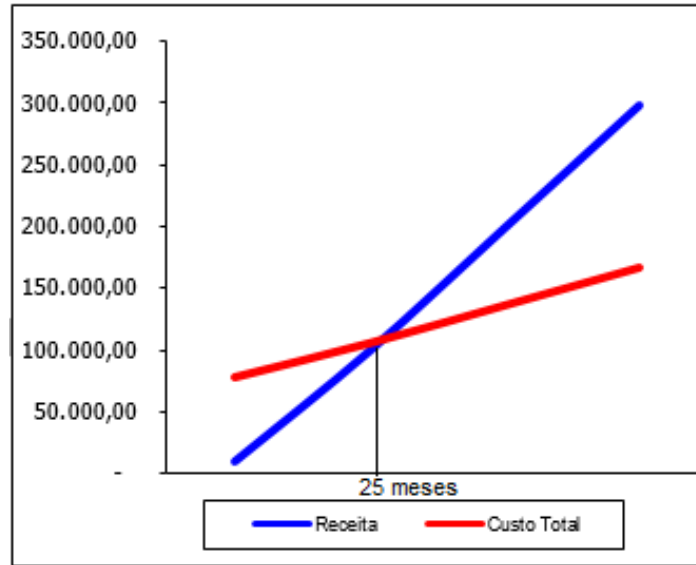
Tabela 13 - Índices economicos para a fábrica de inoculantes

Rentabilidade mensal	3,87 %
Taxa de retorno de investimento	25 meses
Lucratividade	31,62 %
Taxa mínima de atratividade	11,35 %
Taxa interna de retorno	37,14 %
Valor presente líquido	R\$ 1.049.890,55

Fonte: Autor (2021)

Algumas ponderações devem ser observadas em relação a esse valor, primeiramente o investimento inicial e capital de giro são oriundos de aportes pessoais, ou seja, não gerando dívidas com juros. Também se enquadrou a empresa no modelo tributário “Super simples”, entretanto para uma melhor avaliação tributária recomenda-se uma consultoria com um contador especializado.

Figura 18 – Gráfico de ponto de equilíbrio



Fonte: Autor (2021)

13 CONCLUSÃO

Durante a elaboração deste projeto, alguns pontos foram previstos, tendo-se como base estimativas realizadas através do auxílio da literatura consultada. Antes da implementação definitiva do projeto, indica-se a revisão de alguns tópicos, a fim de manter a viabilidade ao longo de toda a operação da indústria recém-criada. Desta forma, alguns tópicos a serem revistos são apontados nesta seção.

Com a concretização do projeto, cabe aos responsáveis pela administração, a geração de relatórios periódicos, a fim de determinar a eficiência de toda a indústria. Ao longo do tempo, é indicada a revisão dos turnos de operação da empresa, uma vez que, como a demanda do projeto foi estimada inicialmente, será necessário ajustar a operação da indústria com a verdadeira demanda encontrada no mercado.

Por fim o projeto se mostrou promissor, suas demandas são reais e com os ajustes inerentes ao processo de implementação e operação se mostra uma oportunidade viável de negócio para investidores do setor agrícola no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AGIMIX. **Sistema Triblender**. 2021. Disponível em: < agimix.com.br/portifolio-items/sistema-de-mistura-tipo-triblender/>. Acesso em: 14 de março de 2021
- ALBERGONI, Leide; PELAEZ, Victor. **Da revolução verde à agrobiotecnologia: Ruptura ou continuidade de paradigmas?** Curitiba: Editora Ufpr, 2007.
- ANPII. **Perspectivas para a fixação biológica de nitrogênio em 2018**. Valinhos: Relare, 2017. Disponível em: <http://www.anpii.org.br/perspectivas-para-a-fixacao-biologica-do-nitrogenio-em-2018/>. Acesso em: 05 nov. 2020.il.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper, **Plant physiol.**: Washington: v. 14, p. 371-375, 1939. DOI: 10.1104/pp.14.2.371
- BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. **Agricultura de baixa emissão de carbono**, Brasília, 2012.
- BICALHO, I. C. **Concentração de microrganismos da fermentação alcoólica em hidrociclones**. Dissertação (Mestrado), 154 f. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2011.
- BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Instrução normativa SDA N° 13, de 24 de março de 2011. **Diário oficial da união**, Brasília, 2011.
- CABEZAS, W. A. R. L.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 21, p. 481-487, 1997.
- CAMARGO, M. S. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. **Apta pesquisa & tecnologia**, São Paulo, v. 9, n. 2, 2012. ISSN: 2316-5146
- CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura de soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Empresa brasileira de pesquisa agropecuária**, Londrina, 2007.
- Cetro. **Envasadora de líquidos** 2021. Disponível em: <https://www.cetroloja.com.br/enasadora-de-liquidos-1000-5000ml-com-dois-bicos?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjw7pKFBhDUARIsAFUoMDb89DNMQzI8AApGOy8_gW6j3-YZ25wE_4uZaqr8BbA3IZBkrUXEKcYaAmLqEALw_wcB>. Acesso 19/05/2021.il.
- CHEN, S.L.; Chiger, M.; **Production of baker's yeast in comprehensive biotechnology**; Pergamon Press; 1st ed.; 3 (429-461) 1985.

CLEVELAND, C. C. et. al. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems, **Global biogeochemical cycles**, v. 13, p. 623 – 645, 1999.

CRC Handbook of Chemistry and Physics, 90. Auflage, **CRC Press**, Boca Raton, Florida, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Série histórica das safras de soja. **Série histórica das safras**, Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 20 de maio de 2019. il.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - **Décimo levantamento**, Brasília, p. 1-31, 2020

COSTA NETO, P. R; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química nova**, Curitiba, v. 23, p. 4, 2000.

CNPEM, Centro nacional de pesquisa em energia e materiais. **Fermentação: contínua ou batelada?**, Campinas, 2017. Disponível em: <https://cnpem.br/fermentacao-continua-ou-em-batelada/>. Acesso em: 6 de abril de 2021.

Doran, Pauline M. Bioprocess Engineering Principles / Pauline M. Doran. London ; San Diego :Academic Press, 1995.

EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Biotecnologia: Estado da arte e aplicações na agropecuária. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, 2011.

ENIT. Normas Regulamentadoras- Português, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>>. Acesso em: 25 de outubro de 2020.

FREITAS, Silene Maria de. Nitrogênio: um dilema entre produzir e poluir? **Instituto de economia agrícola**, São Paulo, v.10, n. 11, 2015. ISSN: 1980 0711

FREITAS, Márcio de Campos M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera, centro científico conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World fertilizer trends and outlook to 2020**, Roma, 2017.

GRANGE, L.; HUNGRIA, M. Genetic diversity of indigenous common bean (*Phaseolus vulgaris*) rhizobia in two Brazilian ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 1389 – 1398, 2004. ISSN 1517-8382

GOTEMS, Leonardo; ROBERTO, José. **Haverá grande expansão de inoculantes no Brasil**. Brasil: Agrolink, 2019. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/-havera-grande-expansao-de-inoculantes-no-brasil-_423401.html. Acesso em: 06 set. 2020.

GREENWOOD, Norman N.; EARNSHAW, Alan. **Chemistry of the elements**, 2 ed. Oxford, Elsevier, 1997.

HARARI, Yuval. **Sapiens – Uma Breve História da Humanidade**. Israel: Harper, 2011

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica de nitrogênio na cultura de soja. **Empresa brasileira de pesquisa agropecuária**, Londrina, 2001.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glicine max(L.) Merr*) in South America. **Nitrogen nutrition in plant productivity**. Houston, p. 43 – 93, 2006.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>

INTERNATIONAL FEDERATION OF THE PHARMACEUTICAL INDUSTRIES. Sterility assurance based on validation of the sterilization process steam under pressure. J. Parenter. Sci. Technol., Philadelphia, v. 43, n. 5, p. 226-230, 1989.

INOCULANTES, Associação Nacional dos Produtores e Importadores de. **Consumo de inoculantes deve aumentar**. Valinhos: Anpii, 2019. Disponível em: <http://www.anpii.org.br/consumo-de-inoculantes-deve-aumentar/>. Acesso em: 08 out. 2020.

IRIGARAY, Hélio Arthur *et al.* **Gestão e desenvolvimento de produtos e marcas**. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 144 p

JORDAN, D. C. Rhizobiaceae Conn 1938. In: KRIEG, N. R.; HOLT, J. G. **Bergey manual of systematic bacteriology**. Baltimore, p. 235 – 244, 1984.

KAO, J, J. LIN, H, Y. Multifactor spatial analysis for landfill sitting. **Journal of Environmental Engineering**, 1996

KAGAWA, A. **Standard table of food composition in Japan**. Tóquio: University of nutrition for women, p. 104 – 105, 1995. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9372(1996)122:10(902)

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5° ed, editora Atlas, 2003.

Lima, U.D. A. **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos**. Editora Blucher, 2001. ISSN 9788521215196. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215196/>. Acesso em: 2021 ago. 03.

MALTHUS, Thomas R. **An essay on the principle of population**, 1 ed. Londres, ST. Paul's church-yard, 1798.

MODAK, Jayant M. Haber process for ammonia synthesis, **Resonance - Journal of Science Education**. Bangalore: v. 16, p. 1159 - 1167, 2011.

MTI Brasil. **Atuadores elétricos para válvulas de processo** (2021) Disponível em < <https://www.mtibrasil.com.br/produtos/atuador-eletrico-para-valvulas-de-processo.php>> Acesso em 08/06/2021. il.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 7° ed, editora Artmed, 2018

NORONHA, S, M. Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 1998.

PEIXOTO, Rodrigo. Fixação biológica de nitrogênio é alternativa para a cultura do feijão. **Empresa brasileira de pesquisa agropecuária**, Santo Antônio de Goiás, 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2235924/fixacao-biologica-de-nitrogenio-e-alternativa-para-a-cultura-do-feijao>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

PRADELLA, J. G. C.; OLIVEIRA, M. S.; URENHA, L.C. Produção de inoculantes agrícolas. In: LIMA, U. A. *et al.* **Biotecnologia industrial**. São Paulo, V. 3, 2001.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**, 8. ed. Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 2018.

REIS, G. B. **Simulação e controle do processo de produção de levedura**. Dissertação de Mestrado, 91 f. Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2009

REIS, Tiago. **Bem Substituto: Aprenda o conceito destes bens**. São Paulo: Suno, 2018. Disponível em: <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/bem-substituto/#:~:text=Os%20bens%20substitutos%20s%C3%A3o%20bens,os%20dois%20ao%20mesmo%20tempo..> Acesso em: 08 nov. 2020.

REIS, V. M.; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação biológica de nitrogênio – estado da arte. **Embrapa Cerrados**, 2006

REIS JUNIOR, F. B. **Influência do genótipo da planta, micropropagação e fertilização nitrogenada sobre a população de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1998.

ROSA, I. *et al.* Avaliação de localização do centro de distribuição da empresa aersul distribuidora de energia em relação aos depósitos regionais. **Rea UFSM - Revista de Administração da UFSM**, 2016. DOI: 10.5902/19834659 15358.

SAMANEZ, C.P. Engenharia econômica. **Pearson**, 2009

SANTOS, G. M. Estudos dos fatores envolvidos no processo de localização de usinas e destilarias: um estudo de caso do setor sucroalcooleiro brasileiro. **Universidade de São Paulo**, 2014.

SARTORIUS. **Stainless Steel Bioreactors**. 2021. Disponível em: <<https://www.sartorius.com/en/products/fermentation-bioreactors/stainless-steel-bioreactors/biostat-d-dc>>. Acesso 18/05/2021. il.

TURTON, R.; BAILIE, R. C.; WHITING, W. B.; SHAEIWITZ, J. A. Analysis, synthesis and design of chemical processes. **Pearson Education**, 2008

Schmidell, W. Biotecnologia Industrial - Vol. 2: **Engenharia Bioquímica**. Editora Blucher, 2021. 9786555060195. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555060195/>. Acesso em: 2021 ago. 16

Shimge. **Bombas sanitárias** (2021) Disponível em < <http://shimge-pump.com.br/1-2-horizontal-multi-stage-centrifugal-pump/245911/>>. Acesso em 20/05/2021.il.

Valcontech. **Válvulas borboleta**, 2021. Disponível em: <<https://valcontech.lojaintegrada.com.br/produto/valvula-borboleta-ffepdm-150-lbs-6.html>>. Acesso em: 18/05/2021

VARGAS, M. A. T.; PERES, J. R. R.; SUHET, A. R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo sob Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, p. 1127 – 1132, 1982.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Response of field grown bean [*Phaseolus vulgaris*(L)] to *Rhizobium* inoculation and N fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, p. 228 – 233, 2000. DOI:10.1007/0-306-47615-0_353.

VIEIRA, J.; HENCKE TRESBACH, R.; MACHADO CASTRO, R.; VITOR SALES ROSA, J.; MARCOS STEFENON, V.; JACONDINO ROLL, R. CRESCIMENTO DE RHIZOBIUM LOTI E BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM SOB DIFERENTES FONTES DE CARBONO E PH. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 2, 28 fev. 2020

WILLIAMS, David R. Earth fact sheet. **National Aeronautics and Space Administration NASA**, 2019. Disponível em: <<https://nssdc.gfsc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>>. Acesso em: 8 de maio de 2019.

WOLFE, J; BRYANT, G. Cellular cryobiology: thermodynamic and mechanical effects. **International Journal of Refrigeration**, Surrey, v. 24, p. 438-450, 2001.

ZHANG, Y. M. *et al.* Biodiversity and biogeography of rhizobia associated with soybean plants grown in the North China Plain. **Appl. Environ Microbiol**, Beijing, v. 77, p. 6331 -6342, 2011. DOI: 10.1128/AEM.00542-11

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO MELAÇO

Características	Unidade	Resultado
Acidez total (ácido acético)	g/kg	1,3
ART	%	59,16
Água – Karl Fischer	% m/m	1729
Amido	mg/kg	1729
Brix refratômetro 20°C	%	82,92
Cálcio	mg/kg	121156
Cinzas	% m/v	9,8
Cobalto	mg/kg	3,1
Cobre	mg/kg	3,8
Cor	UI	73852
Dextrana	mg/kg	<10
Ferro	mg/kg	64
Fósforo Total	mg/l	1,14
Frutose	% m/m	7,66
Glucose	% m/m	5,3
Magnésio	mg/kg	4270
Manganês	mg/kg	27,1
PH	–	5,7
Potássio	mg/kg	25470
Proteína	%	0,44
Pureza	%	48,19
Resíduos Insolúveis Gravimétrico	mg/kg	706
Sacarose	% m/m	39,41
Selênio	mg/kg	<0,05
Sódio	mg/kg	118
Sulfito	mg/kg	<10
Umidade	%	18,4
Zinco	mg/kg	6,3

Fonte: CHEN (1985)

ANEXO B – TABELA DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA

DIÂMETRO NOMINAL D		COTOV. 90° RAIO LONGO	COTOV. 90° RAIO MÉDIO	COTOV. 90° RAIO CURTO	COTOV. 45°	CURVA 90° R/D - 1 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REG. DE GAVETA ABERTO	REG. DE GLOBO ABERTO	REG. DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASS. DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA BILATERAL	VÁLVULA DE PÉ E CRITO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RET. TIPO LEVE	VÁLVULA DE RET. TIPO PESADO
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
mm	pol																			
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Fonte: URCA, 2010

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

A.1 CAPACIDADE PRODUTIVA DA INDÚSTRIA

Utilizou-se o valor de fator de conversão médio $Y_{x/s}$ igual a 0,497 g/g e se estipulou a concentração final do produto de 8,25 g/L de biomassa. Assim calculou-se a massa total de biomassa requerida por batelada.

$$C \text{ (m/v)} \times V = M$$

$$8,25 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 396 \cdot 10^3 \text{L} = 3.267 \text{ kg}$$

Após isso foi estimada a demanda de substrato

$$Y_{x/s} = \frac{\text{biomassa (m)}}{\text{substrato(m)}}$$

$$Y_{x/s} = \frac{0,497 \text{ g biomassa}}{1 \text{ g substrato}}$$

$$\frac{3.267 \times 10^3 \text{ g biomassa}}{0,497 \frac{\text{g biomassa}}{\text{g substrato}}}$$

$$6.573,5 \text{ kg de substrato}$$

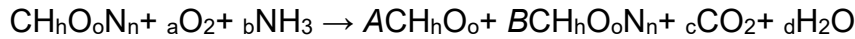
Utilizando um valor de μ_{\max} , segundo Stroppa *et al.* (2009), de $0,4 \text{ h}^{-1}$ e considerando um valor de produção por batelada de 14 kg e uma taxa de 5 % para o starter foi calculado o tempo de batelada utilizando a seguinte equação:

$$T_{\text{batelada}} = \mu_{\max}^{-1} \times \ln X/X_0$$

$$T_{\text{batelada}} = 7,5 \text{ h}$$

A.2 BALANÇO DE MASSA GLOBAL

Primeiramente utilizou-se uma equação padrão que rege as reações de crescimento microbiológico:



Os valores a , b , c , d , A e B são os coeficientes estequiométricos do oxigênio, da amônia, dióxido de carbono, água, subprodutos e biomassa, respectivamente é necessário determinar a composição da bactéria, para isso utilizou-se a tabela disponível em REED (1982).

Elemento	Composição mássica (%)	Peso molecular (g/mol)	Mol/100 g de bactéria	Mol/mol de carbono
Carbono	46	12,011	3,83	1
Nitrogênio	8,5	14,007	0,61	0,16
Oxigênio	32,0	15,999	2,00	0,52
Hidrogênio	6	1,008	5,95	1,55

Fonte: REED (1982)

Tendo como referência a composição do microrganismo foi determinada o peso molecular da bactéria:

Elemento	Peso molecular do elemento	Proporção na molécula (Mol/Mol C)	Peso molecular na molécula
Carbono	12,011	1,00	12,011
Oxigênio	15,999	0,52	8,320
Nitrogênio	14,007	0,16	2,241
Hidrogênio	1,008	1,55	1,562
Total			24,134

Fonte: Autor (2020)

Balanço para carbono (C):

$$B + c = 6$$

Balanço para nitrogênio (N):

$$0,16B - b = 0$$

Balanço para hidrogênio (H):

$$1,55B + 2d - 3b = 12$$

Balanco para oxigênio (O):

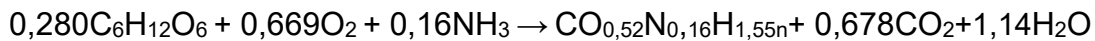
$$0,52B + 2c + d - 2a = 6$$

O valor de B foi determinado a partir do rendimento da conversão adotado no processo e a massa molar da glicose:

$$B = \frac{\frac{180 \text{ g açúcar}}{\text{mol}} \times \frac{0,497 \text{ g biomassa}}{\text{g substrato}}}{25,01 \text{ g} \frac{\text{biomassa}}{\text{mol}}}$$

$$B = 3,57$$

Após as devidas substituições nas equações acima foi possível determinar a equação estequiométrica da reação:



Com a equação ajustada é possível calcular a quantidade de cada componente por batelada:

Componente	Quantidade em mols	Quantidade em kg
Biomassa	532	13,3
Glicose	149	26,82
Oxigênio	356	11,4
Amônia	85,1	1,5
Dióxido de carbono	360,7	15,8
Água	606,5	10,9

Fonte: Autor (2020)

Finalizando o balanço mássico global:

$$\text{Entrada} - \text{Saída} + \text{Gerado} - \text{Consumido} = \text{Acúmulo}$$

$$(67,03 \text{ kg de melaço} + 1,5 \text{ kg de amônia} + 0,7 \text{ kg de inóculo}) + (13,3 \text{ kg de biomassa} + 10,9 \text{ kg de água}) - (26,82 \text{ kg de açúcar} + 1,5 \text{ kg de amônia}) = \text{Saída}$$

$$\text{Saída} = 65,11 \text{ kg}$$

A.3 TANQUE DE MISTURA (TM-101)

Para dimensionamento do tanque de mistura utilizou-se das informações do volume do material a ser misturado para calcular o volume do cilindro principal de mistura.

$$A_{\text{cilindro}} = 2 \times \pi \times r^2 + 2 \times \pi \times r \times h$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \times r^2 \times h$$

Isolando o termo altura (h) da Equação 15 e substituindo na Equação 14 obtemos o modelo apresentado:

$$A_{\text{cilindro}} = 2 \times \pi \times r^2 + (2 \times V_{\text{cilindro}} \times r^{-1})$$

Derivou-se a equação e obteve-se o valor de raio mínimo e altura mínima do tanque para mistura:

$$r_{\text{min}} = \sqrt[3]{\frac{V}{2 \times \pi}} = 0,2215 \text{ m}$$

$$h_{\text{min}} = \frac{V}{\pi \times r_{\text{min}}^2} = 0,4424 \text{ m}$$

Calculou-se também o valor do número de Reynolds do misturador, considerando uma frequência de agitação de 2 s^{-1} e impelidores com diâmetro de 0,15 m, viscosidade de 10^{-2} Pa.s e densidade de 1000 kg.m^{-3} , temos que:

$$\text{Re} = \frac{D_i^2 \times N_i \times \rho}{\mu}$$

$$\text{Re} = 4500$$

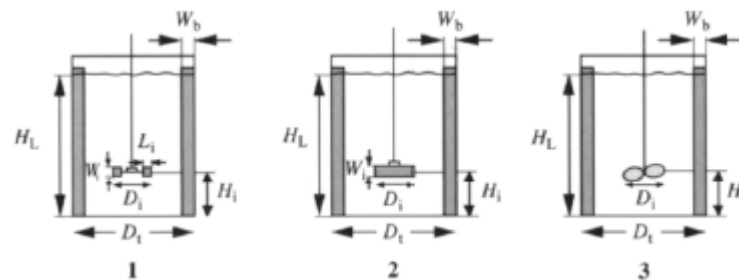
Sendo este um regime turbulento pode-se estimar o tempo de mistura.

$$Ni t_m = \frac{1,54 \times V}{D_i^3}$$

$$Ni t_m = 31,1s$$

A.4 FERMENTADOR (TF-101)

A dorna de fermentação foi dimensionada seguindo as proporções estabelecidas por Doran (1995).



Impeller	D_i / D_t	H_L / D_t	H_i / D_i	Baffles	
				W_b / D_t	Number
1. Rushton turbine $W_i / D_i = 0.2, L_i / D_i = 0.25$	3	3	1	0.1	4
2. Paddle $W_i / D_i = 0.25$	3	3	1	0.1	4
3. Marine propeller Pitch = D_i	3	3	1	0.1	4

Fonte: DORAN (1995)

A.5 TANQUE DE MISTURA (TM-102)

Para o tanque de mistura TM-102 foram utilizadas as mesmas relações do TM-01, adaptando somente para o volume final de material a ser homogeneizado. Para o cálculo do número de Reynolds considerou-se uma velocidade de $1,5 \text{ s}^{-1}$, impelidores com 0,43 m de diâmetro e 0,05 Pa.s de viscosidade (PALHA, 2017).

$$Re = \frac{D_i^2 \times Ni \times \varphi}{\mu}$$

$$Re = 5547$$

Sendo este um regime turbulento pode-se estimar o tempo de mistura.

$$Ni t_m = \frac{1,54 \times V}{D_i^3}$$

$$Ni t_m = 32,92s$$

A.6 BOMBAS

Considerando uma altura geométrica como um metro e somando as perdas de carga temos que a altura manométrica do sistema é de oito metros, com um rendimento da bomba de 80 %. Sendo assim utilizando a Equação 23 temos a potência requerida para essa bomba.

$$P = \frac{1000 \times Q \times H_m}{75 \times n}$$

$$P = \frac{1000 \times 0,0042 \times 8}{75 \times 0,8} = 0,56 \text{ CV}$$