DIGITALIZADO NO IBAMA

Eletrobras
CGTEE

Sede – DE
Rua 7 de Setembro, 539/7º
90010-190 – POA – RS – BR
Tel.: 51 3287 1529
CNPJ:02.016.507/0001-69

Carta DE Nº 06/2017

MMA/IBAMA/SUPES/RS
DOCUMENTO:
Nº 02001.001467/2017-41
DATA: 12/04/2017

Porto Alegre, 12 de abril de 2017.

Ilmo. Sr.
JONATAS SOUZA DE ANDRADE
Diretor Substituto da DILIC/IBAMA
IBAMA
SCEN Trecho 2 Ed. Sede do IBAMA
70818-900 Brasília – DF

ASSUNTO: Atendimento ao Ofício 02001.001409/2017-15 DILIC/IBAMA

Prezado Senhor,

Em atendimento ao Ofício 02001.001409/2017-15 DILIC/IBAMA, encaminhamos a Nota Técnica DE 009-2017:

À Cend 2,
Por pertinência.
17/04/2017
Alessandra A. Gayoso Franco de Toledo
Assessora Técnica
DILIC/IBAMA
Port. 1.046/2016

Atenciosamente

RICARDO DE SOUZA LICKS
Diretor de Engenharia, Expansão e Meio Ambiente

i. Anexo I: Relatório Final da Planta de Biofixação por Microalgas;

RECEBIDO
Em: 19/04/17
Ass.: Liliane

Ao AA. Henrique, para verificação da Resposta do empreendedor.

19/4/2017.

Liliane

EM BRANCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS

LABORATÓRIO DE ENGENHARIA BIOQUÍMICA

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

OPERAÇÃO DA UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO POR MICROALGAS INSTALADA NA UTPM

RIO GRANDE – RS

JULHO 2016

1. OBJETIVO GERAL DO PROJETO

Desenvolver processos para a biofixação de CO_2, emitido no gás de combustão da CGTEE, a partir de microalgas.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a condução do processo de biofixação em regimes descontínuo, semi-contínuo ou contínuo;
- Estudar a recuperação (colheita) e tratamentos finais da biomassa;
- Realizar a caracterização físico-química da biomassa microalgal;
- Aumentar a possibilidade de utilização do carvão mineral;
- Diminuir as taxas de emissão de CO_2 para a atmosfera;
- Contribuir para a redução do aquecimento global;
- Fornecer subsídios para a obtenção de energia a partir de biomassa microalgal;
- Consolidar a participação da CGTEE/Eletrobrás e da FURG na "International Network for Biofixation of CO_2 and Greenhouse Gas Abatement with Microalgae";
- Formar recursos humanos em níveis de graduação, mestrado e doutorado, com visão integrada para atuar na área de biofixação de CO_2 por microalgas;
- Aumentar a produção científica na área de biofixação de CO_2 por microalgas, com a publicação de artigos em periódicos nacionais e internacionais.

2. DESENVOLVIMENTO DO RELATÓRIO

O desenvolvimento deste relatório foi dividido em três partes, que para fins de melhor entendimento foram numeradas de 2.1 a 2.3.

Na primeira parte está apresentado uma revisão bibliográfica sobre fundamentos envolvidos no projeto, adaptação da infraestrutura do Laboratório de Engenharia Bioquímica – LEB da FURG e a compra e instalação de equipamentos solicitados.

Na segunda etapa estão os trabalhos técnico-científicos realizados pelos vários professores, pós-doutores, mestrandos, doutorandos e estudantes de Engenharia Química, Engenharia Bioquímica e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, sob orientação dos profs Jorge Alberto Vieira Costa, Michele

Greque de Morais e Michele da Rosa Andrade Z. de Souza. São trabalhos de pesquisa onde os resultados obtidos foram utilizados como base para a escolha das melhores condições de cultivo microalgal visando otimizar a biofixação do gás carbônico emitido na CGTEE. Além disso, estudos visando a utilização de outros efluentes dessa empresa, como SO_x, NO_x e cinzas do carvão também foram realizados pela nossa equipe. As possíveis aplicações da biomassa microalgal produzida também foi tema de estudo, bem como a utilização dos possíveis resíduos do processo de biofixação e obtenção de bioprodutos da biomassa, a partir do uso para produção de biogás.

Na terceira parte deste relatório encontra-se o projeto técnico referente à transferência da planta de biofixação, containers e tanques para as proximidades da Chaminé da Fase C, o projeto executivo da conexão da fonte de gás à planta de biofixação com todos equipamentos e acessórios. Além disso, apresenta os resultados experimentais alcançados ao longo dos cultivos realizados na Planta Piloto com os gases de combustão emitidos na Fase C, os quais foram injetados nos cultivos de microalgas.

Desta forma, após concluídas essas etapas, o projeto de biofixação por microalgas do gás carbônico emitido na CGTEE apresenta-se como um projeto de excelência como nenhum outro existente na América do Sul, fechando o ciclo de sustentabilidade, onde os efluentes aéreos da CGTEE são utilizados como nutrientes para produção de biomassa com potencial para obtenção de bioprodutos de alto valor agregado e produção de energia.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA; ADAPTAÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA DO LEB E COMPRA E INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

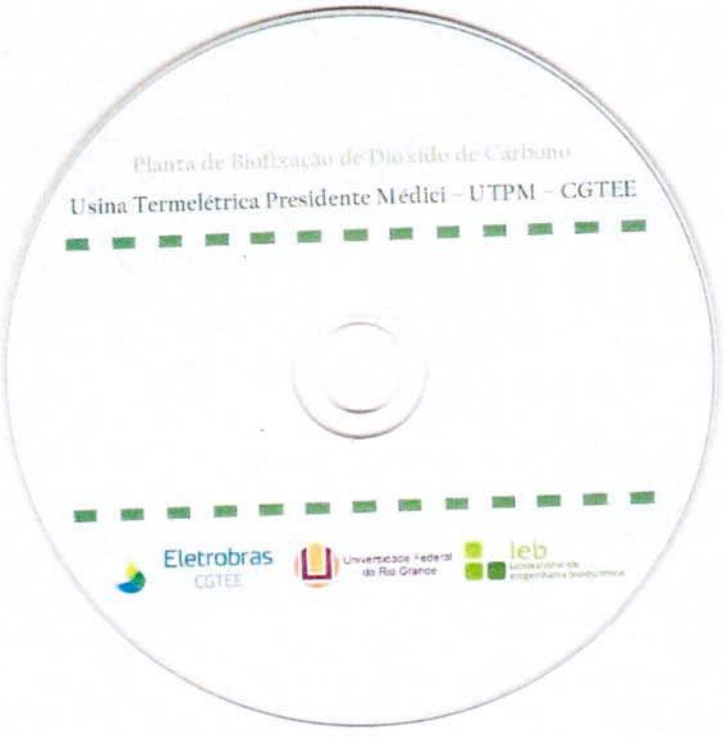
2.1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE FUNDAMENTOS ENVOLVIDOS NO PROJETO

Desde a assinatura do convênio em 14 de março de 2012, a equipe executora do LEB/FURG fez uma revisão bibliográfica sobre tema "Biofixação de Gás Carbônico por Microalgas", e como produto desta revisão foi confeccionado uma Base de Dados contendo:

- Histórico do Laboratório de Engenharia Bioquímica- LEB/FURG;
- Histórico do Convênio CGTEE/FURG/LEB, com principais produtos, como artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais e patentes obtidas com a execução dos convênios;
- Principais Referências com relação aos temas: Automação, Biomassa Proveniente de Cultivos com Gás de Combustão, Biofixação de Dióxido de Carbono, Condução de Cultivos, Configurações de Fotobiorreatores, Seleção e Isolamento de Microalgas.

A Base de Dados está apresentada em forma digital, conforme Figura 1

Figura 1: Base de Dados atualizada com relação aos temas envolvidos no presente projeto



2.1.2 ADAPTAÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA DO LABORATÓRIO DE ENGENHARIA BIOQUÍMICA

A equipe do Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) reestruturou o LEB, tornando-o um laboratório com infraestrutura adequada para receber os novos equipamentos e para o desenvolvimento das atividades do projeto.

Para isso a equipe implantou novas rotinas, montando um banco de cepas de microalgas (Figura 2), padronizando metodologias analíticas para determinações da biomassa microalga e realizando seminários sobre procedimentos operacionais.

Além disso, em julho de 2012 foi finalizado o projeto-técnico arquitetônico para a construção do Centro de Estudos Avançados em Biofixação de CO_2 por Microalgas - CEB, como parte do Laboratório de Engenharia Bioquímica. As Figura 3,Figura 4 eFigura 5 mostram o projeto finalizado.

A FURG, através da Diretoria de Obras, realizou, através de licitações, a contratação de duas empresas para a execução das obras, porém, todas declararam falência. Com isso, após nova licitação, a obra de construção civil do CEB foi inicializada em abril de 2016, pela nova empresa contratada, estando atualmente na etapa de fundação, como visto na Figura 6.

Figura 2: Banco de cepas de microalgas do Laboratório de Engenharia Bioquímica

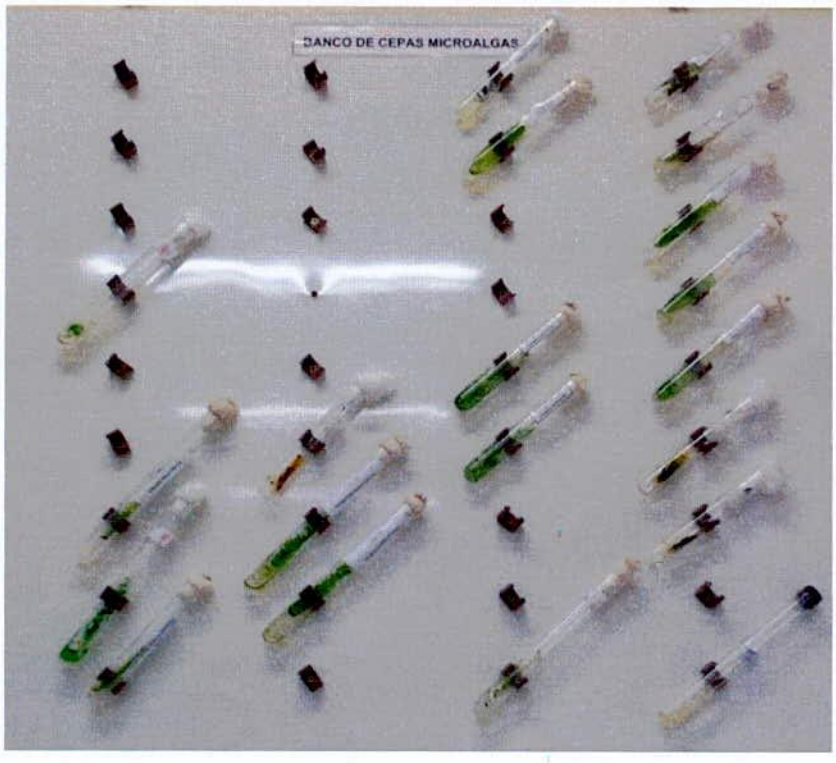


Figura 3: Projeto do Centro de Estudos Avançados em Biofixação de CO_2 por Microalgas (CEB) – Fachadas Sul e Norte

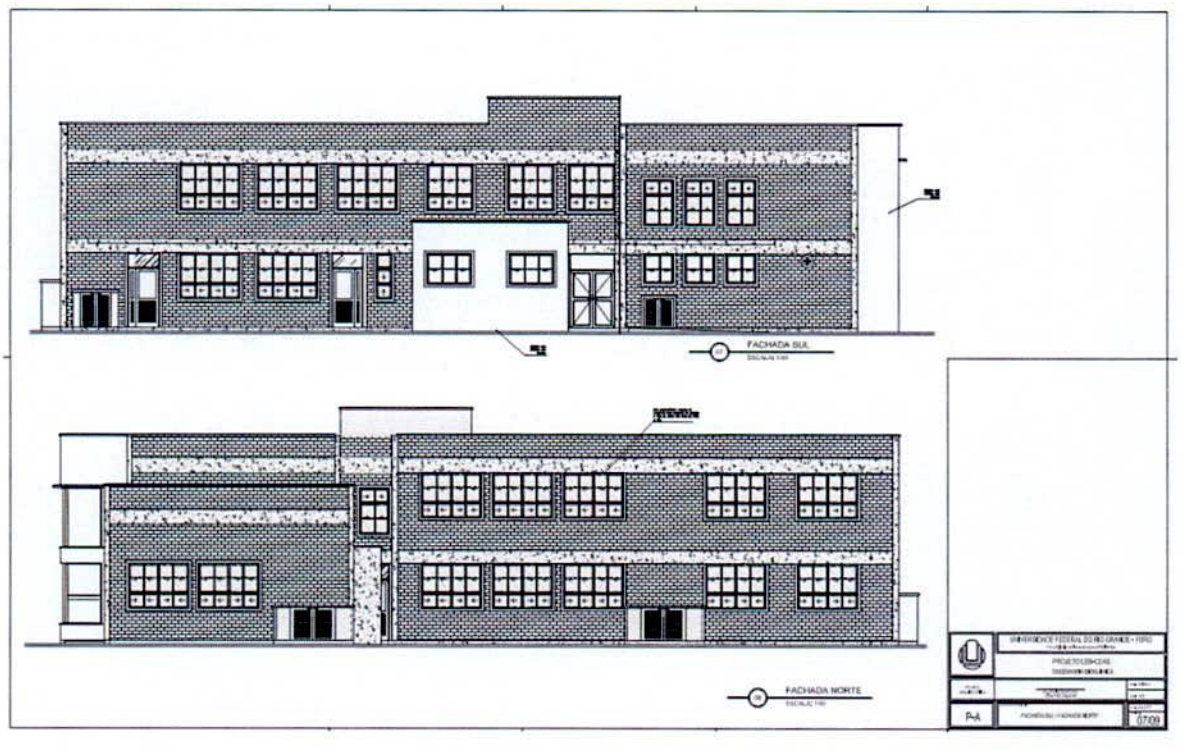


Figura 4: Projeto do Centro de Estudos Avançados em Biofixação de CO_2 por Microalgas (CEB) - Planta Baixa do Pavimento Térreo

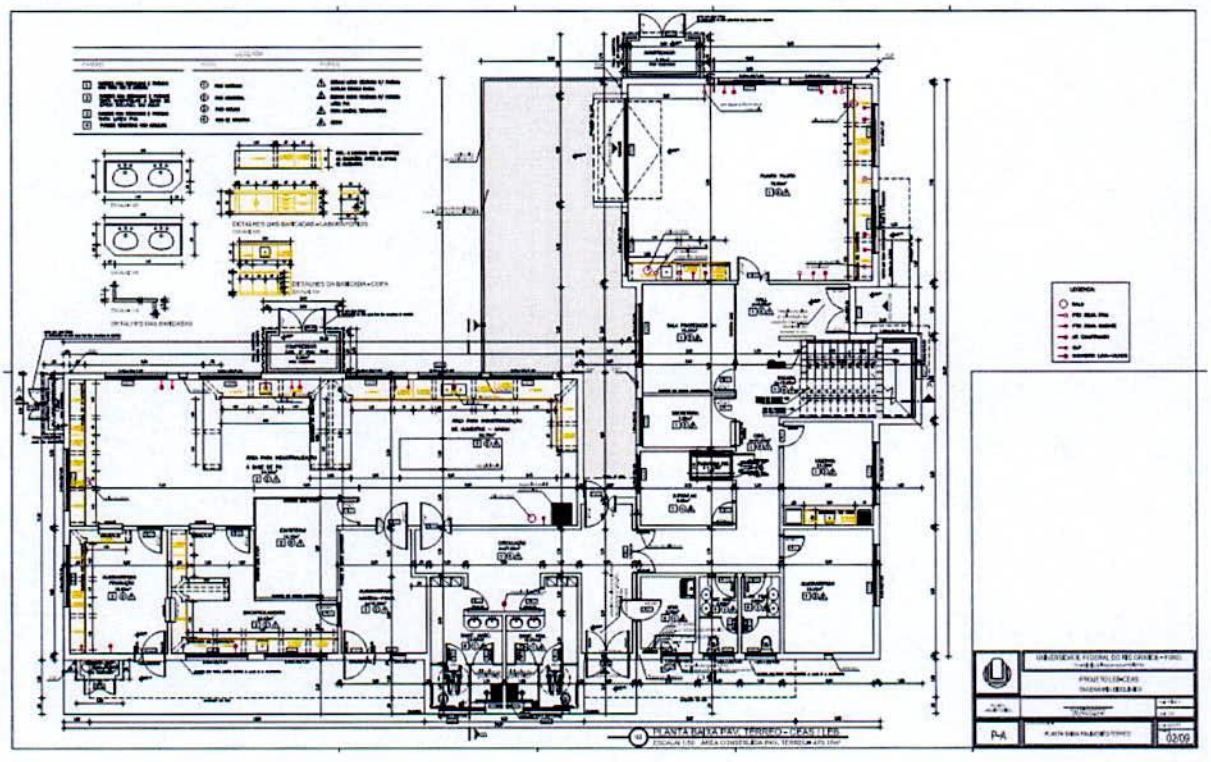


Figura 5: Projeto do Centro de Estudos Avançados em Biofixação de CO_2 por Microalgas (CEB) - Planta Baixa do Segundo Pavimento

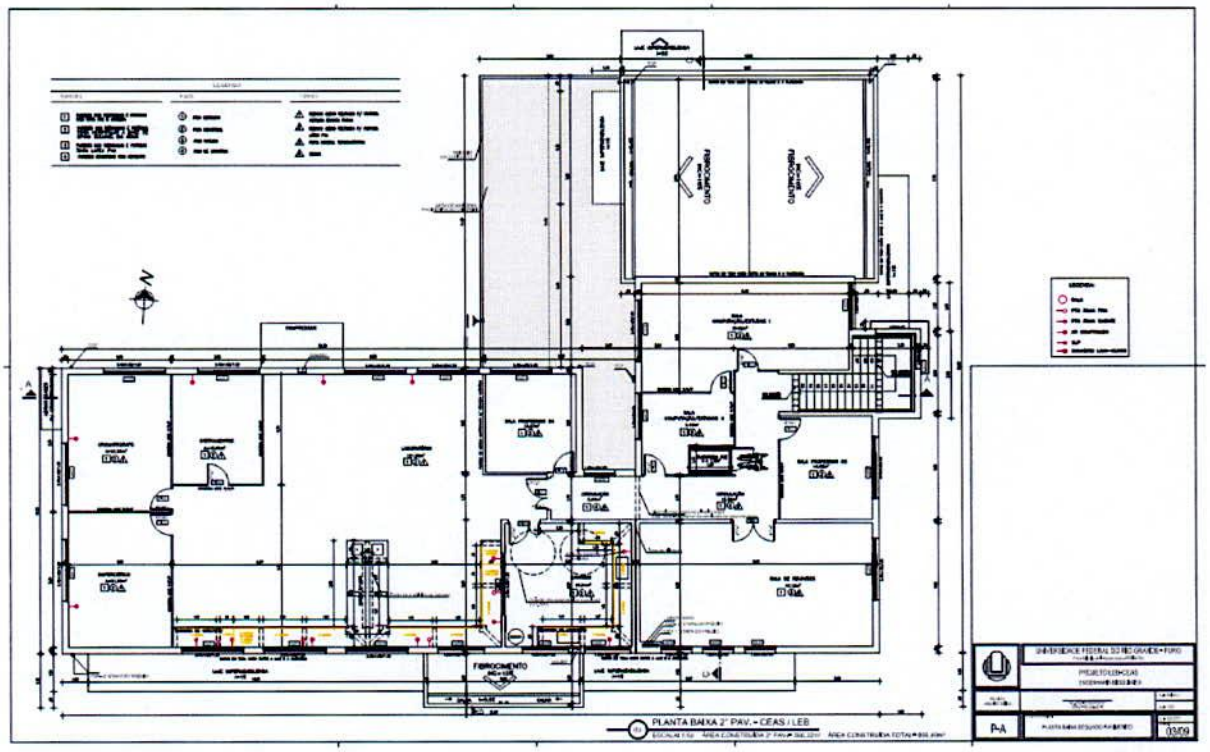


Figura 6: Construção do Centro de Estudos Avançados em Biofixação de CO_2 por Microalgas

2.1.3 COMPRA E INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS SOLICITADOS

Para aquisição de equipamentos, contratação de serviços e todos os gastos relativos ao presente convênio N. CGTEE/SEDE/022/2012, seguindo a Lei Federal 8666/93. Em função do carácter jurídico da Fundação de Apoio a Universidade do Rio Grande, do referido convênio e dos recursos alocados pela CGTEE, todos relativos a P&D, foi emitido então o parecer 063/2012, de 09/05/2012, pela Assessoria Jurídica da FAURG, relativo a despensa de licitação, conforme cópia a seguir.

FAURG – FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE
ASSESSORIA JURÍDICA

PARECER Nº 063/2012

Nos termos do art. 38, parágrafo único, da Lei Federal nº 8.666/93, esta Assessoria Jurídica manifesta-se quanto à execução do Projeto inscrito nesta Fundação de Apoio sob o nº 581, que trata de convênio firmado entre a Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Fundação de Apoio à Universidade do Rio Grande – FAURG, e a Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica – CGTEE, que tem por objeto "*operação da unidade de biofixação de gás carbônico por microalgas instalada na usina termelétrica Presidente Médici*", a fim de orientar no seguinte sentido:

Considerando que o Plano de Trabalho respectivo, proposto à Concedente para o firmamento do Convênio, se encontra registrado junto à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Convenente, o que permite seu enquadramento como "Projeto de Pesquisa", posto que respaldado por órgão que conta com indelegável competência técnica para definir quais atividades podem ser efetivamente enquadradas como "pesquisa";

Considerando a formalização, baseado neste mesmo Plano de Trabalho, de instrumento de convênio lícito e válido entre FURG – FAURG - CGTEE, que prevê como objeto a "(...) *a execução de serviços vinculados ao projeto do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da CGTEE intitulado 'OPERAÇÃO DA UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO POR MICROALGAS INSTALADA NA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE MÉDICI'*, prevendo, ainda, atividades de pesquisa nos objetivos específicos para execução de seu objeto;

Considerando que o referido instrumento obriga a Interveniente a promover aquisições de bens e insumos necessários à execução deste projeto nos termos da Lei Federal nº 8.666/93 e legislação correlata, uma vez que se trata do gerenciamento de recurso público e de acordo com o que é previsto pelo art. 3º, I, da Lei Federal nº 8.958/94;

Considerando que o referido Termo de Convênio obriga a Contratada, sobretudo, a garantir a perfeita execução dos projetos, assumindo inteira e exclusiva responsabilidade por sua exatidão e confiabilidade, zelando por todas as exigências especificadas;

Considerando que as instituições signatárias devem atuar na execução dos convênios e projetos com primazia à celeridade e à qualidade, com fim mor no estímulo à constante promoção de pesquisas e no consequente desenvolvimento tecnológico nacional;

1

FAURG – FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DO RIO GRANDE
ASSESSORIA JURÍDICA

Considerando que a legislação vigente respalda o atendimento desses requisitos de celeridade e qualidade, possibilitando a aquisição de bens e insumos que se destinem exclusivamente à execução de projetos de pesquisa científica e tecnológica mediante dispensa de licitação, sendo os recursos financeiros oriundos do Capes, Finep, CNPq, ou outra instituição de fomento à pesquisa credenciada pelo CNPq para esse fim – onde se enquadra a CGTEE, nos termos do art. 24, XXI, da Lei Federal nº 8.666/93;

OPINO no sentido de que plenamente possível e **lícita** a aquisição, mediante **dispensa de licitação**, de bens e insumos necessários à execução do projeto em tela, **uma vez que resta claro que efetivamente se trata de projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, com pleno resguardo no art. 24, XXI, da Lei Federal nº 8.666/93 e no respaldo dos órgãos técnicos competentes.**

OPINO, ainda, pela possibilidade de extensão da presente orientação a demais projetos que se demonstrem claramente como sendo de pesquisa e desenvolvimento – constatação sujeita a manifestação e/ou registro por órgão técnico competente, desde que os respectivos bens e insumos a serem adquiridos sejam exclusivamente destinados à execução desse tipo de projeto, bem como sejam os recursos financeiros que custearão a despesa oriundos do Capes, Finep, CNPq ou instituição de fomento à pesquisa devida e regularmente credenciada junto ao CNPq.

Rio Grande, 09 de maio de 2012.

Thiago Cardozo Costa,
Assessor Jurídico – OAB/RS nº 75.154.

2

Assim, a aquisições foram realizadas pelo levantamento de, no mínimo 3 orçamentos atualizados, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Orçamentos dos equipamentos que foram adquiridos pelo projeto.

EQUIPAMENTO	QUANT	PROJETO (R$)	VALOR 1 (R$)	FORNECEDOR 1	VALOR 2 (R$)	FORNECEDOR 2	VALOR 3 (R$)	FORNECEDOR 3
Autoclave vertical	1	8.000,00	9.009,00	Sp labor, 137L	11.758,77	Quimis, 137L	8.000,00	Wf científica, 100L
Balança analítica	1	4.000,00	4.000,00	wf cientifica-schimadzu	4.500,00	Instrulab, marca gibertini	4.711,00	ARB-110 Toledo Brasil
Balança semi-analítica	1	3.500,00	3.300,00	AR-2140 - Toledo Brasil (anselmo.ferreira@toledobrasil.com.br)	3.000,00	wfcientifica-shimadzu	3.300,00	aprolab http://www.aprolab.com.br/produto/balanca-semi-analitica-0-001-g-cap-330-g-mod-m333.html
Bomba de alto vácuo de parafuso	1	8.000,00						
Calorímetro	1	50.000,00	50.000,00	modelo C200 - Labcontrol				
Centrífuga semi-contínua para escala piloto	1	80.000,00	88.689,40	CEPA Z41-Preci Labo				

Compressor de ar	1	10.000,00	9.390,00	Schulz msw60 - Rei dos compressores	9.116,00	Compressor schulz msw60 - Nowak	9.592,00	Compressor schulz msw60 - Loja do mecânico
Computador de mesa	2	5.000,00	2.521,00	HP touch smart Dual core A4-3400, HD 750GB, 4gb memoria Win 7- Intel soluções	2.299,00	Dell vostro 260 slim core i5, win 7, 6GB, 1TB - DELL	2.542,00	HP Core i5, 1TB, win 7, 4GB - FAST SHOP
Condicionador de ar split	4	14.890,00	3.790,00	36.000 btus frio, monofásico eletrolux catral	3.514,05	36.000 btus frio monofásico carrier- multi-ar	3.500,00	CLIMA SUL Rio grande- preço com instalação quente e frio e 30.000 btus
Espectrofôtometro	1	10.000	10.181,00	Shimadzu – Shimadzu corporation	26.500,00	UV/visível com varredura largura da banda 4NM- sp labor	12.500,00	Espectrofotometro uv/visivel modelo uv 330g - multitec vendas2@multitecrs.com.br
Estufa para cultivo	1	2.500,00	2.178,95	Quimis, 150L	2.527,00	Sp labor, 80L	2.200,00	81L - Multitec
Estufa de secagem	1	5.500,00	4.700,00	Sp labor100L com circulação e	5.500,00	Wf cientifica 100L - De Leo	5.467,00	150 L - Multitec

				renovação de ar				
Freezer 400 L	1	1.500,00	1.559,00	519L consul – Colombo	1.599,00	404L consul - Ponto Frio	1.599,00	420L Venax - Compra fácil
Liofilizador de bancada	1	55.000,00	38.000,00	Aisi 304 - LIOTOP	41.780,80	Edwards	38.000,00	Terroni- LS 3000 - E
pHmetro digital portatil c/ compensação de temperatura	2	3.000,00	1.099,00	Multitec				
Refrigerador 420 L	1	1.500,00	1.499,00	Continental frost free, duplex 403L – Magazine luiza	1.459,00	Continental frost free, duplex 403L - Colombo	1.599,00	GE duplex 467L - Ponto Frio
TOTAL EQUIPAMENTOS								**262.390,00**

2.2 ATIVIDADES TÉCNICO-CIENTÍFICAS REALIZADAS DURANTE A EXECUÇÃO DO PROJETO

2.2 ATIVIDADES TÉCNICO-CIENTÍFICAS REALIZADAS DURANTE A EXECUÇÃO DO PROJETO

Em função do projeto em parceria com a CGTEE, diversos aspectos relacionados a biofixação do CO_2, proveniente do gás de combustão gerado pela termelétrica devido a queima do carvão mineral, foram estudados a fim de otimizar a redução da emissão desse gás para o meio ambiente. Além da otimização de remoção biológica de gás carbônico, nos temas de pesquisa foram adicionados estudos referentes a aplicação da biomassa formada, bem como dos resíduos não aplicáveis produzidos pelo processo. Desta forma, o cultivo microalgal para biofixação de CO_2 se torna um sistema autossustentável, ambientalmente correto e economicamente viável.

Além dos resultados de pesquisa apresentados abaixo, foram gerados como produto desta parceria 1 projeto de graduação e 8 dissertações de mestrado finalizados, e 1 tese de doutorado em andamento onde está sendo desenvolvido um aspersor de cinzas peletizadas para enriquecimento de CO_2 para cultivo microalgal, além da complementação da formação de 6 estudantes de graduação que realizaram iniciação científica neste tema. Diversos trabalhos relacionados ao projeto foram divulgados em congressos científicos regionais, nacionais e internacionais.

Neste sentido, foram realizados isolamento de microalgas da Lagoa de Estabilização da CGTEE, bem como dos fotobiorreatores que se encontravam desativados. Microalgas que já se encontram expostas ao ambiente contendo alta concentração de gases apresentam maior resistência a essas condições, possibilitando a obtenção de cepas com maior capacidade de remoção do gás.

Afim de melhorar as condições do cultivo microalgal para estimular maior mitigação do gás de combustão, juntamente com a fixação biológica foi realizado a fixação química. Aliando esses dois tipos de fixação, o gás foi retido por um período maior no meio de cultivo, possibilitando maior tempo de exposição com a microalga e consequentemente estimulando a maior utilização do gás.

O tipo de difusor (aspersor de ar) utilizado nos cultivos microalgais, são indispensáveis para maior biofixação de gás de combustão. De acordo com o difusor adotado o tamanho das bolhas de gás variam consideravelmente, e consequentemente a solubilização do gás e disponibilização para a microalga.

Visando ainda reduzir os resíduos sólidos da CGTEE, foi estudado a adição de cinzas aos cultivos, o que em grande escala pode diminuir significativamente esse efluente. Outra aplicação para as cinzas são o desenvolvimento de pellets de cinzas para

enriquecimento do CO_2 e utilização nos cultivos, que vem sendo desenvolvido em uma tese de doutorado.

Finalizando o ciclo de sustentabilidade do cultivo microalgal para biofixação de gás carbônico, estudamos a concepção de uma biorrefinaria microalgal, para potencial utilização e aplicação da biomassa gerada, e a produção de biogás para termos um destino aos resíduos da biorrefinaria.

2.2.1 TRABALHOS FINALIZADOS RELATIVO AO PROJETO BIOFIXAÇÃO DE CO_2 EMITIDO NA GERAÇÃO DE ENERGIA TERMELÉTRICA

2.2.1.1 ISOLAMENTO E CULTIVO DE MICROALGAS DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO DA CGTEE

Inicialmente foi realizado o isolamento de microalgas provenientes da Lagoa de Estabilização da Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE). Estes micro-organismos foram cultivados utilizando gases de combustão do carvão proveniente da geração termelétrica.

2.2.1.1.1 Material e Métodos

As amostras de água foram coletadas em diferentes pontos das lagoas de decantação (Lagoa 1 e 2,Figura 7) e de biorreatores desativados (Figura 8), localizados na CGTEE, latitude 24°36'13"S e longitude 52°32'43"W, em Candiota, RS. As amostras foram coletadas em frascos estéreis e encaminhadas ao Laboratório de Engenharia Bioquímica da FURG. Após, as amostras foram inoculadas em tubos de ensaio, *Erlenmeyer*, com e sem aeração, em diferentes meios de cultivo.

Figura 7: Lagoas de decantação da UTPM/CGTEE

Figura 8: Fotobiorreatores do tipo *Raceway* – Antiga planta piloto de produção de biomassa microalgal localizada nas proximidades da torre de resfriamento das Fases A e B - Usina Termelétrica Presidente Médici, Candiota/RS.

Os meios de cultivo BG-11, Bristol's Modificado (MBM), F e Zarrouk foram utilizados na inoculação, a fim de disponibilizar condições favoráveis para o crescimento de diferentes espécies de microalgas. As amostras foram mantidas em estufa termostatizada a 30 °C, com fotoperíodo 12h claro/ escuro e iluminância de 3200 lx mantido por lâmpadas fluorescentes de 40 W tipo luz do dia. Após a detecção do crescimento de microalgas, procedeu-se o isolamento das mesmas, através da técnica de diluições em série, que consiste na inoculação de uma única célula em cada frasco de cultivo, mediante número previsível de diluições.

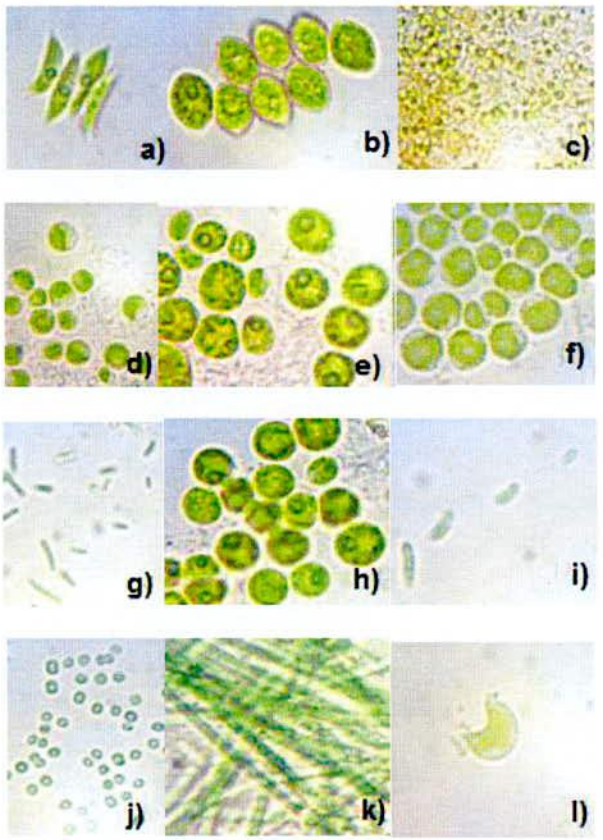
Foram realizados cultivos com as microalgas do laboratório e isoladas. As microalgas utilizadas no estudo foram *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 isolada das lagoas de decantação da CGTEE. As microalgas foram mantidas e cultivadas em meio Zarrouk e BG-11 modificados, respectivamente, sendo as fontes de carbono substituídas por CO_2 comercial (White Martins - Brasil) e pelo CO_2 contido no gás de combustão nos diferentes experimentos realizados. O gás de combustão foi captado na chaminé, comprimido e levado para o Laboratório de Engenharia Bioquímica da FURG. Também foram realizados experimentos utilizando o meio de cultivo padrão de cada microalga. Os cultivos foram realizados em duplicata, em biorreatores fechados (volume útil de 1,8 L) e em biorreatores abertos do tipo *Raceway* (volume útil de 5L). Os ensaios foram conduzidos *outdoor,* cobertos por estufa de filme transparente com proteção UV, durante 10 d. A concentração inicial nos cultivos foi 0,20 $g.L^{-1}$.

Ao final dos experimentos, parâmetros cinéticos foram avaliados, tais como concentração celular máxima, produtividade máxima, velocidade específica máxima de crescimento e tempo de geração. A biomassa produzida foi centrifugada, lavada com água destilada, desidratada e congelada para posterior caracterização. Além disso, foi realizado o cálculo de biofixação de CO_2 pelas microalgas, baseando-se na concentração de carbono da biomassa final, obtida através da análise elementar CHNS.

2.2.1.1.2 Resultados

Foram isoladas 12 cepas diferentes, sendo enviadas para identificação em laboratório especializado. A Figura 9 mostra as cepas enviadas para identificação.

Figura 9: Cepas enviadas para identificação (aumento de 100x): a) Biorreator meio BG-11; b) Biorreator meio BG-11; c) Lagoa 2 meio BG-11; d) Biorreator meio BG-11; f) Biorreator meio BG-11; f) Lagoa 2 meio Zarrouk; g) Lagoa 2 meio Zarrouk; h) Biorreator meio Zarrouk; i) Lagoa 2 meio F; j) Lagoa 2 meio BG-11; k) Lagoa 2 meio F; l) Biorreator meio MBM.



Entre as cepas enviadas para identificação (Figura 9) foi possível identificar 10 espécies diferentes de microalgas, sendo elas *Chlorella fusca* LEB 111, *Chlorella vulgaris* LEB 112, *Chlorella kessleri* LEB 113, *Chlorella minutissima* LEB 114, *Synechococcus nidulans* LEB 115, *Scenedesmus obliquus* LEB 116, *Scenedesmus actus* LEB 117, *Synechocystis salina* LEB 118, *Selenastrum capricornutum* LEB 119 e *Jaaguinema geminatum* LEB 120.

A microalga *Spirulina* obteve melhores resultados de produtividade (0,153 $g.L^{-1}.d^{-1}$), velocidade específica máxima de crescimento (0,217 d^{-1}), concentração celular máxima (1,299 $g.L^{-1}$) e tempo de geração (3,245 d) nos cultivos com fonte de carbono padrão do meio de cultura realizados em biorreatores fechados. A microalga *Chlorella fusca* LEB 111 cultivada em biorreatores fechados, obteve produtividade máxima 0,079 $g.L^{-1}.d^{-1}$, velocidade específica máxima de crescimento 0,235 d^{-1}, e tempo

de geração 2,946 d, para o cultivo utilizando CO_2 como fonte de carbono e concentração máxima de 0,919 $g.L^{-1}$ com gás de combustão.

Spirulina sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 apresentaram crescimento em todas as fontes de carbono estudadas. Sendo assim, é possível substituir a fonte de carbono do meio padrão destas microalgas pelo CO_2 presente no gás de combustão. Através deste estudo, verifica-se que é possível contribuir com a redução dos gases de efeito estufa na atmosfera através do cultivo destas microalgas, produzindo biomassa para diversos fins biotecnológicos.

2.2.1.2 FIXAÇÃO QUÍMICA E BIOLÓGICA DE CO_2 UTILIZADAS NO CULTIVO DE *Spirulina* LEB 18

Esta etapa teve o objetivo de pesquisar, estudar e abordar fatores que envolvem a fixação química e biológica de dióxido de carbono (CO_2), bem como o reciclo dos nutrientes do meio, a fim de serem obtidas maiores conversões de CO_2 em biomassa microalgal.

2.2.1.2.1 Material e Métodos

O meio de cultivo utilizado foi o meio Zarrouk (ZARROUK, 1966) sem fonte de carbono e a microalga foi *Spirulina* sp. LEB 18 (MORAIS et al., 2008). O trabalho foi dividido em três etapas. Na primeira etapa foram testadas as concentrações de monoetanolamina (MEA) (4,92, 3,28, 1,64, 1,23, 0,82, 0,41, 0,20, 0,10 $mmol.L^{-1}$) e hidróxido de sódio (NaOH) (4,92, 3,28, 1,64 $mmol.L^{-1}$) toleráveis à microalga. Estes ensaios foram realizados em biorreatores tipo *Erlenmeyer* de 0,250 L, em modo descontínuo, à 30 °C, iluminância de 3,2 klx, fotoperíodo 12 h claro/12 h escuro, por 5 d.

Na segunda etapa foi utilizado fotobiorreatores tubulares verticais (FBRT), adequados para biofixação de CO_2, com as concentrações de MEA e de NaOH (0,41, 0,20, 0,10 $mmol.L^{-1}$) selecionadas na primeira etapa. Esta etapa foi conduzida em modo descontínuo, por 13 d, à 30 °C, iluminância de 3,2 klx, fotoperíodo 12 h claro/12 h escuro, com injeção de CO_2 (0,36 $mL_{CO2}.mL_{meio}^{-1}.d^{-1}$). A terceira etapa foi realizada em modo semicontínuo, com adição de MEA (0,20 $mmol.L^{-1}$ por corte), 0,5 $g.L^{-1}$ de concentração celular de corte e 0,5 de fração volumétrica de reciclo de meio, com duração de 24 d, à 30 °C, iluminância de 3,2 klx, 12 h claro/12 h escuro, com injeção de CO_2 (0,36 $mL_{CO2}.mL_{meio}^{-1}.d^{-1}$).

Os ensaios foram monitorados quanto à concentração celular (COSTA et al., 2002), pH e concentração de carbono inorgânico dissolvido (CID) (CARMOUZE, 1994). Os parâmetros de cultivo avaliados foram a concentração celular máxima, produtividade máxima de biomassa, velocidade específica de crescimento, tempo de geração, taxa de biofixação de CO_2 e eficiência de utilização do CO_2. Ao final dos ensaios a biomassa foi recuperada por centrifugação, seca por liofilização e caracterizada quanto à concentração elementar de carbono (BAUMGARTEN et al., 2010), concentração de proteínas (LOWRY et al., 1951), lipídios (FOLCH et al., 1957), carboidratos (DUBOIS et al., 1956) e umidade (AOAC, 2000).

2.2.1.2.2 Resultados

Na primeira etapa, as concentrações de 0,10, 0,20 e 0,41 $mmol.L^{-1}$ de MEA, frente a concentração celular inicial de 0,20 $g.L^{-1}$, foram às que não causaram morte celular de *Spirulina* sp. LEB 18. Para o NaOH, nem mesmo as maiores concentrações testadas deste absorvente (4,92, 3,28, 1,64 $mmol.L^{-1}$) causaram morte celular. Logo, as três menores concentrações testadas com MEA foram selecionadas na primeira etapa.

Na segunda batelada de ensaios obteve-se a concentração de CID, pelos ensaios com MEA, duas vezes maior à obtida no ensaio controle. Com isso, foram obtidas eficiências médias de utilização de CO_2 na presença de MEA e de NaOH, em torno de 30 %. Nesta etapa o teor proteico médio na biomassa de *Spirulina* cultivada com MEA (aproximadamente 75,0 % $m.m^{-1}$) foi superior as biomassas produzidas com NaOH (aproximadamente 64,0 % $m.m^{-1}$). A concentração média de lipídios obtidos nas biomassas de *Spirulina* cultivadas com MEA (aproximadamente 10,0 % $m.m^{-1}$) e a NaOH (aproximadamente 10,5 % $m.m^{-1}$). O teor médio de carboidratos, nesta etapa, foi superior quando foi adicionado NaOH (cerca de 11,6 % $m.m^{-1}$), em torno de 3,5 % maior que os ensaios adicionados com MEA.

Na terceira etapa, os ensaios com adição de MEA proporcionaram os melhores resultados de tempo de geração (2,14 d), produtividade de biomassa (62,1 $mg.L^{-1}.d^{-1}$), biomassa gerada (3,35 g), taxa de biofixação de CO_2 (113,8 $mg.L^{-1}.d^{-1}$) e eficiência de utilização de CO_2 (17,2 %) em relação ao ensaio controle (sem adição de absorvente químico). A concentração de proteínas no ensaio com adição de MEA foi em torno de 37,0 % inferior ao ensaio controle, todavia a concentração de carboidratos obtidos foi quase 96,0 % superior.

Spirulina sp. LEB 18 não foi inibida nas concentrações de 0,10, 0,20 e 0,41 $mmol.L^{-1}$ de MEA e em nenhuma concentração de NaOH. As concentrações de lipídios

obtidos nas biomassas cultivadas com MEA e a NaOH são superiores aos valores encontrados com este gênero na literatura. Os maiores resultados cinéticos, de biofixação de CO_2 e concentração de carboidratos (96,0% superior ao ensaio controle) na batelada semicontínua foram obtidos com adição de MEA. Frente ao apresentado, acredita-se que *Spirulina* sp. LEB 18 pode ser produzida com adição de absorvente químico de CO_2, reciclo de nutrientes e promover a redução das emissões de CO_2 com seu cultivo. Desta forma, a microalga *Spirulina* poderá vir a ser empregada não só em seguimentos de enriquecimento proteico, mas também em áreas que requeiram maiores concentrações de lipídios e carboidratos, como a produção de biocombustíveis.

2.2.1.3 AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE BIOFIXAÇÃO DE CO_2 POR MICROALGAS ATRAVÉS DO ESTUDO DE DIFERENTES VAZÕES DE ALIMENTAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DE DIFUSORES

Nesta parte do projeto foi utilizado diferentes configurações de difusores e vazões específicas de alimentação da corrente gasosa visando promover o aumento da eficiência de biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18.

2.2.1.3.1 Material e Métodos

O trabalho foi dividido em duas etapas descritas a seguir:

Na primeira etapa as variáveis de estudo foram 2 (duas) vazões específicas de alimentação da corrente gasosa (0,05 e 0,3 vvm), composta pela mistura de ar comprimido e CO_2, aplicadas a 4 (quatro) configurações de difusores (pedra sinterizada, cortina porosa, anel perfurado e madeira porosa), estes utilizados para a injeção da mistura nos cultivos da microalga *Spirulina*.

Em uma segunda etapa, foi desenvolvido um sistema composto por membranas de fibra oca (MFO) para alimentação do CO_2 aos ensaios de *Spirulina* em dois modos de agitação (aeração e mecânica). Estes ensaios foram avaliados quanto ao seu desempenho e comparados aos ensaios controle (CT) com difusor padrão (pedra sinterizada).

A microalga utilizada neste estudo foi a *Spirulina* sp. LEB 18 (MORAIS et al., 2008) mantida em meio Zarrouk (ZARROUK, 1966) ausente da fonte de carbono original ($NaHCO_3$) e adaptada ao CO_2 como fonte de carbono, este injetado a uma taxa específica de alimentação de 0,12 $mL_{CO2}.mL_{meio}^{-1}.d^{-1}$.

Os ensaios foram conduzidos em modo descontínuo em fotobiorreatores tubulares verticais (FBRTv), com volume de trabalho de 1,7 L, mantidos a 30 °C, fotoperíodo 12 h claro/escuro, iluminância de 3,2 klx (MORAIS; COSTA, 2007a), durante 15 d. No período claro, os ensaios foram alimentados com CO_2 a uma taxa específica de alimentação de 0,15 $mL_{CO2}.mL_{meio}^{-1}.d^{-1}$.

Os ensaios foram monitorados quanto à concentração celular (COSTA et al., 2002), pH e concentração de carbono inorgânico dissolvido no meio (CID) (CARMOUZE, 1994). As respostas avaliadas dos cultivos de *Spirulina* foram os parâmetros de crescimento (concentração celular máxima ($X_{máx,}$ $g.L^{-1}$), cinéticos (produtividade máxima de biomassa ($P_{máx}$, $mg.L^{-1}.d^{-1}$), velocidade específica de crescimento ($\mu_{máx}$, d^{-1}) e tempo de geração (tg, d)) e de biofixação de CO_2 (taxa de biofixação de CO_2 (T_{CO2}, $mg.L^{-1}.d^{-1}$) e eficiência de utilização do CO_2 (E_{CO2}, % $m.m^{-1}$)).

Ao final dos ensaios a biomassa recuperada por centrifugação e seca por liofilização foi caracterizada quanto à concentração de carbono elementar (C, % $m.m^{-1}$) (BAUMGARTEN et al., 2010), proteínas (LOWRY et al., 1951), lipídios (FOLCH et al., 1957), carboidratos (DUBOIS et al., 1956), umidade e cinzas (AOAC, 2000).

2.2.1.3.2 Resultados

Na primeira batelada de ensaios, a máxima produtividade de biomassa ($P_{máx}$) (125,9 ± 5,3 $mg.L^{-1}.d^{-1}$) foi verificada no ensaio com a menor vazão específica de alimentação da corrente gasosa (0,05 vvm) e o difusor cortina porosa. Os maiores resultados de taxa de biofixação de CO_2 (T_{CO2}) e eficiência de utilização de CO_2 (E_{CO2}) foram observados na vazão de 0,05 vvm para difusores porosos (pedra sinterizada, cortina porosa e madeira porosa). A máxima concentração de proteínas (78,6 ± 0,1 % $m.m^{-1}$) na biomassa foi verificada no ensaio com a madeira porosa e vazão de 0,05 vvm. O emprego do difusor cortina porosa e o aumento da vazão para 0,3 vvm resultaram no incremento de 26 % no teor de carboidratos da biomassa de *Spirulina*.

Na segunda etapa deste trabalho foi possível desenvolver e empregar o sistema composto por MFO para alimentação de CO_2 no cultivo de *Spirulina*. O ensaio com o sistema de MFO apresentou maior acúmulo de carbono inorgânico dissolvido no meio (CID) (127,4 ± 6,1 $mg.L^{-1}$) na vazão de ar de 0,05 vvm e também maiores resultados de $P_{máx}$ (131,8 ± 1,9$mg.L^{-1}.d^{-1}$), T_{CO2} (231,6 ± 2,1$mg.L^{-1}.d^{-1}$) e E_{CO2} (86,2 ± 0,8 % $m.m^{-1}$) quando comparados ao ensaio controle (CT) para a mesma vazão. Em relação à composição da biomassa, o ensaio CT na vazão específica de ar de 0,3 vvm apresentou o máximo teor de lipídios (11,9 ± 0,6 % $m.m^{-1}$), tendo este acréscimo de 65 % em

comparação ao ensaio com MFO para a mesma vazão. A aplicação de menor vazão de ar (0,05 vvm) para a agitação do ensaio com MFO proporcionou aumento de 58 % no teor de lipídios na biomassa da microalga.

Com os resultados obtidos foi possível verificar que a aplicação de difusores porosos e sistema de membranas de fibra oca concomitantemente com a menor vazão de alimentação da corrente gasosa e de agitação, respectivamente, no cultivo de *Spirulina* podem resultar em maiores produtividades de biomassa e taxas de biofixação de CO_2, contribuindo com redução de custos de processo para a produção de biomassa, bem como para a atenuação das emissões deste gás de efeito estufa para atmosfera.

2.2.1.4 CULTIVO DE MICROALGAS COM EFLUENTES GASOSOS E RESÍDUOS SÓLIDOS DE ORIGEM TERMELÉTRICA

O objetivo desse estudo foi avaliar a biofixação de CO_2 por microalgas cultivadas com gás de combustão e cinzas provenientes da Usina Termelétrica Presidente Médici.

2.2.1.4.1 Material e Métodos

As microalgas *Spirulina* sp. LEB 18, isolada da lagoa mangueira (latitude 33°31'08"S e longitude 53°22'05"W) (MORAIS et al., 2008) e *Chlorella fusca* LEB 111 isolada da lagoa de estabilização de efluentes e resíduos da UTPM (Candiota, RS), foram utilizadas neste estudo. *Spirulina* sp. LEB 18 foi cultivada com meio Zarrouk e *Chlorella fusca* LEB 111 foi cultivada com meio BG11. Foram utilizados meios de cultivos modificados, em que a fonte de carbono original do meio Zarrouk (16,8 gL^{-1} de bicarbonato de sódio – $NaHCO_3$) ou BG11 (0,02 gL^{-1} de carbonato de sódio - Na_2CO_3) foi totalmente substituída por CO_2 comercial (MORAIS; COSTA, 2007b) com 10% (v/v) de pureza ou gás de combustão de carvão.

O gás de combustão e resíduos sólidos (cinzas de carvão mineral) foram fornecidos pela UTPM. O gás de combustão da queima de carvão foi coletado de uma derivada junto à chaminé de emissão de gases, referente à fase com potência de 126 MW. Este gás foi comprimido em cilindro utilizando compressor portátil com pressão de 10 bar. As cinzas foram coletadas nos silos de armazenamento da Fase C, onde são captadas por filtros eletrostáticos, para atender o padrão de emissão de resíduos sólidos estabelecido pelo licenciamento ambiental (ELETROBRAS/ CGTEE).

Os cultivos foram conduzidos de forma descontínua em fotobiorreatores fechados de 2 L, com volume útil de 1,8 L e concentração microalgal inicial 0,2 gL^{-1}. A temperatura

foi mantida à 30 °C em câmara termostatizada com fotoperíodo de 12 h claro/escuro e 43,2 µmol m^{-2} s^{-1} de iluminância fornecidos por lâmpadas fluorescentes (General Eletric). A agitação das culturas foi realizada por meio de ar comprimido estéril misturado ao gás disposto em cilindro industrial (White Martins, Brasil) com vazão de 0,05 vvm contendo 10% (v/v) de CO_2 ou gás de combustão. O ar foi injetado aos cultivos através de aspersor de cortina porosa fixada na base dos fotobiorreatores (1,0 cm de diâmetro e 10,0 cm de comprimento). Os gases foram adicionados as culturas durante 10 min a cada 2 h no período claro de cultivo. As cinzas foram adicionadas aos meios de cultivo na concentração de 40 ppm. Os cultivos foram realizados em duplicata com duração de 12 d.

A concentração de biomassa monitorada diariamente foi determinada através da leitura da densidade ótica das culturas a 670 nm em espectrofotômetro (QUIMIS Q798DRM), com curva de calibração que relaciona densidade ótica com peso seco de biomassa para cada microalga. O pH dos cultivos foi determinado a cada 24 h com pHmetro digital (LUTRON PH-221). A concentração de carbono, hidrogênio e nitrogênio na biomassa foi determinada para cada tratamento (Tabela 2), utilizando analisador elementar CHNS/O (Perkin-Elmer 2400, USA), para fins de cálculo da biofixação de CO_2.

Tabela 2: Tratamentos realizados para cada microalga.

Microalga	Fonte de carbono
Spirulina sp. LEB 18	$NaHCO_3$
	Gás de combustão
	Dióxido de carbono
	$NaHCO_3$ + 40 ppm cinzas
	Gás de combustão + 40 ppm cinzas
	Dióxido de carbono + 40 ppm cinzas
Chlorella fusca LEB 111	Na_2CO_3
	Gás de combustão
	Dióxido de carbono
	Na_2CO_3 + 40 ppm cinzas
	Gás de combustão + 40 ppm cinzas
	Dióxido de carbono + 40 ppm cinzas

Os parâmetros cinéticos do cultivo foram determinados e avaliados. Os valores de concentração de biomassa foram utilizados para determinar as velocidades específicas máximas de crescimento ($\mu_{máx}$, d^{-1}), concentrações celulares máximas ($X_{máx}$, gL^{-1}) e produtividades máximas ($P_{máx}$, $gL^{-1}d^{-1}$). O acúmulo de CO_2 fixado (FA, g_{co2}) e a fixação diária de CO_2 (FD, $g_{CO2\ fixado}/\ g_{CO2\ injetado}$.dia) também foram avaliados. Todos resultados foram avaliados através de Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação das médias dos parâmetros cinéticos, com nível de significância de 99% ($p \leq 0,01$).

2.2.1.4.2 Resultados

As microalgas apresentaram crescimento desde a inoculação em velocidade aproximadamente constante. Nos ensaios com a microalga *Spirulina* sp. LEB 18, a máxima concentração de biomassa foi obtida no cultivo com gás de combustão e resíduos sólidos (0,64±0,09 $g.L^{-1}$). No ensaio somente com gás de combustão obteve-se concentração de biomassa máxima de 0,63±0,09 $g.L^{-1}$, não havendo diferença significativa ($p>1,00$) do ensaio contendo gás e resíduos sólidos. A microalga *Spirulina* sp. LEB 18 apresentou resultados superiores em concentração de biomassa quando cultivada com gás de combustão, com ou sem cinzas, em comparação com a *Chlorella fusca* LEB 111, devido a maior disponibilidade do bicarbonato de sódio obtido a partir do CO_2, favorecido pelo pH do meio de cultivo. O pH dos ensaios com gás de combustão e com CO_2 manteve-se em torno de 8,2 e 10,8, antes e após a injeção do CO_2, respectivamente.

Nos demais ensaios a microalga *Chlorella fusca* LEB 111 apresentou resultados cinéticos ($X_{máx}$ 0,84±0,02; $P_{máx}$ 0,08±0,01; $\mu_{máx}$ 0,12±0,02) superiores a *Spirulina* sp. LEB 18. Nos ensaios de *Chlorella* fusca LEB 111 somente com gás de combustão ou contendo cinzas foram obtidos resultados cinéticos que não apresentaram diferença significativa dos cultivos com CO_2 ou meio padrão. A microalga *Chlorella fusca* apresentou maiores taxas de biofixação de CO_2 que a *Spirulina* sp. LEB 18, alcançando máximo de 42,8±0,04 % quando cultivada com CO_2. A biofixação de CO_2 dos cultivos contendo gás de combustão, com ou sem cinzas, não apresentou diferença significativa ($p<0,01$) do ensaio com CO_2.

A partir do estudo constatou-se que as microalgas *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 apresentaram potencialidades na utilização de efluentes gasosos e sólidos, não apresentando diferença significativa nos parâmetros máximos concentração de biomassa, produtividade, velocidade específica e biofixação diária, comparando os

cultivos com gás de combustão com aqueles contendo dióxido de carbono e bicarbonato e/ou carbonato de sódio. Portanto, essas microalgas têm grande potencial para biofixação de CO_2 de gases de combustão e utilização de resíduos sólidos de origem termelétrica. Além de minimizar os problemas ambientais, o uso de fontes alternativas como o CO_2 e os minerais das cinzas de carvão mineral, reduz os custos com esses nutrientes, que representam grande parte dos gastos de produção desses micro-organismos.

2.2.1.5 CULTIVO SEMICONTÍNUO DE MICROALGAS PARA ESTIMULAR A BIOFIXAÇÃO DE CO_2 E VERIFICAR A POTENCIALIDADE NA CONCEPÇÃO DE UMA BIORREFINARIA

Neste trabalho foi realizado o cultivo semicontínuo das microalgas *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 utilizando CO_2 como fonte de carbono e a potencialidade da biomassa microalgal para concepção de uma biorrefinaria.

2.2.1.5.1 Material e Métodos

As microalgas utilizadas neste estudo foram *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 isolada de lagos e lagoas próximas à região da Usina Termelétrica Presidente Médici, Candiota-RS. Cultivos da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 foram conduzidos em meio Zarrouk e Zarrouk modificado substituindo a fonte original de carbono (16 $g.L^{-1}$ de $NaHCO_3$) por 10 % (v/v) de CO_2. A microalga *Chlorella fusca* LEB 111 foi cultivada em meio BG-11 modificado (sendo acrescentado 0,4 $g.L^{-1}$ de $NaHCO_3$). Cultivos de *Chlorella fusca* LEB 111 também foram realizados onde as fontes de carbono (Na_2CO_3 do meio BG-11 e $NaHCO_3$) foram substituídas por 10 % (v/v) de CO_2. Os cultivos foram realizados sob condições controladas a 30°C, 41,6 $\mu mol/m^2.s$ e fotoperíodo 12 h claro/escuro. A concentração inicial de biomassa foi 0,2 $g.L^{-1}$.

As microalgas foram cultivadas em fotobiorreatores tubulares verticais com volume útil de 1,5 L. A vazão de entrada da mistura nos cultivos foi 0,3 vvm, e a injeção de CO_2 foi realizada a cada 2 h, durante 10 min, no período claro. Os cultivos foram conduzidos em modo semicontínuo, sendo a concentração celular de corte definida no final da fase exponencial de crescimento. As taxas de renovação estudadas foram 20 e 40% (v/v). Os parâmetros cinéticos determinados foram velocidade específica de crescimento (μ_x, d^{-1}) e produtividade de biomassa (P_x, $g.L.d^{-1}$), sendo avaliada, também, a biomassa produzida ao final dos cultivos.

As biomassas obtidas dos cultivos semicontínuos das microalgas *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 foram caracterizadas quanto ao teor de carboidratos por Dubois et al. (1956), proteínas pelo método de Lowry et al. (1951), e lipídios por Folch et al., (1957). O teor de umidade e cinzas foi determinado segundo a metodologia oficial da AOAC. Os resultados foram avaliados estatisticamente, através de Análise de Variância (ANOVA) com nível de confiança de 99% ($p \leq 0,01$).

2.2.1.5.2 Resultados

A *Spirulina* sp. LEB 18 apresentou final da fase exponencial em aproximadamente 10 d, enquanto a microalga *Chlorella fusca* LEB 111, em 15 d. Quando cultivada 10% (v/v) de CO_2, foi observado maior número de ciclos de crescimento das microalgas. Quando cultivadas com 10% (v/v) de CO_2 e taxa de renovação de 40% (v/v), ambas microalgas apresentaram os máximos valores de $P_{média}$ (0,108 e 0,079 $g.L^{-1}.d^{-1}$ para *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* leb 111, respectivamente) e $\mu_{médio}$ (0,092 d^{-1} para *Spirulina* sp. LEB 18 e 0,071 d^{-1} para *Chlorella fusca* leb 111). Para microalga *Spirulina* sp. LEB 18 o incremento de CO_2 nos cultivos proporcionou aumento da quantidade de biomassa produzida de 39,7% (p/p), com a taxa de renovação de 20% (v/v).

A microalga *Chlorella fusca* LEB 111 produziu o teor máximo de carboidratos (30,2%, p/p) quando cultivada com 10% (v/v) de CO_2 e taxa de renovação de 40% (v/v). As maiores concentrações protéicas (60,1% (p/p) foram observadas com taxa de renovação de 20% (v/v) e 59,7% (p/p) com renovação de 40%) obtidas para a microalga *Spirulina* sp. LEB 18 foram nos ensaios com CO_2 como fonte de carbono. A *Chlorella fusca* LEB 111 obteve máximo conteúdo protéico (56,1%, p/p) no ensaio com 10% (v/v) de CO_2 e taxa de renovação de 40% (v/v), não diferindo estatisticamente ($p>0,01$) do maior valor de *Spirulina* sp. LEB 18. As microalgas *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 apresentaram máximos teores de lipídios, 9,8 e 13,3%, nos ensaios com 10% (v/v) de CO_2 e renovação de 20% (v/v). Quanto ao teor de cinzas, foi observado que os ensaios com $NaHCO_3$ apresentaram os máximos valores.

Para concepção de uma biorrefinaria microalgal a *Spirulina* sp. LEB 18 e a *Chlorella fusca* LEB 111 cultivadas em modo semicontínuo com CO_2 como fonte de carbono e taxa de renovação de 20% (v/v) seriam ambientalmente corretas e economicamente sustentáveis. Assim, a partir das biomassas de *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 é possível a obtenção de no mínimo cinco bioprodutos: biopeptídeos, bioetanol, ácidos graxos essenciais, biopolímeros, biogás, reduzindo ainda as emissões de CO_2 para a atmosfera.

2.2.1.6 PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CO-DIGESTÃO DE RESÍDUOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA

O objetivo deste trabalho foi produzir biogás através da co-digestão anaeróbia de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 e glicerol bruto.

2.2.1.6.1 Material e Métodos

Como inóculo foi utilizado lodo granular anaeróbio, composto por uma cultura mista de micro-organismos anaeróbios. Como substrato foram utilizados glicerol bruto e biomassa da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 produzida a partir da biofixação do gás carbônico gerado na Unidade Termelétrica Presidente Médici. As concentrações de substrato para cada ensaio são:

E1: 10 $g.L^{-1}$ de *Spirulina*; E2: 10 $g.L^{-1}$ de *Spirulina* e 5 $g.L^{-1}$ de glicerol; E3: 5 $g.L^{-1}$ de *Spirulina* e 5 $g.L^{-1}$ de glicerol; E4: 1 $g.L^{-1}$ de *Spirulina* e 5 $g.L^{-1}$ de glicerol; E5: 10 $g.L^{-1}$ de *Spirulina* e 10 $g.L^{-1}$ de glicerol; E6: 15 $g.L^{-1}$ de *Spirulina* e 5 $g.L^{-1}$ de glicerol; E7: 5 $g.L^{-1}$ de glicerol.

A produção do biogás foi realizada em biorreatores anaeróbios equipados com tubulações para entrada de substrato, saída de efluente líquido do processo e de biogás. Os biorreatores serão mantidos em estufa termostatizada a 35 °C e operados em batelada sequencial, com ciclos diários de alimentação, reação e esvaziamento de 10 % do volume.

2.2.1.6.2 Resultados

Pode-se observar que a maior razão C:N associada a mais alta concentração de alimentação total promoveu as maiores produções específicas de biogás (0,23 d^{-1} e 0,24 d^{-1}). A utilização de glicerol na alimentação provocou aumento de 500 % na produção de biogás quando comparado ao ensaio do biorreator só alimentado com biomassa microalgal.

A ausência de parede celulósica na microalga *Spirulina* resultou em altos valores de decomposição nos processos em que esta estava presente. Quando diminuída sua concentração em relação à do glicerol, houve decréscimo nos valores de decomposição. Por outro lado, quanto maior a concentração de biomassa microalgal no biorreator, menor as conversões de sólidos voláteis em metano, sendo estas maiores na presença de glicerol, pois quando da decomposição deste no processo, gera principalmente acetato, o qual é diretamente convertido a CH_4, o que não ocorre com a biomassa de *Spirulina*.

Os valores de pH em todos os ensaios variaram entre 7,0 e 7,3, não havendo diferença significativa entre esses (p > 0,05). Verificou-se que os ensaios que incluem maior concentração de biomassa de *Spirulina* na composição da alimentação são os ensaios que apresentam maior alcalinidade. Para a concentração de nitrogênio amoniacal, os mais baixos valores foram encontrados para os ensaios com as mais baixas ou nenhuma concentração de *Spirulina* na alimentação, pois é a partir da decomposição de proteínas que haverá a produção de NH_3.

As maiores conversões de carbono da alimentação em CH_4 foram obtidas nos ensaios com a maior proporção de glicerol em relação à concentração total de alimentação (E3: 0,46 $g.g^{-1}$; E4: 0,79 $g.g^{-1}$ e E7: 1,41 $g.g^{-1}$, respectivamente). Nos demais ensaios com adição de glicerol à alimentação (E2, E5 e E6), a conversão de carbono a CH_4 também é incrementada quando comparada ao ensaio com alimentação apenas de *Spirulina* (E1). Como a decomposição do glicerol no processo anaeróbia resulta na formação de acetato ou outros ácidos orgânicos voláteis (passíveis de conversão a acetato em seguida), e como o acetato é diretamente convertido a CH_4 pelas bactérias metanogênicas acetoclásticas, e visto que esta conversão é a responsável por mais de 70 % (v/v) do CH_4 produzido, a maior proporção de glicerol na alimentação resulta em maiores conversões a CH_4, mesmo com os mais baixos valores de carbono entrando no processo.

Foi possível avaliar o processo de co-digestão anaeróbia de *Spirulina* sp. LEB 18 e glicerol bruto para a produção de biogás. O glicerol bruto pode ser utilizado como substrato na co-digestão anaeróbia em conjunto com biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18. A maior razão C:N associada a mais alta concentração de alimentação total promoveu as maiores produções específicas de biogás. Em todos os ensaios de co-digestão houve incremento na produção de biogás (0,16 – 0,24 $L.d^{-1}$) quando comparado aos ensaios com digestão anaeróbia dos substratos únicos. A utilização de glicerol na alimentação provocou aumento de 500 % na produção de biogás quando comparado ao ensaio do biorreator só alimentado com biomassa microalgal.

Em todos os ensaios, os valores médios de pH, alcalinidade e concentração de nitrogênio amoniacal do efluente, se mantiveram dentro da faixa adequada para o processo anaeróbio, com pH variando entre 7,0 e 7,3, alcalinidade entre 1133,4 e 3579,0 $mg.L^{-1}$ $CaCO_3$ e nitrogênio amoniacal de 62,0 a 1101,0 $mg.L^{-1}$. A presença de glicerol promoveu os maiores valores de conversão de sólidos voláteis a metano no processo ($Y_{CH4/SV}$ = 0,24 – 1,70 $L.g^{-1}$), demonstrando que a adição de glicerol em processo anaeróbio é uma alternativa interessante para a produção de biocombustível e

concomitante agregação de valor a uma matéria-prima residual que, para descarte ou outras aplicações necessitaria de purificação.

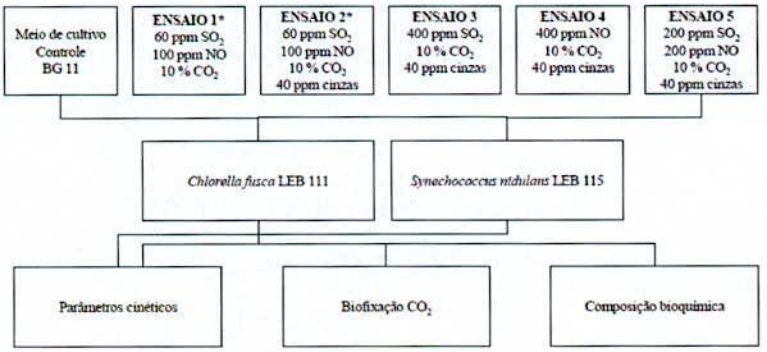
2.2.1.7 UTILIZAÇÃO DE GÁS DE COMBUSTÃO SIMULADO NOS CULTIVOS DE *Chlorella fusca* LEB 111 e *Synechococcus nidulans* LEB 115 EM FOTOBIORREATOR TUBULAR VERTICAL

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a adição de diferentes compostos presentes no gás de combustão da UTPM (CO_2, SO_2, NO e cinzas) nos cultivos de *Chlorella fusca* LEB 111 e *Synechococcus nidulans* LEB 115 em fotobiorreator do tipo tubular vertical, avaliando-se parâmetros cinéticos, biofixação de CO_2 e a composição das biomassas.

2.2.1.7.1 Material e Métodos

As espécies de microalgas estudadas no trabalho foram *Chlorella fusca* LEB 111 e *Synechococcus nidulans* LEB 115, pertencentes ao Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande. Ambas as cepas foram isoladas das lagoas de decantação de cinzas na Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM), na cidade de Candiota, sul do Brasil. As microalgas foram mantidas em meio de cultivo BG-11 modificado, sendo a fonte original de carbono substituída por CO_2 comercial (White Martins - Brasil). Além disso, cinzas oriundas da queima do carvão mineral, proveniente da UTPM, foram adicionadas ao meio de cultivo. A coleta das cinzas, na usina, foi realizada manualmente, com auxílio de um recipiente, no silo 1 de armazenamento da fase C, sendo captadas por filtros eletrostáticos, a fim de atender o padrão da emissão de resíduos sólidos (estabelecido pelo licenciamento ambiental) (ELETROBRÁS; CGTEE, 2014). Diferentes concentrações de SO_2 e NO (comerciais - White Martins - Brasil) também foram adicionadas ao meio de cultivo (Figura 10).

Figura 10: Esquema resumido dos ensaios e análises realizados



Os ensaios foram realizados em duplicata, durante 10 d, com concentração celular inicial dos inóculos de 0,2 g L^{-1}. Os cultivos foram mantidos em câmara termostatizada a 30 °C, com iluminância de 88 µmol m^{-2} s^{-1} (obtida a partir de lâmpadas fluorescentes 40 W) e fotoperíodo 12 h claro/escuro. Com objetivo de simular o gás de combustão de origem termelétrica, foram realizados ensaios com injeção de CO_2 (10 % v v^{-1}), cinzas oriundas da queima do carvão mineral (40 ppm) e diferentes concentrações de SO_2 e NO, conforme pode ser observado no esquema da Figura 10. A injeção dos gases nos cultivos foi mantida a 0,05 vvm (vazão regulada a partir de rotâmetros – COLE PARMER – Illinois - USA), a cada 40 min da fase clara, durante 1 min, através de pedra porosa. O controle da injeção dos gases foi mantido com auxílio de válvulas solenóides acopladas aos cilíndros industriais, conectadas a temporizadores digitais. A Figura 10 apresenta o diagrama esquemático dos ensaios.

Ensaios controles foram realizados, utilizando-se meio de cultivo original, sem modificação da fonte de carbono e sem adição de SO_2, NO e cinzas. A agitação dos cultivos foi mantida por aeração, através de pedra porosa, com auxílio de bomba pneumática, a 0,3 vvm. A aeração foi interrompida 1 min antes do início da entrada dos gases nos cultivos e retomada 1 min após o término da injeção dos mesmos, objetivando-se aumentar o tempo de residência dos gases no meio líquido. A fim de evitar contaminação nos cultivos, o ar utilizado para agitação foi previamente filtrado, a partir de filtros do tipo lã de vidro, acoplados ao sistema. A água evaporada dos cultivos foi reposta diariamente, anteriormente a amostragem, a partir da adição de água estéril aos ensaios. Ao final dos experimentos, as biomassas microalgais obtidas foram recuperadas do meio líquido por centrifugação (HITACHI himac CR-GIII, Tóquio - Japão) a 15.000 *g*, durante 20 min. Após, as mesmas foram ressuspendidas em água destilada e centrifugadas novamente, nas mesmas condições, a fim de remover os sais do meio de cultivo presentes na biomassa. A biomassa concentrada foi congelada a -80 °C por 48 h, liofilizada e armazenada a -20 °C para posterior caracterização.

Os parâmetros cinéticos avaliados, para ambas as microalgas, foram produtividade total máxima ($P_{máx}$), velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$) e tempo de geração (t_g). Para *Chlorella fusca* LEB 111, avaliou-se a biofixação de CO_2 e a composição da biomassa microalgal em termos de carboidratos, lipídios e proteínas. Todas respostas analisadas foram tratadas estatisticamente, a partir da Análise de Variância (ANOVA), seguida de teste de Tukey para comparação entre médias, com nível de 90 % de confiança ($p < 0,1$).

2.2.1.7.2 Resultados

A microalga *Chlorella fusca* LEB 111 apresentou tolerância a concentrações de até 400 ppm dos gases SO_2 e NO e, além disso, as velocidades específicas máximas de crescimento celular e tempos de geração, obtidos nos ensaios com esta microalga, não apresentaram diferença significativa ($p > 0,1$) do ensaio controle, sem adição de resíduos industriais. As maiores ($p < 0,1$) concentrações celulares máximas (1,29 ± 0,07 g L^{-1} e 1,32 ± 0,04 g L^{-1}) e produtividades totais máximas (0,13 ± 0,01 g L^{-1} d^{-1} e 0,14 ± < 0,01 g L^{-1} d^{-1}), foram obtidas nos ensaios utilizando 10 % de CO_2 (v v^{-1}), sem e com adição de cinzas, respectivamente, e com as menores concentrações dos gases SO_2 e NO (60 e 100 ppm, respectivamente).

Nos cultivos de *Synechococcus nidulans* LEB 115 com resíduos industriais, a maior ($p < 0,1$) concentração celular máxima foi obtida no ensaio com adição de 10 % de CO_2 (v v^{-1}), 60 ppm de SO_2, 100 ppm de NO e 40 ppm de cinzas (0,82 ± 0,04 g.L^{-1}). Além disso, esta concentração celular obtida apresentou diferença significativa ($p < 0,1$) do cultivo nas mesmas condições, porém sem adição de cinzas, demonstrando a capacidade de *Synechococcus nidulans* LEB 115 em assimilar em seu metabolismo os componentes presentes nas cinzas oriundas de termelétrica à carvão mineral.

As maiores ($p < 0,1$) eficiências na biofixação de CO_2 por *Chlorella fusca* LEB 111 foram obtidas para os ensaios com 10 % de CO_2 (v v^{-1}), nas menores concentrações dos gases SO_2 e NO (60 e 100 ppm, respectivamente), sem e com presença de cinzas (56,9 ± 5,10 % m m^{-1} e 63,43 ± 1,13 % m m^{-1}, respectivamente), bem como no ensaio em que foram utilizados 10 % de CO_2 (v v^{-1}), 40 ppm de cinzas e 200 ppm de SO_2 e NO (49,98 ± 0,75 % m m^{-1}). A composição bioquímica das biomassas de *Chlorella fusca* LEB 111 foi semelhante nos ensaios, apresentando em torno de 19,65 % (m m^{-1}) de carboidratos, 15,55 % (m m^{-1}) de lipídios e 50,24 % (m m^{-1}) de proteínas.

A partir deste estudo, foi possível demonstrar a potencialidade destas microalgas, em especial *Chlorella fusca* LEB 111, em realizar a biofixação de CO_2 em meio de cultivo contendo os gases SO_2 e NO, além de cinzas provenientes da queima do carvão mineral. Este estudo constituiu um importante passo no desenvolvimento de estratégias a fim de minimizar os níveis de CO_2 emitidos por termelétricas, além de contribuir com a redução de custos com nutrientes nos cultivos de microalgas, produzindo biomassa aplicável a diversos bioprodutos tecnológicos.

2.2.1.8 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE BIOFIXAÇÃO CO_2 E PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR *Spirulina* sp. LEB 18 CULTIVADA EM FOTOBIORREATOR TUBULAR HORIZONTAL

O estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de biofixação de CO_2, produção de biodiesel e de outros biocompostos pela microalga *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada em fotobiorreator tubular horizontal.

2.2.1.8.1 Material e Métodos

O meio de cultivo utilizado neste estudo foi o mesmo em que o inóculo de *Spirulina* sp. LEB 18 foi mantido (Zarrouk), no qual a fonte de carbono ($NaHCO_3$) foi substituída por 10% CO_2 (v/v) injetado a vazão de 6,5 $Lar.min^{-1}$ a cada 40 min por 5 min durante a fase fotoquímica. A fonte de nitrogênio do meio ($NaNO_3$) foi reduzida em 50%. A microalga foi cultivada em fotobiorreator tubular horizontal equipado com airlift (FBRT horizontal), com volume útil de 130 L. O experimento transcorreu em estufa termostatizada a 30 °C, fotoperíodo de 12 h claro/escuro e 40,5 $\mu mol.m^2.s^{-1}$ de iluminância fornecidos por lâmpadas fluorescentes de 40 W. A concentração inicial do cultivo foi 0,2 $g.L^{-1}$. O experimento foi conduzido até que a fase de crescimento estacionária fosse atingida. O monitoramento do crescimento da microalga foi realizado diariamente, através da medida da concentração celular, em triplicata, determinada pela densidade ótica da cultura em espectrofotômetro a 670 nm (QUIMIS Q798DRM). A concentração celular foi obtida através de curva padrão, relacionando massa seca e densidade ótica ($X_{máx}$). A partir destes dados foram calculados produtividade máxima ($P_{máx}$), velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$) e tempo de geração (tg). A cada 24 h foi realizada a medida do pH dos cultivos em pHmetro digital.

A biomassa obtida nos experimentos foi centrifugada a 9000 rpm por 15 min e liofilizada para realização das análises de caracterização. A fim de realizar a comparação dos resultados, as mesmas quantificações foram realizadas em *Spirulina* sp. LEB 18 produzida comercialmente pela Empresa Olson Microalgas (Camaquã, RS –Brasil), através de cultivo outdoor em fotobiorreatores raceway em estufa de filme transparente. A biomassa liofilizada foi reidratada e submetida a sonda ultrassônica por 10 min em pulsos de 10s, obtendo o extrato microalgal. A partir deste extrato foram realizadas análises de carboidratos, proteínas. Os lipídios foram quantificados a partir da biomassa liofilizada.

Para determinar o rendimento de biodiesel e composição de ácidos graxos as amostras foram submetidas a análise em cromatógrafo gasoso. A esterificação dos lipídios foi realizada de duas maneiras: na primeira, o método de esterificação de lipídios foi aplicado diretamente na biomassa microalgal (*in situ*). Na segunda o mesmo método de esterificação foi aplicado no extrato lipídico (convencional). Para esterificação, aproximadamente 30 mg da amostra (biomassa seca ou de extrato lipídico) foram tratadas com metóxido de sódio (MeONa) 0,05 M em metanol (MeOH) durante 10 min a 100 °C e logo, com cloreto de metila (MeCl) em MeOH durante 10 min a mesma temperatura.

Através de analisador elementar CHNS/O (Perkin Elmer 2400 – Série II) calibrado com material de referência certificado acetanilida, foi obtida a quantidade de carbono da biomassa microalgal. A partir desses dados pode-se calcular o acúmulo de CO_2 fixado, fixação diária de CO_2 e a biofixação de CO_2 em $mg.L^{-1}.d^{-1}$ relacionando o valor de fixação diária ao volume do biorreator.

2.2.1.8.2 Resultados

A microalga *Spirulina* sp. LEB 18 utilizou a fonte carbono (CO_2) para desenvolvimento e reprodução celular, produzindo biomassa, mesmo com a redução da fonte nitrogenada. O cultivo realizado em fotobiorreator tubular horizontal apresentou biofixação de 160 $mg.L.d^{-1}$. Os parâmetros cinéticos obtidos ao final dos 47 d de experimento foram esperados devido as alterações no meio de cultivo. A redução na fonte de nitrogênio é uma forma efetiva de incrementar o acúmulo de lipídios e/ou carboidratos na biomassa microalgal, no entanto o aumento destes componentes nem sempre é proporcional a produtividade, concentração celular, velocidade específica máxima de crescimento e tempo de geração. A redução da fonte nitrogênio pode ter influenciado negativamente o desenvolvimento deste micro-organismo, reduzindo a produtividade ($0,02\pm<0,01$ $g.L.d^{-1}$), velocidade específica máxima de crescimento ($0,12\pm0,01$ d^{-1}), concentração celular máxima ($1,07\pm0,01$ $g.L^{-1}$) e aumento do tempo de geração ($5,85\pm0,28$ d). O nitrogênio é um elemento utilizado pelas células principalmente para formação de proteínas e ácidos nucléicos, sendo essencial ao desenvolvimento celular.

Quanto a composição da biomassa, tanto *Spirulina* cultivada em escala laboratorial quando comercialmente, o macronutriente presente em maior quantidade foram as proteínas ($47,3\pm1,1$ % e $44,7\pm0,2$ %, respectivamente). O teor de lipídios da biomassa apresentou um aumento de aproximadamente 6 vezes ($32,7\pm1,50$ %) quando

comparado com o cultivo da mesma espécie em escala comercial (5,7±0,50 %). O tempo de cultivo, até a fase estacionária, e a redução do componente nitrogenado podem ter contribuído para o aumento da concentração lipídica. Na fase de crescimento exponencial o teor proteico é mais elevado devido à multiplicação celular e a formação dos ácidos nucleicos. A maior produção de lipídios e carboidratos, no entanto, ocorre na fase estacionária como forma de reserva de energia. A redução da fonte de nitrogênio em cultivos microalgais é capaz de desviar o metabolismo das células para a produção de lipídios ou carboidratos. No caso do cultivo em fotobiorreator tubular de *Spirulina* sp. LEB 18 este desvio foi favorável a produção de lipídios e houve redução de aproximadamente 2 vezes no teor de carboidratos (13,4±0,50 % e 21,7±0,10 %, cultivo em tubular e em escala comercial, respectivamente).

Através da análise cromatográfica, foram identificados 82,7 % e 87,6 % FAMEs na biomassa da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada em escala laboratorial em fotobiorreator tubular e comercialmente em biorreatores raceway, respectivamente. Os principais ácidos graxos encontrados em ambas amostras foram palmítico, palmitoleíco (C16), oleico, linoleico e linolênico (C18). Estes resultados estão de acordo com a literatura que relata que a composição de ácidos graxos das microalgas é formada principalmente por ácidos graxos C16 e C18, se aproximando dos óleos vegetais normalmente utilizados para produção do biodiesel, sendo adequados para a produção deste biocombustível. O ácido oleico (18:1), considerado indicador da qualidade do biodiesel foi identificado em ambas as condições de cultivo de *Spirulina* sp. LEB 18, com quantidade entre 3,4 % e 3,0 %, escala comercial e laboratorial, respectivamente. O ácido palmítico foi o FAME dominante entre o total de identificados (44,9 %, cultivo em biorreator tubular e 47,2 %, cultivo comercial).

A biomassa microalgal possui potencial para produção de biodiesel que pode ser aplicado em substituição ou em mistura com diesel tradicional. Os resultados obtidos reforçam o uso do conceito de fotobiorrefinaria para o aproveitamento de todos os compostos da microalga viabilizando a produção de bioprodutos. O consumo de CO_2 pela microalga aumenta a viabilidade do processo, fechando um ciclo dentro do conceito de biorrefinaria microalgal, podendo consumir o CO_2 produzido através da queima dos biocombustíveis gerados pela própria microalga.

2.2.1.9 INCREMENTO DO CONTEÚDO DE CARBOIDRATOS DE *Chlorella minutissima* CAUSADO PELA ADIÇÃO DE CO_2 E PENTOSES

O objetivo deste trabalho foi abordar os efeitos da utilização de resíduos como o

CO_2 e pentoses em cultivos de *Chlorella minutíssima,* avaliando o crescimento, a capacidade de fixação de CO_2, e a ação destes fatores de estresse no teor de carboidratos da biomassa e na potencialidade de produção de bioetanol.

2.2.1.9.1 Material e Métodos

Para a realização dos ensaios foi utilizada cepa de *Chlorella minutissima* pertencente à Coleção de microalgas do Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande do Sul, Brasil. A microalga foi exposta a diferentes concentrações de CO_2, com redução do componente nitrogenado e adição de D-xilose e L-arabinose (Vetec Química, Sigma, Aldrich Corporation).

A cepa foi cultivada em meio MBM (WATANABE, 1960) cuja composição ($g.L^{-1}$) foi: 0,250/0,125 KNO_3; 0,01 $CaCl_2$; 0,075 $MgSO_4.7H_2O$; 0,075 K_2HPO_4; 0,175 KH_2PO_4; 0,025 NaCl; 0,02 $FeSO_4.7H_2O$; e 1 mL de solução A_5, em $g.L^{-1}$: 2,86 H_3BO_3; 1,81 $MnCl_2.4H_2O$; 0,222 $ZnSO_4.7H_2O$; 0,079 $CuSO_4$. $5H_2O$; 0,015 $NaMoO_4$. Os cultivos foram conduzidos em fotobiorreatores tubulares, com volume útil de 1,8 L (MORAIS; COSTA, 2007).

Para a avaliação da biofixação de CO_2 foi utilizado gás comercial em diferentes proporções, em uma mistura com ar a 90 $mL_{mistura}$/min (10% - 9 mL CO_2/min e 20% - 18 mL CO_2/min) .As injeções ocorreram a cada 18 min durante a fase clara, com duração de 59 s cada. Estes experimentos foram conduzidos em estufa termostatizada a 30 °C, iluminância de 40 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$(fornecida por lâmpadas fluorescentes de 40 W), fotoperíodo 12 h claro/escuro e mantidos por 15 d. As condições impostas para o estudo da biofixação estão dispostas na Tabela 3.

A adição das pentoses foi realizada considerando as concentrações estimadas de xilose e arabinose (ensaios P1, P2 e P3) no caldo de hidrolisado de bagaço de cana de açúcar por meio de um caldo sintético. Este caldo representa 5% ($m.m^{-1}$) da quantidade de xilose e arabinose presentes no caldo original.

A concentração celular espectrofotometricamente, utilizando curva padrão previamente estabelecida de *Chlorella minutissima*. Esta curva foi obtida através de densidade óptica em espectrofotômetro (QUIMIS Q798DRM, Diadema - SP - Brasil) a 670 nm, relacionando a densidade óptica relativa e peso seco da biomassa (COSTA; COLLA; FILHO, 2002).

Tabela 3: Cultivos de *Chlorella minutíssima* realizados para avaliar a biofixação de carbono e o efeito do uso combinado de pentoses neste processo.

Concentração de CO_2	Condições de cultivo	Ensaios
10%	Meio MBM – 0,250 $g.L^{-1}$ KNO_3	CO1
	Meio MBM – 0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3	CON1
	Meio MBM – 0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3 + 19,16 $mg.L^{-1}$ Xilose e 0,89 $mg.L^{-1}$Arabinose	COP1
20%	Meio MBM – 0,250 $g.L^{-1}$ KNO_3	CO2
	Meio MBM – 0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3	CON2
	Meio MBM – 0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3 + 19,16 $mg.L^{-1}$ Xilose e 0,89 $mg.L^{-1}$Arabinose	COP2

A produtividade máxima ($P_{máx}$, $g.L^{-1}.d^{-1}$) de biomassa foi obtida segundo a Equação 1, onde X_t é a concentração de biomassa ($g.L^{-1}$) no tempo t (d), e X_0 a concentração de biomassa ($g.L^{-1}$) no tempo t_0 (d).

$$P_{máx}=\frac{(X_t-X_0)}{t-t_0} \quad (1)$$

A velocidade específica máxima ($\mu_{máx}$, d^{-1}) foi determinada por regressão exponencial aplicada à fase logarítmica de crescimento e, a partir deste foi calculado o tempo de geração (t_g, d) pela Equação 2:

$$t_g=\frac{\ln 2}{\mu_{máx}} \quad (2)$$

A concentração de proteína total da biomassa foi determinada no final dos ensaios, através do método colorimétrico proposto por Lowry et al., (1951), a partir do pré-tratamento térmico e alcalino da biomassa de *Chlorella minutissima*.

A concentração total de carboidratos na biomassa de *Chlorella minutissima* foi determinada pelo método fenol- sulfúrico, utilizando curva de padrão de glicose (DUBOIS et al., 1956).

A biofixação teórica de CO_2 foi calculada a partir da Equação 3, proposta por Chisti (2007), onde FCO_2 ($mg.L^{-1}.d^{-1}$) é a taxa de fixação, 1,83 é o valor derivado da

formula típica para biomassa de microalgas ($CO_{0,48}H_{1,83}N_{0,11}P_{0,01}$) e P é a produtividade da biomassa nos ensaios.

$$F_{CO2}=1,83\times P \quad (3)$$

A partir da concentração de carboidratos determinada, o rendimento em álcool foi obtido de acordo com o cálculo teórico de etanol do U.S. Departmentof Energy (DOE, 2009) e Vogel et al., (2011), realizado com base na Equação 4 :

$$\eta_{\text{teórico em etanol}}=\frac{1,11\text{g C6 ou } 1,136\text{gC5 açúcares}}{1\text{g açúcar polimérico}} \times \frac{X\text{g de açúcar polimérico}}{100\text{g biomassa}} \times \frac{0,51\text{g de etanol}}{1\text{g C6 ou C5 açúcares}} \times \frac{3,79\text{ L de etanol}}{2971\text{g de etanol}} \times \frac{1,000,000\text{ g de biomassa}}{1\text{Mg de biomassa}} \quad (4)$$

Foram realizadas análise de variância e teste de Tukey, ao nível de confiança de 95%, para examinar as diferenças entre as médias de cada ensaio, para o teor de carboidratos e proteínas na biomassa.

2.2.1.9.2 Resultados

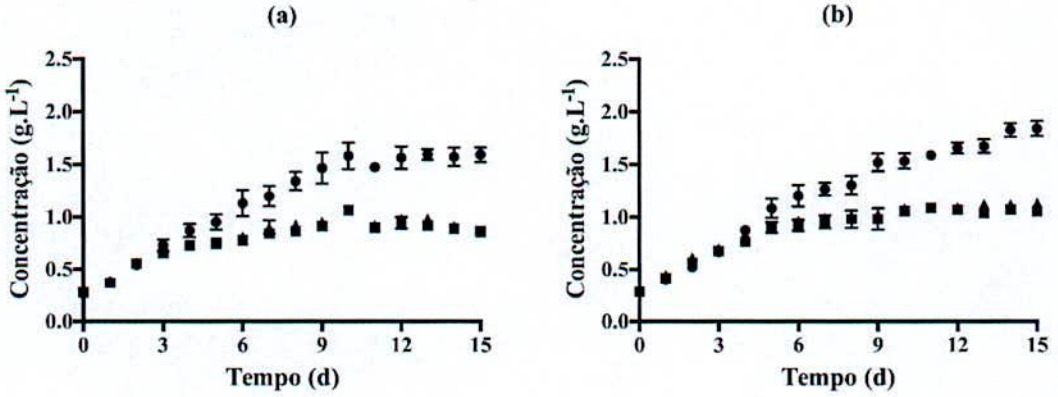
Os cultivos controle (0,250 $g.L^{-1}$ KNO_3) mostraram as melhores respostas cinéticas de crescimento (Tabela 4) para as duas concentrações de CO_2 e a injeção de 20 % de gás levou a maior produção de biomassa (1,84 $g.L^{-1}$). Os resultados de crescimento encontrados para *C. minutissima* demonstram a afinidade desta cepa por elevadas concentrações de CO_2, uma vez que a fixação de CO_2 por microalgas envolve o crescimento fotoautotrófico, e a capacidade de biofixar este gás por diferentes espécies deve correlacionar positivamente a taxa de crescimento (CUELLAR-BERMUDEZ et al., 2015).

O desempenho do crescimento (Figura 11) de *C. minutissima* para os ensaios com redução de nitrogênio (0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3) em ambos conteúdos de CO_2 disponibilizados é inferior a performance da microalga para os cultivos controle, como o demostrado também através dos parâmetros cinéticos de crescimento (Tabela 4). A adição de pentoses não modificou o perfil de crescimento com relação aos ensaios com 50 % de nitrogênio, tanto para o uso de 10 %, quanto para 20 % de CO_2. O aumento da concentração de CO_2 injetado (Figura 11-b) proporciona manutenção do crescimento, o que reforça a afinidade desta cepa por elevadas concentrações de CO_2.

Tabela 4: Concentração celular máxima ($X_{máx}$, $g.L^{-1}$), produtividade máxima ($P_{máx}$, $g.L^{-1}.d^{-1}$), velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$, d^{-1}) e tempo de geração (tg, d) (média ± desvio padrão) para *Chlorella minutissima*.

Ensaios	$X_{máx}$ ($g.L^{-1}$)	$P_{máx}$ ($g.L^{-1}.d^{-1}$)	$\mu_{máx}$ (d^{-1})	t_g (d)
CO1	1,59±0,05	0,15±0,02	0,32±0,04	2,19±0,04
CO2	1,84±0,07	0,16±0,01	0,41±0,03	1,71±0,03
CON1	1,07±0,04	0,14±0,01	0,52±0,02	1,32±0,02
CON2	1,09±0,01	0,14±0,01	0,52±0,03	1,34±0,03
COP1	1,08±0,03	0,14±0,01	0,53±0,02	1,31±0,02
COP2	1,14±0,02	0,15±0,01	0,74±0,01	0,93±0,01

Figura 11: Perfil de crescimento de *Chlorella minutissima* com (a) 10% CO_2 e (b) 20% CO_2, onde: (●) MBM Controle – 0,250 $g.L^{-1}$ KNO_3, (■) MBM – 0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3 e (▲) MBM – 0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3 + 19,16 $mg.L^{-1}$ Xilose e 0,89 $mg.L^{-1}$ Arabinose.



A capacidade de biofixação teórica de CO_2 ao longo dos ensaios foi calculada pelo método proposto por Chisti (2007). A maior quantidade de carbono que pode ser fixada foi de 292,55 $mg.L^{-1}.d^{-1}$, no 5º d de ensaio, para os cultivos com injeção de 20 % CO_2 e meio controle (0,250 $g.L^{-1}$ KNO_3). A redução do nitrogênio disponível diminui a capacidade de *C. minutissima* de fixar carbono, pois as maiores quantidades que podem ser fixadas foram de 258,89 $mg.L^{-1}.d^{-1}$ e 250,76 $mg.L^{-1}.d^{-1}$, para 20 % e 10 % de CO_2, respectivamente, no 2º d de ensaio. Uma pequena recuperação na capacidade de

biofixar CO_2 é demonstrada com a adição de pentoses nos cultivos com redução de nitrogênio, para as duas concentrações de CO_2 estudadas, sendo a maior recuperação obtida (282,38 $mg.L^{-1}.d^{-1}$) com o uso de 20 % CO_2.

O aumento do acúmulo de carboidratos por influência da adição de CO_2 em *C. minutissima* foi verificado, já que o maior teor de carboidratos (52,3% $m.m^{-1}$ - Tabela 5) foi determinado para os ensaios com injeção de 20 % de CO_2 associado a redução do nitrogênio (0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3).

Para os ensaios com redução do nitrogênio, a concentração de carboidratos da biomassa foi menor tanto para 10 % como 20 % de CO_2 (42,78% $m.m^{-1}$ e 31,23% $m.m^{-1}$, respectivamente). A adição de pentoses em conjunto com concentrações mais altas de CO_2 pode criar um ambiente não adequado de carbono no meio de cultura restringindo a síntese de proteínas (principalmente as que estão envolvidas no metabolismo celular, como a anidrase carbônica e a Rubisco) (CHANG et al., 2016), desviando o metabolismo para a produção de carboidratos.

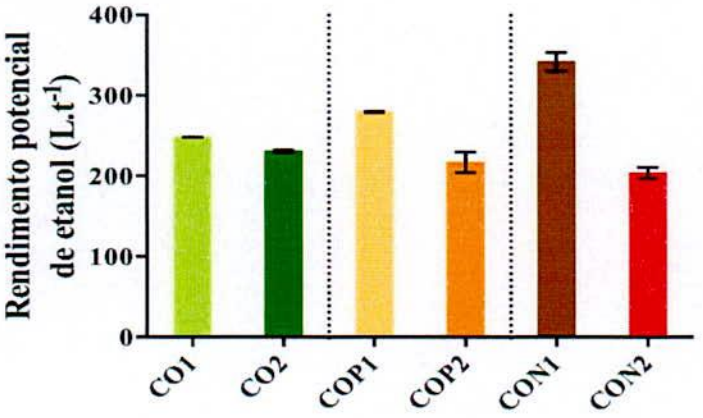
Tabela 5: Teor de carboidratos (%) e proteínas (%) (média ± desvio padrão) para a biomassa de *Chlorella minutissima*.

Ensaios	Teor de carboidratos ($\%m.m^{-1}$)	Teor de proteínas ($\%m.m^{-1}$)
CO1	$37,90\pm0,03^{b,c}$	$13,36\pm0,41^{a,b}$
CO2	$33,20\pm0,61^{a,b}$	$17,34\pm1,76^{b}$
CON1	$35,30\pm0,24^{a,b}$	$24,37\pm1,09^{a}$
CON2	$52,30\pm0,79^{d}$	$11,52\pm0,27^{c}$
COP1	$42,78\pm0,10^{c}$	$12,39\pm0,04^{a}$
COP1	$31,23\pm0,24^{a}$	$13,89\pm0,06^{a,b}$

Os elevados teores de carboidratos encontrados na biomassa de *C. minutissima*, tornam esta microalga fonte para produção de bioetanol, por esta razão foi realizado o cálculo do rendimento potencial em etanol para todos os ensaios (Figura 12). Como a maior concentração de carboidratos (52,30 % $m.m^{-1}$ - Tabela 5) foi encontrada para os cultivos com injeção de 20 % de CO_2 associado a redução do nitrogênio (0,125 $g.L^{-1}$ KNO_3), o maior rendimento potencial de etanol (342,16 $L.ton^{-1}$) também foi determinado para estas condições.

A adição de C5 associada as injeções de 10 % de CO_2 resulta em produção teórica de etanol de 279,90 $L.ton^{-1}$, considerada satisfatória por ser o segundo maior volume produzido, aliado ao efeito positivo da combinação destas fontes de carbono nos parâmetros cinéticos. Estes resultados são interessantes visto que, o progresso dos processos fermentativos das pentoses evoluem em ritmo lento, pois são poucos os micro-organismos conhecidos com capacidade de metabolizar estes açúcares. Assim, as perspectivas para produção de etanol a partir de biomassa lignocelulósica talvez residam em encontrar organismos capazes de utilizar hidrolisados de alta densidade sem purificação (KUHAD et al., 2011; SOCCOL et al., 2010). A microalga *C. minutissima,* se mostrou capaz de utilizar xilose e arabinose, juntamente com CO_2, produzindo biomassa rica em carboidratos, que podem vir a ser convertidos em etanol através dos processos tradicionais de fermentação com *Saccharomyces cerevisiae*.

Figura 12: Rendimento potencial teórico de etanol da biomassa de *Chlorella minutissima* para os diferentes ensaios.



A microalga *Chlorella minutissima* mostrou grande afinidade por concentrações mais elevadas de CO_2, pois para os cultivos com 20% do gás foi possível uma biofixação eficiente, com a melhor resposta entre os ensaios (292,55 $mg.L^{-1}.d^{-1}$), e também a mais elevada produção de biomassa (1,84 $g.L^{-1}$). Ainda para esta concentração de gás, a redução do conteúdo de nitrogênio fez com que o teor de carboidratos alcançasse 52,30% ($m.m^{-1}$), o que leva a uma produção potencial de 342,16 $L.ton^{-1}$ de etanol. Como a manipulação das condições de cultivo pode alterar os níveis de carboidratos na biomassa, a capacidade de absorver pentoses e CO_2 apresentada por *Chlorella minutissima,* torna esta cepa uma alternativa de destaque para a diminuição de impactos ambientais, através do uso de resíduos, e produção de biocombustíveis.

2.3 IMPLANTAÇÃO DA PLANTA PILOTO DE BIOFIXAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO JUNTO À FASE C

Devido à eminente inativação da Fase A e a distância da Chaminé até a Planta Piloto localizada nas proximidades da Torres de Resfriamento das Fases A e B (aproximadamente 500 m) (Figura 13), foi realizado novo projeto e instalação da Planta em outro local mais adequado, junto à Fase C (Figura 14). Com isso, foi realizada a transferência do sistema modular composto por 2 containers de 12 m (40 pés) cada, dois fotobiorreatores do tipo raceway, com as dimensões de (15x3x0,4)m e volume de 18.000 L cada e 1 fotobiorreator utilizado para propagação de inóculo, com as dimensões de (4x0,8x0,4)m e volume de 1.000 L, para a nova localização (Figura 14).

Figura 13: Antiga localização da Planta de biofixação dos gases de combustão por microalgas

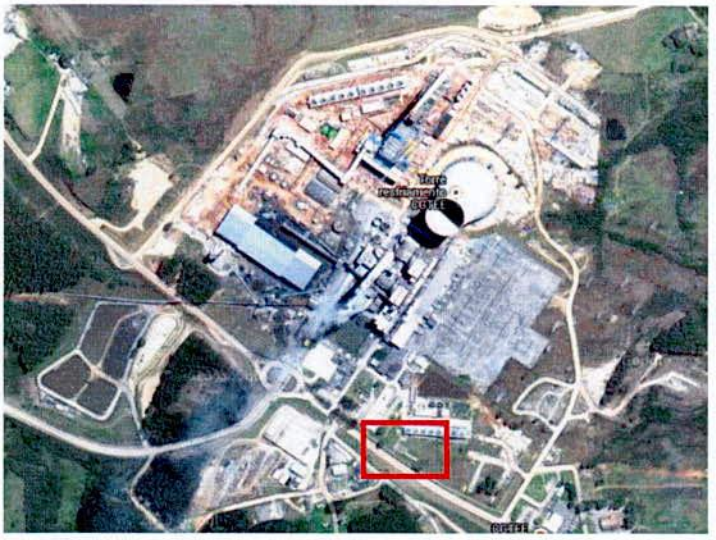
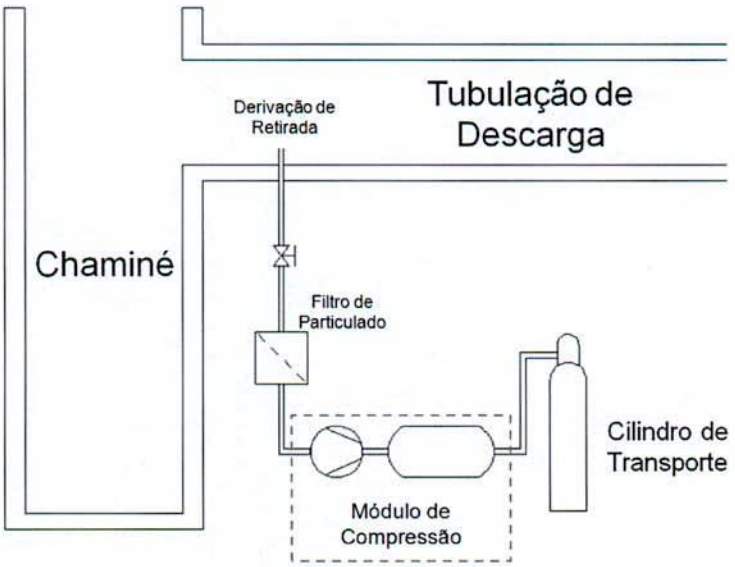


Figura 14: Localização atual da Planta de biofixação dos gases de combustão por microalgas

Para dar continuidade aos ensaios em escala de bancada no Laboratório de Engenharia Bioquímica da FURG, durante o translado da Planta Piloto da antiga localização para a atual, foi confeccionado um ponto de captação do gás de combustão oriundo da Fase A (Figura 15).

Figura 15: Esquema da captação do gás de combustão da Usina Termelétrica Presidente Médici/ Candiota-RS



A Figura 16 e a Figura 17 mostram o sistema de montagem e a captação do gás de combustão oriundo da chaminé.

Figura 16: Montagem do sistema de captação – Técnicos do Laboratório Roque L. Zilio e Adriano Arruda Henrard

Figura 17: Sistema de captação do gás de combustão – Técnicos do Laboratório Roque L. Zilio e Adriano Arruda Henrard

2.3.1 PROJETO E EXECUÇÃO DE IMPLANTAÇÃO DA PLANTA PILOTO DE BIOFIXAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO JUNTO À FASE C

Nesse item estão descritas as atividades de planejamento, projeto, engenharia, processo e gerência executadas pelas equipes da FURG e da Naue Engenharia.

As especificações da tubulação e equipamentos que compõem o projeto da Unidade de Biofixação de CO_2 foram elaborados a partir de informações de processo das equipes da FURG e da CGTEE, conforme descrito a seguir:

- ✓ A vazão de gás para alimentação dos fotobiorreatores é de até 36 m^3/h;
- ✓ Os fotobiorreatores foram instalados em região próxima a torre de refrigeração da Fase C a uma distância de aproximadamente 100 m da tomada de gás no duto de recirculação da unidade geradora da Fase C;
- ✓ O material da tubulação é adequado à passagem de gás de combustão e a localização desta tubulação ficou de livre acesso a passagem de veículos e pessoas;
- ✓ O gás foi retirado através de ventilador centrífugo que instalado junto ao Tie-in, que se encontra junto ao vti e chaminé da Fase C, local este, definido para tomada dos gases;
- ✓ O gás de combustão passou por um sistema de tratamento e compressão, composto por um filtro de mangas, lavador de gases, bomba de recirculação do lavador de gases, ventilador de exaustão do lavador de gases, vaso separador de sucção e compressor.

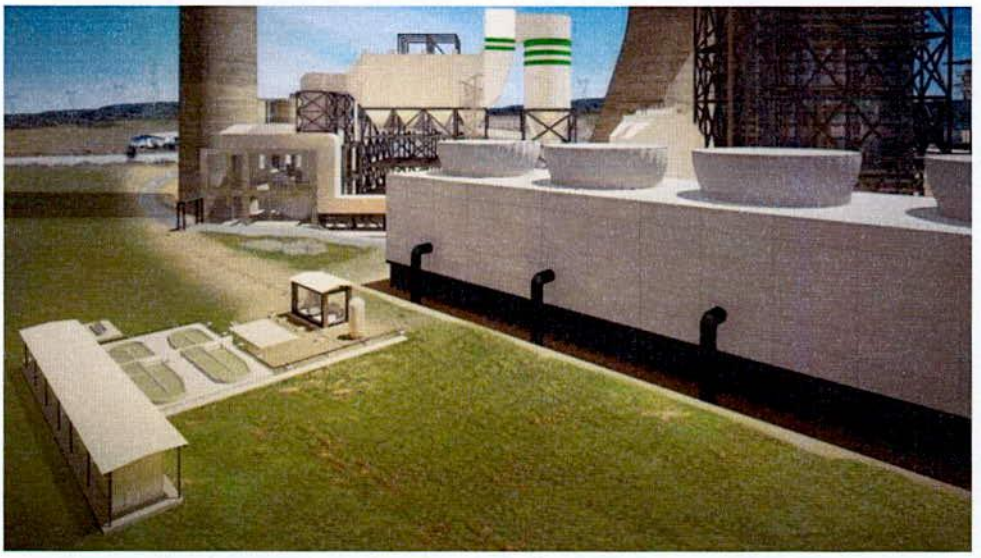
- ✓ O gás ficará armazenado, no caso da falta deste para alimentação dos fotobiorreatores, em um reservatório de aproximadamente 7 m^3, a pressão de 10 bar;
- ✓ O reservatório só entra em operação em casos de paradas de geração de energia pela Fase C. Portanto, está bypassado da tubulação normalmente utilizada;
- ✓ Concentrações médias dos gases normalmente emitidos pela CGTEE:
  - SO_x – 5000 mg/Nm^3
  - NO_x – 400 mg/Nm^3
  - Cinzas: 650 mg/Nm^3, podendo chegar a picos de 1500 mg/Nm^3 de material particulado

Observação: Em situações de partida em parada da unidade, durante a queima conjunta de carvão e óleo combustível (carga da unidade em aproximadamente 170 MW), os precipitadores eletrostáticos e o dessulfurizador permanecem desligados, quando as emissões poderão ultrapassar 5000 mg/Nm^3 para o SO_2 (média esperada de 8.000 mg/Nm^3) e também superior a 1500 mg/Nm3 para o material particulado.

- ✓ Concentração máxima permitida de emissão dos gases para a Fase C:
  - SO_x – 1.700 mg/Nm^3
  - NO_x – 680 mg/Nm^3
  - Material particulado - 265 mg/Nm^3

A Figura 18 apresenta o desenho esquemático da Planta Piloto de biofixação dos gases de combustão por microalgas. A seguir, são apresentados os fluxogramas projetados, dimensionamentos e especificações dos equipamentos que foram adquiridos, bem como as plantas e o memorial descritivo dos serviços executados de obra civil.

Figura 18: Desenho esquemático da planta piloto de biofixação de CO_2 por microalga.



Nesta etapa do Convênio, executaram-se várias atividades de planejamento, projeto, engenharia, processo e gerência pelas equipes da FURG e da Naue Engenharia. Foram projetados os fluxogramas de engenharia e processo (Figura 19 e Figura 20) e o layout para definição de localização a ser alocada à Planta Piloto (Figura 21).

Figura 19: Fluxograma de engenharia da unidade de biofixação de CO_2 por microalga

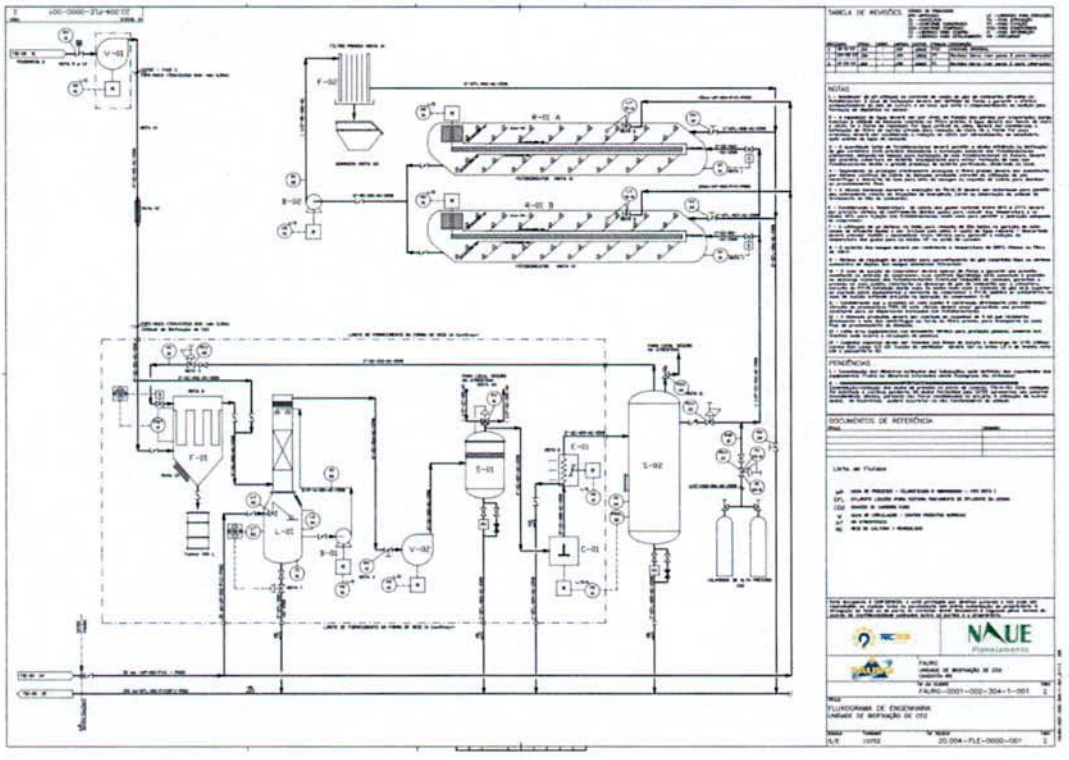


Figura 20: Fluxograma de processo da unidade de biofixação de CO_2 por microalga

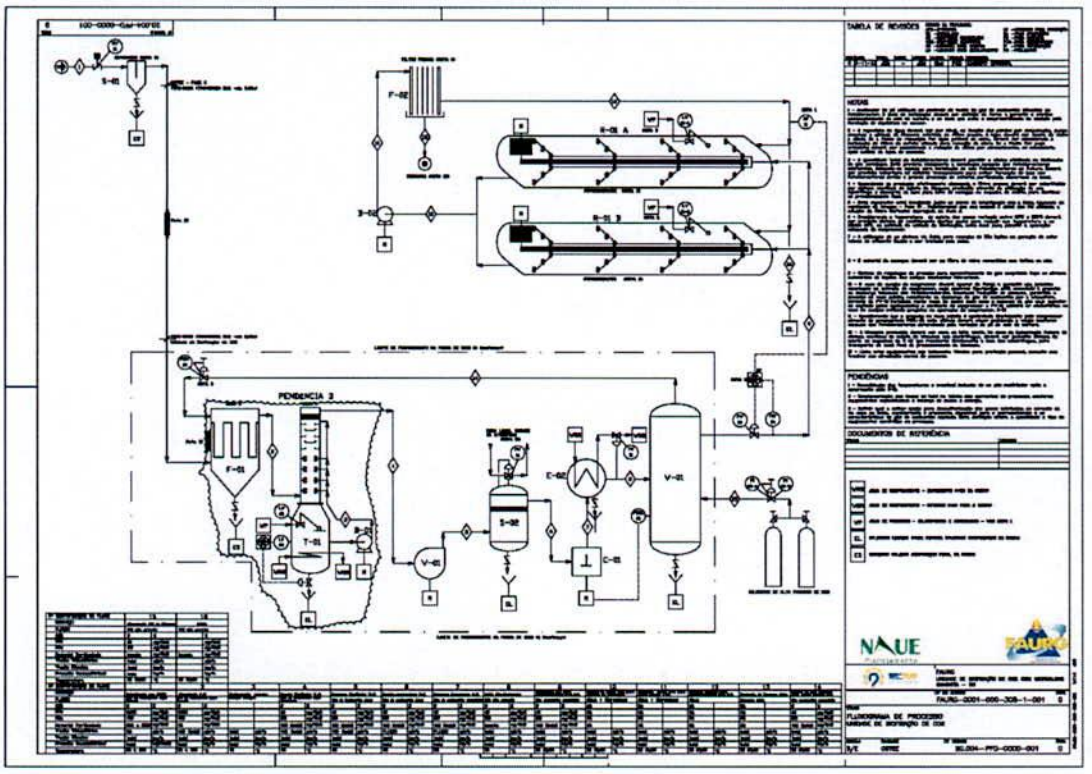
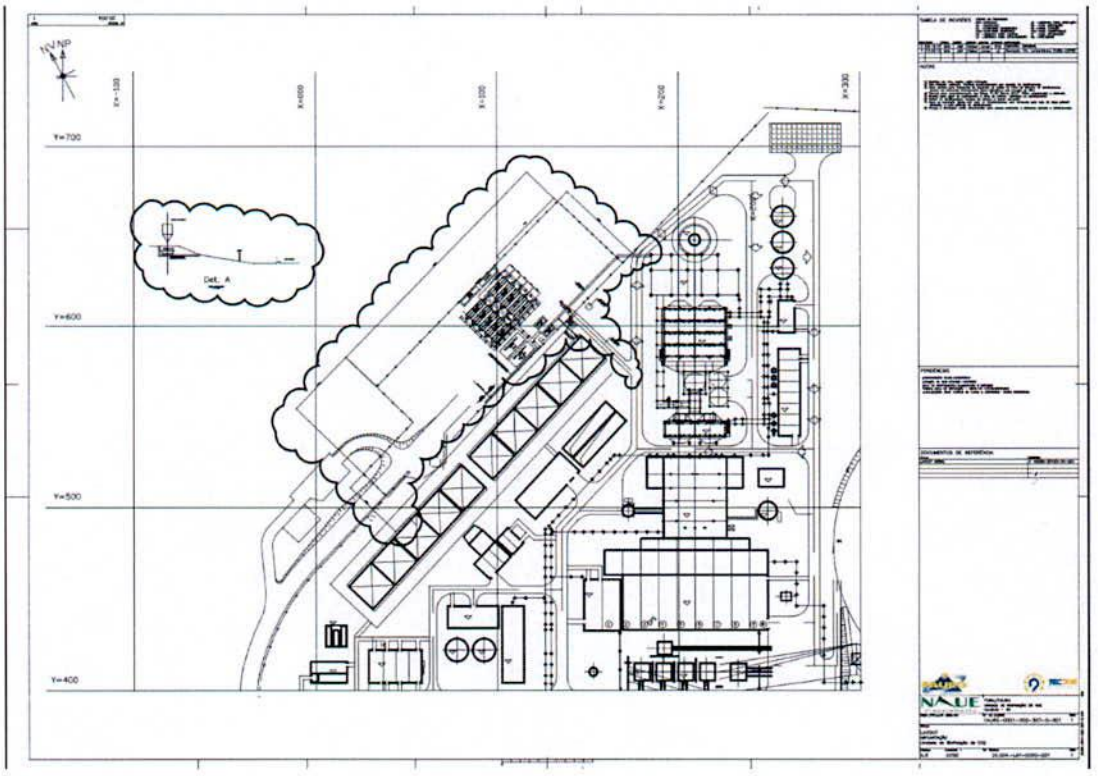


Figura 21: Layout detalhado da unidade de biofixação de CO_2 por microalgas



2.3.2 ATIVIDADES DE CAMPO REALIZADAS RELATIVAS À IMPLANTAÇÃO DA PLANTA PILOTO DE BIOFIXAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO JUNTO À FASE C

As seguintes atividades relativas à implantação da planta-piloto de biofixação de gás carbônico foram realizadas:

- ✓ Montagem da derivação (tie-in) do gás de combustão junto ao vti e chaminé da Fase C;
- ✓ Reforma do container laboratório;
- ✓ Retirada e limpeza dos fotobiorreatores e sistema de agitação localizados na antiga Planta Piloto nas proximidades da torre de resfriamento das Fases A e B;
- ✓ Execução da obra civil, referente às bases dos fotobiorreatores, containers e Skid; construção dos dormentes; sala de painéis; construção do pipe-rack e instalação da cobertura dos containers e Skid;
- ✓ Instalação e reparo dos fotobiorreatores e sistema de agitação;
- ✓ Aquisição e Montagem do Sistema de Tratamento Primário de Gases (Skid);
- ✓ Instalação e assentamento da tubulação de gás até o Skid;
- ✓ Instalação e assentamento da tubulação de gás do Skid até os fotobiorreatores;
- ✓ Instalação da linha de distribuição de gás no formato de "espinha de peixe" no fundo do fotobiorreator;
- ✓ Aquisição e instalação do filtro-prensa.

MONTAGEM DO TIE-IN

A montagem do Tie-in foi realizada entre nos dias 27 e 28/12/2013 pela Empresa VRT com supervisão de integrantes da FURG, CGTEE e da Empresa NAUE Planejamento.

Figura 22: Desenho do tie-in

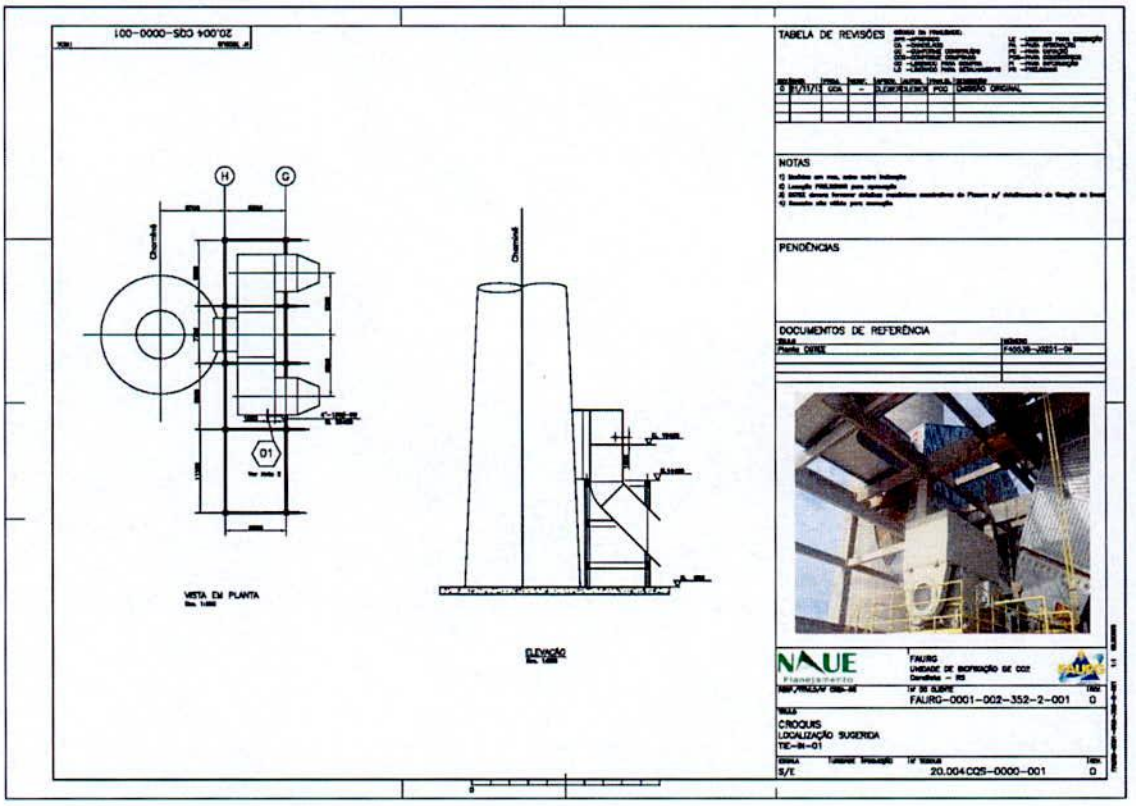


Figura 23: Local definido para tomada dos gases e início da execução do serviço

Figura 24: Material utilizado para instalação do ponto e Tie-in montado

Figura 25: Instalação do ventilador e conexão da tubulação no Tie-in na Chaminé da Fase C

REFORMA DO CONTAINER LABORATÓRIO

Figura 26: Avaliação do Engenheiro responsável pela empresa que seria contratada para realizar a reforma dos containers (22/01/2014)

Figura 27: Retirada do container laboratório (20/03/2014)

Figura 28: Retirada do container laboratório (20/03/2014)

Figura 29: Reforma do container laboratório na sede da empresa ViaCon (21/03 a 03/06/2014)

Figura 30: Reforma do container laboratório na sede da empresa ViaCon (21/03 a 03/06/2014)

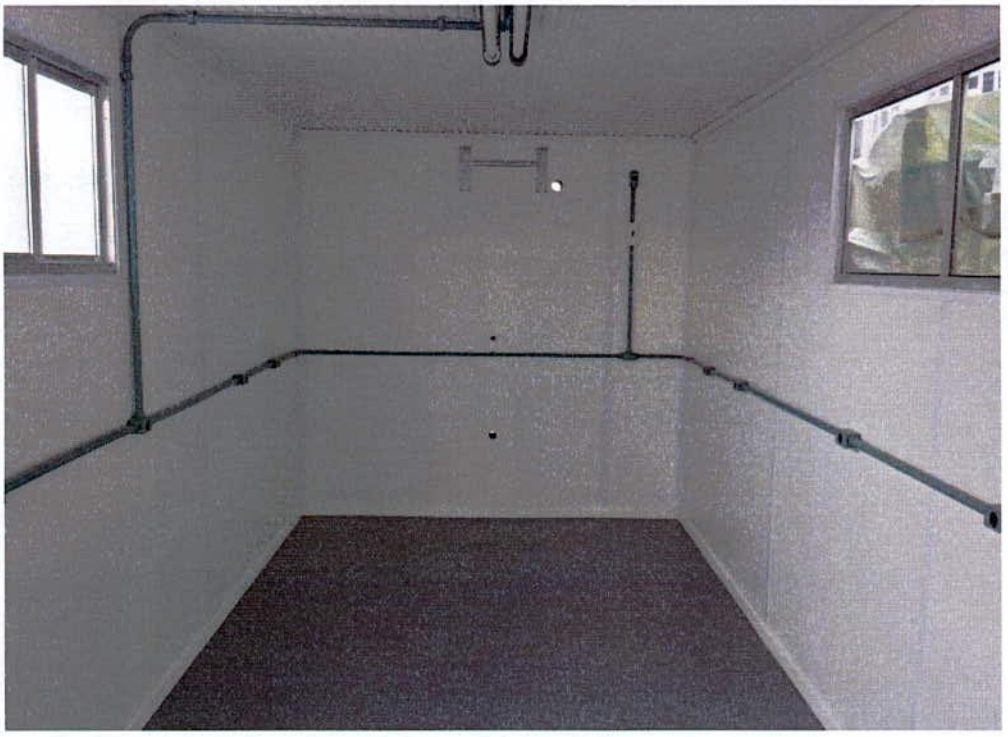


Figura 31: Entrega do container laboratório no local de instalação da planta de biofixação de CO_2 por microalgas, junto à Fase C (04/06/2014)

Figura 32: Entrega do container laboratório no local de instalação da planta de biofixação de CO_2 por microalgas, junto à Fase C. Detalhe das grades colocadas (04/06/2014)

Os biorreatores e o sistema de agitação removidos estavam instalados na antiga localização da Planta Piloto de biofixação dos gases de combustão por microalgas.

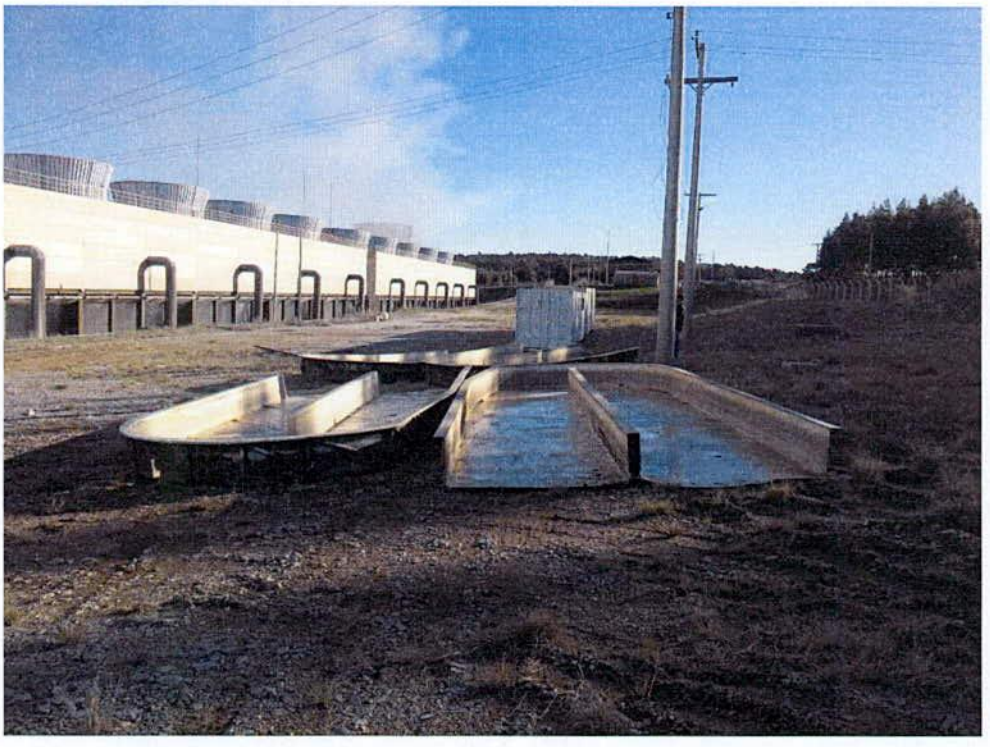
Figura 33: Remoção do sistema de agitação dos biorreatores (18/06/2014)

Figura 34: Remoção dos biorreatores (18/06/2014)

Figura 35: Remoção dos biorreatores (18/06/2014)

Figura 36: Limpeza dos biorreatores (02/07/2014)

Figura 37: Transporte dos biorreatores para a nova localização da Planta Piloto nas proximidades da Fase C (02/07/2014)



EXECUÇÃO DA OBRA CIVIL

LAYOUT DA PLANTA PILOTO DE BIOFIXAÇÃO DE CO_2

CONSTRUÇÃO DA PLANTA PILOTO NA NOVA LOCALIZAÇÃO (FASE C)

Figura 38: Marcação das coordenadas para início da construção das bases (29/10/2014)

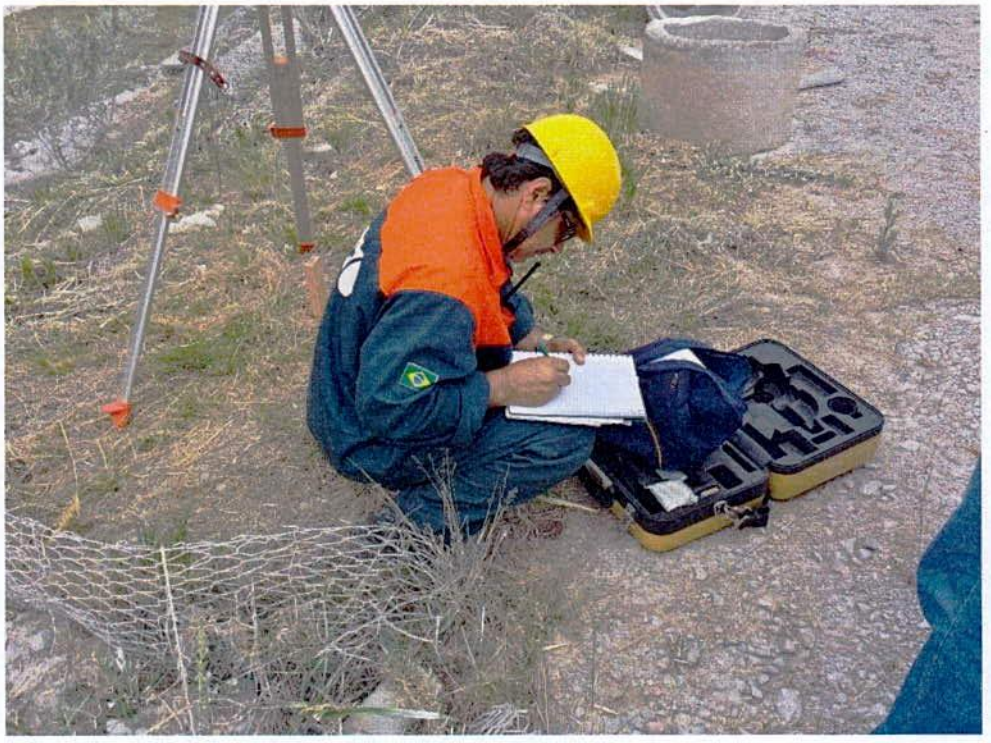


Figura 39: Início da construção das bases (04/11/2014)

Figura 40: Base dos containers e início da construção das bases dos fotobiorreatores

Figura 41: Bases dos fotobiorreatores e do Skid concluídas

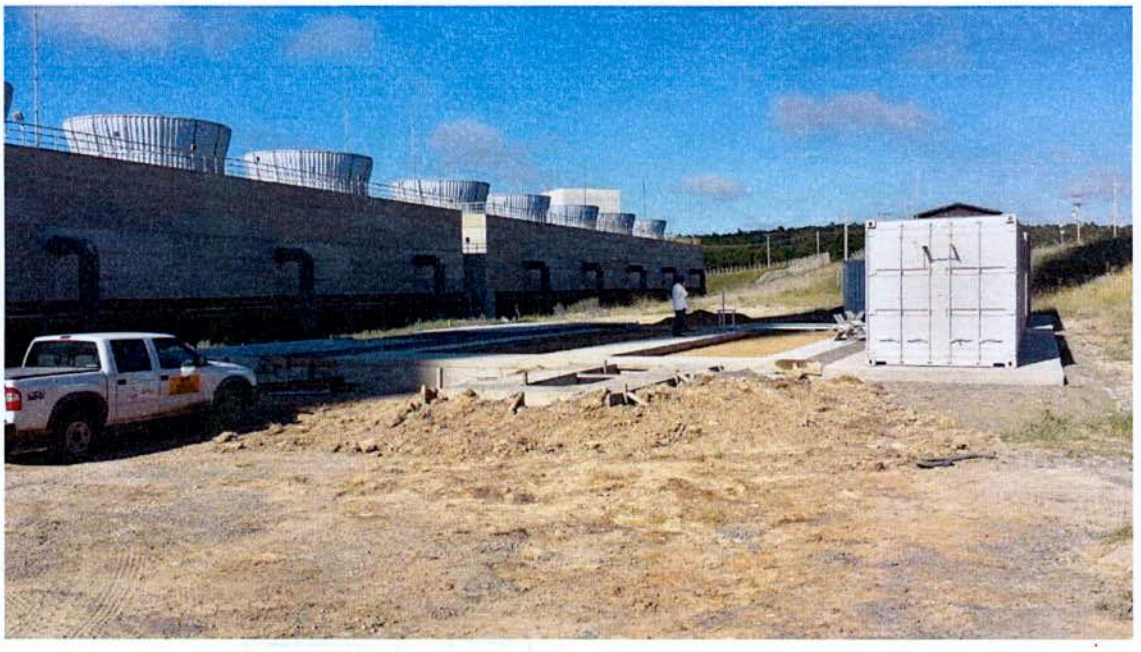


Figura 43: Construção dos dormentes para assentamento da tubulação de gás

Figura 44: Desenho do pipe-rack e cobertura do skid

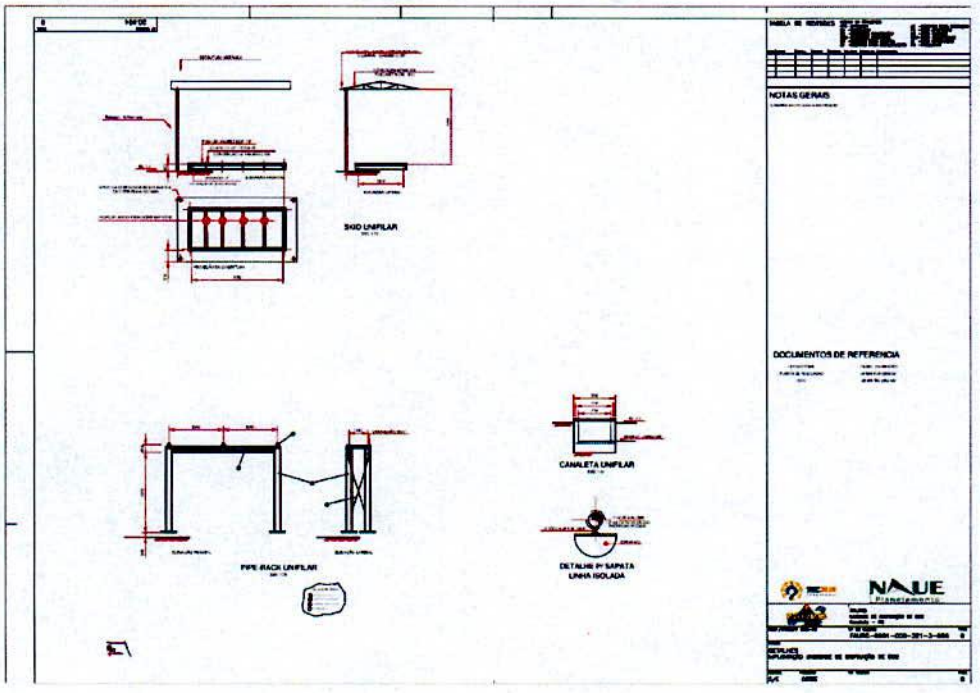


Figura 45: Construção do pipe-rack para passagem da tubulação de gás

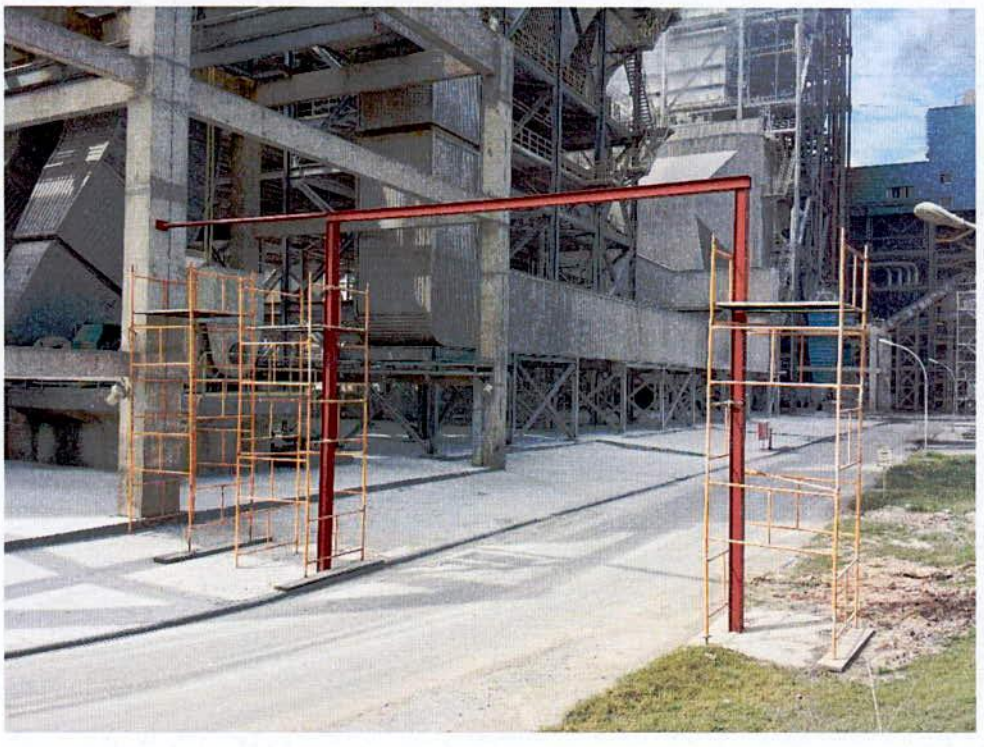


Figura 46: Desenho da cobertura dos containers

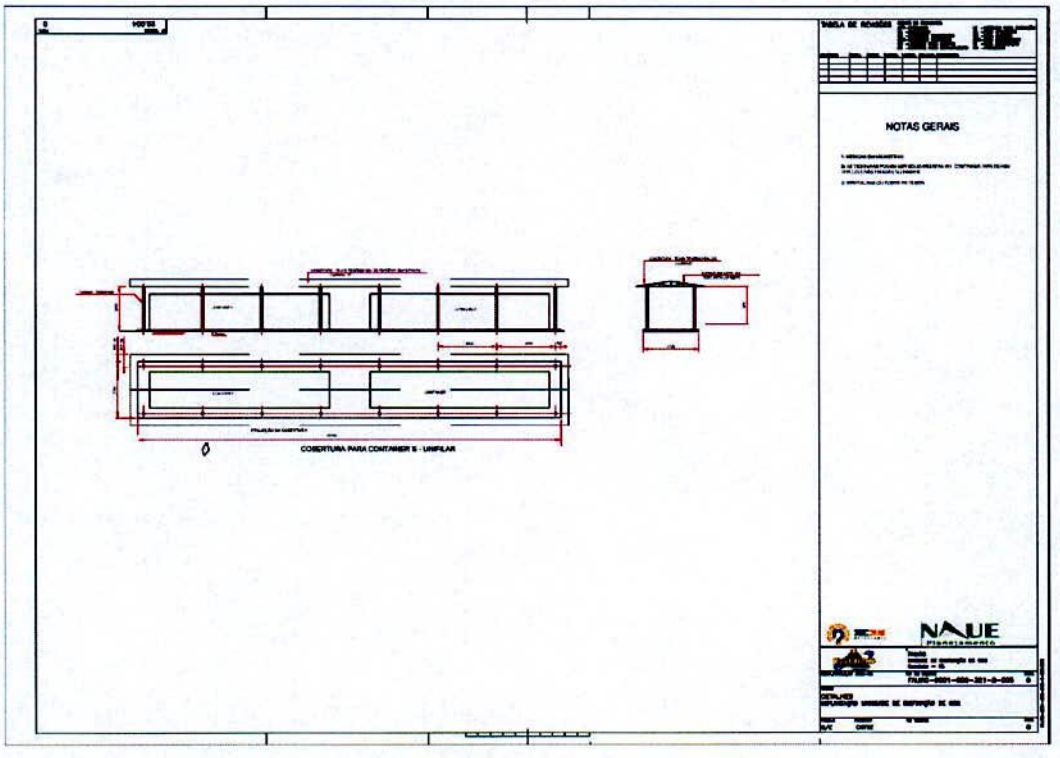


Figura 47: Instalação da cobertura dos containers

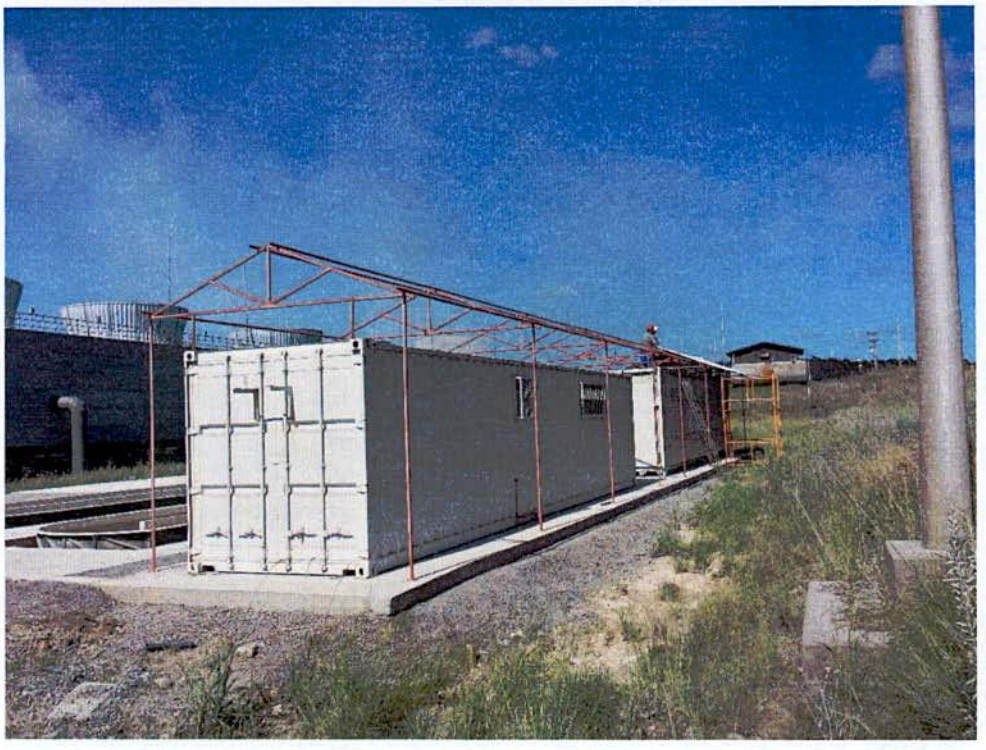


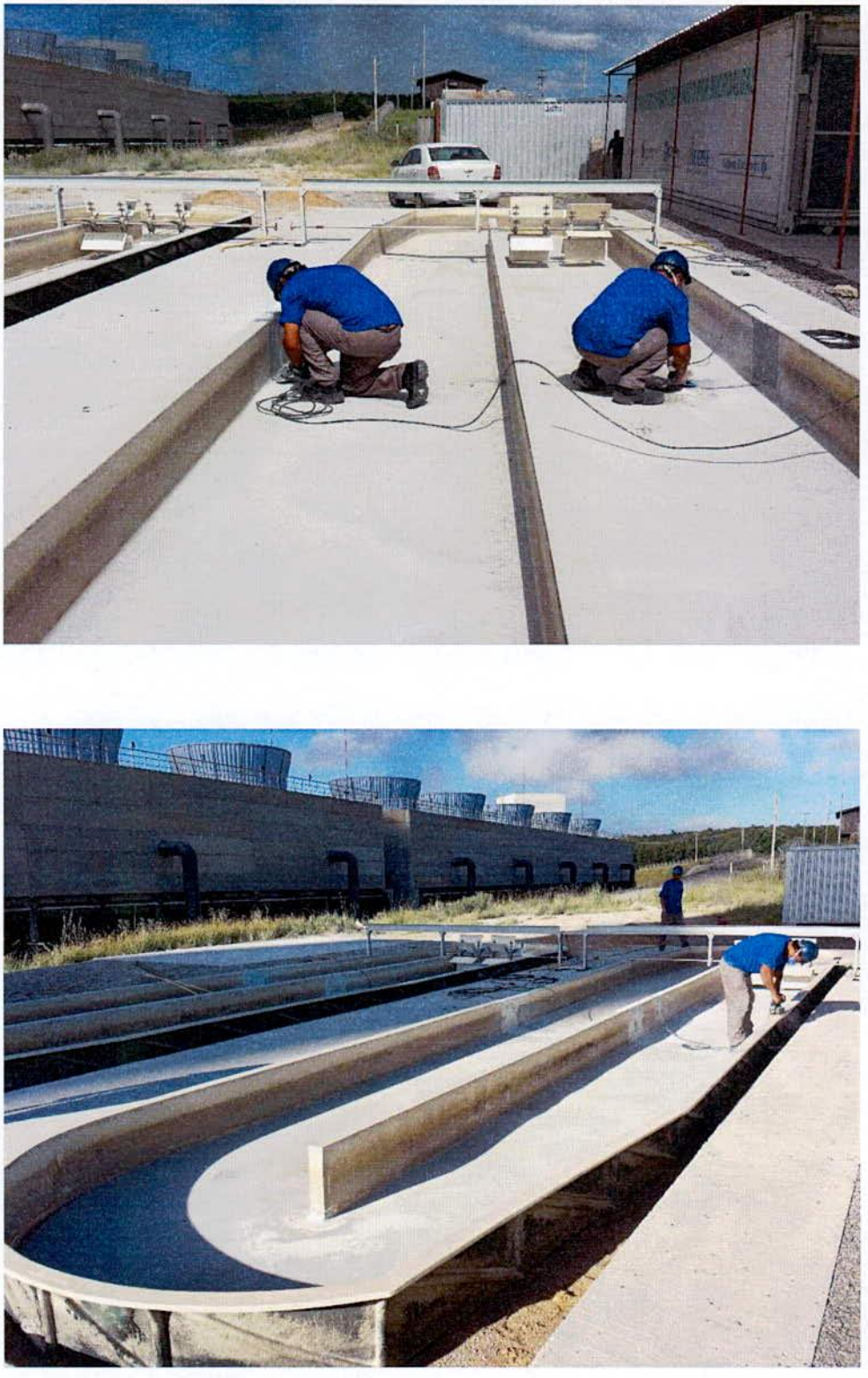
Figura 48: Instalação da cobertura do Skid

INSTALAÇÃO E REPARO DOS FOTOBIORREATORES E SISTEMA DE AGITAÇÃO

Figura 49: Instalação dos fotobiorreatores e sistema de agitação

Figura 50: Instalação dos fotobiorreatores e sistema de agitação

Figura 51: Reparo nos fotobiorreatores instalados na atual Planta Piloto



SKID DO SISTEMA DE TRATAMENTO E COMPRESSÃO DO GÁS DE COMBUSTÃO

Figura 52: Skid do sistema de tratamento e compressão de gases

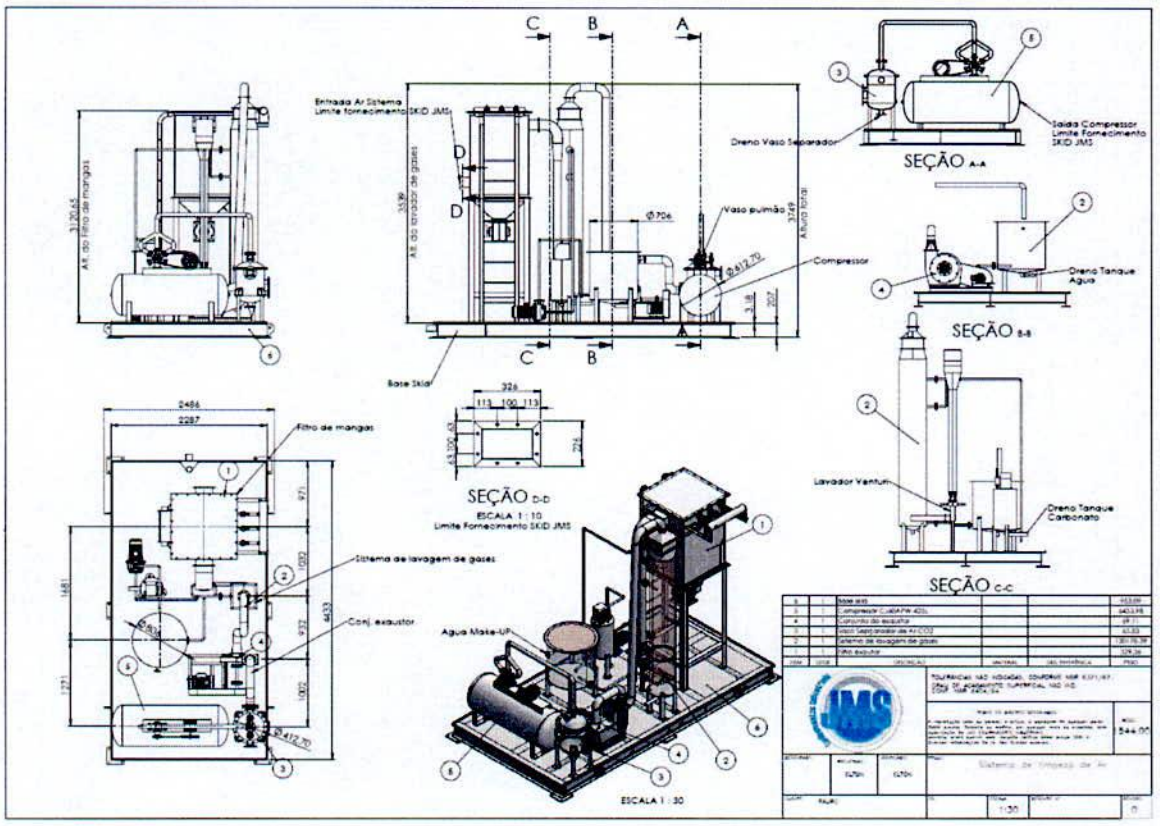
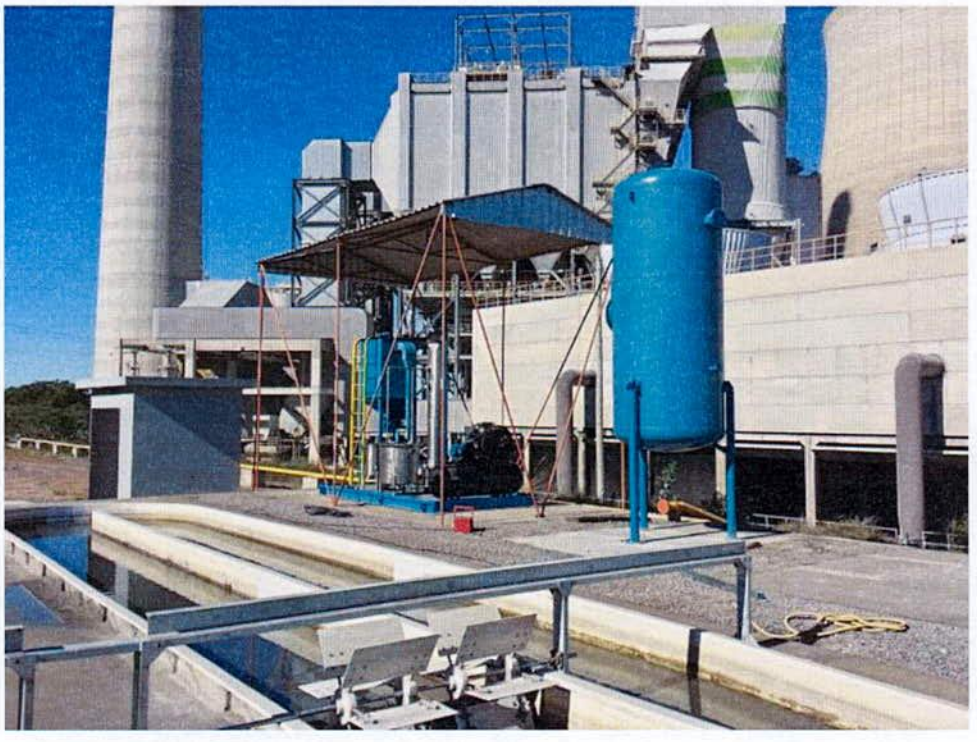


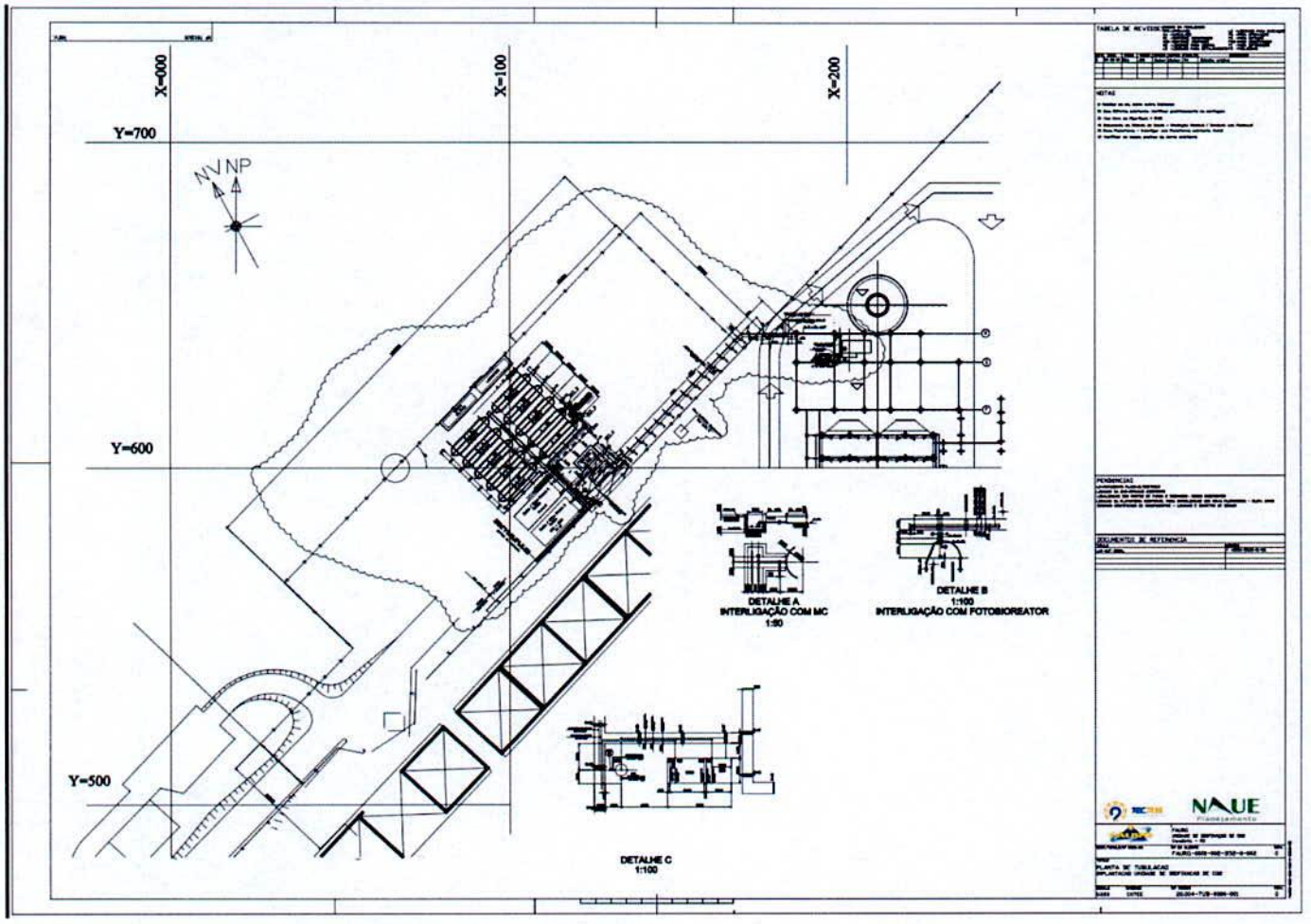
Figura 53: Montagem dos equipamentos que compõem o Skid

Figura 54: Montagem dos equipamentos que compõem o Skid

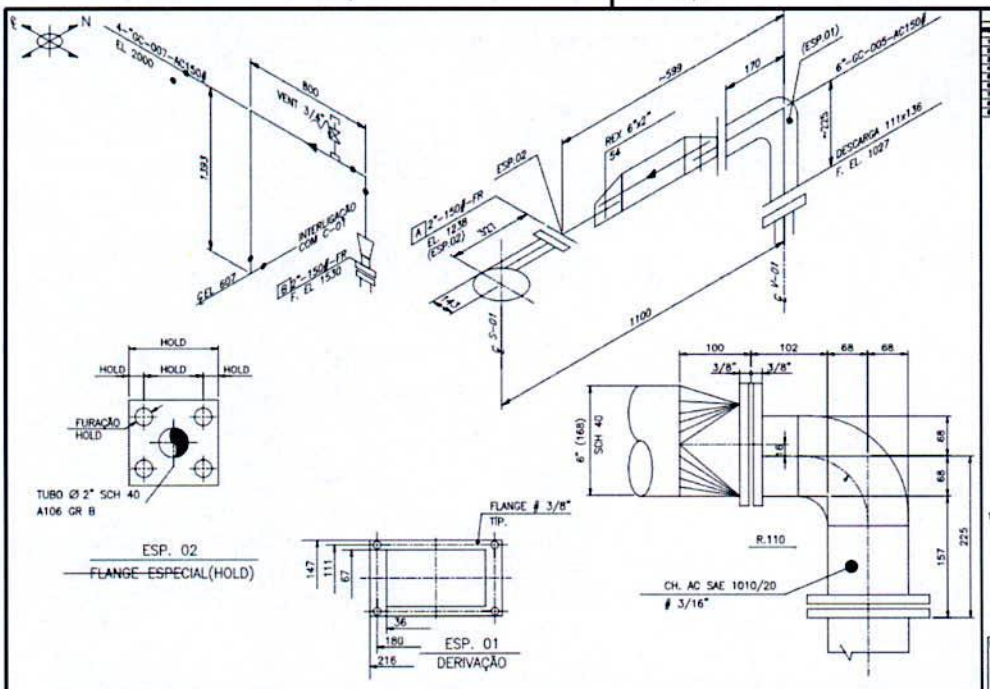
Figura 55: Montagem do Skid e Vaso de armazenagem de gás na Planta Piloto



PLANTA DA TUBULAÇÃO DO GÁS DE COMBUSTÃO


X=000
X=100
X=200
Y=700
Y=600
Y=500
NVNP
DETALHE A
INTERLIGAÇÃO COM MC
1:50
DETALHE B
1:100
INTERLIGAÇÃO COM FOTOBIORESATOR
DETALHE C
1:100
NOTAS
PENDÊNCIAS
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
NAUE

ISOMÉTRICOS DA TUBULAÇÃO DE GÁS DE COMBUSTÃO, DAS LIGAÇÕES ENTRE EQUIPAMENTOS, ATÉ FOTOBIORREATORES E DE ÁGUA



MATERIAL			
ITEM	#	QUAL	DESCRIÇÃO
1	6"	GA	TUBO A53-B-SCH 40-A106 GR B-SE
2	2"	GA	TUBO A53-B-SCH 40-A106 GR B-SE
3	6"	GA	TUBO A53-B-SCH 40-A106 GR B-SE
4	PEÇA	1	FLANGE SCH 40-A350 LF2CL1
5	PEÇA	1	FLANGE 3000 LB-A350 LF2CL1
6	REF	1	[illegible]
7	REF	1	[illegible]
8	REF	1	[illegible]
9	REF	GA	TUBO A53-B-SCH 40-A106 GR B

PENDÊNCIAS

1) Dados técnicos e desenhos dos equipamentos efetivamente comprados pela FAURG.

Este Desenho tem a finalidade de servir apenas como referencia para orçamento do serviço de montagem e estimativa de custo de materiais. Deverá ser revisado após eliminação das pendencias. --DESENHO NÃO LIBERADO PARA EXECUÇÃO

LISTA DE VERIFICAÇÃO					
ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO

NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.

LEGENDA:

(NO) – NOVO ——— CONTINUA - - - - - EXISTENTE (RE) – EXISTENTE A RELOCAR

(RE) – RELOCADO (R) A RETIRAR (S) SOLDA DE CAMPO (F) AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE---0000-001

PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA										
#	NÚMERO	ESPEC.	RECIPIENTE TÉRMICO TIPO	RECIPIENTE TÉRMICO ESPESS.	CONDIÇÕES DE PROJETO PRESS. (MPa)	CONDIÇÕES DE PROJETO TEMP. (°C)	TESTE PRESS. (MPa)	TESTE TIPO
6"	GC-005/007	AC150#	–	–	–	–	–	–

REV	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.04.14	NAUE	GCA	Cleber

ARQUIVO ELETRÔNICO: 6"-GC-003

Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-008

NAUE Planejamento

CENTRO: FAURG-COTEE

PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS

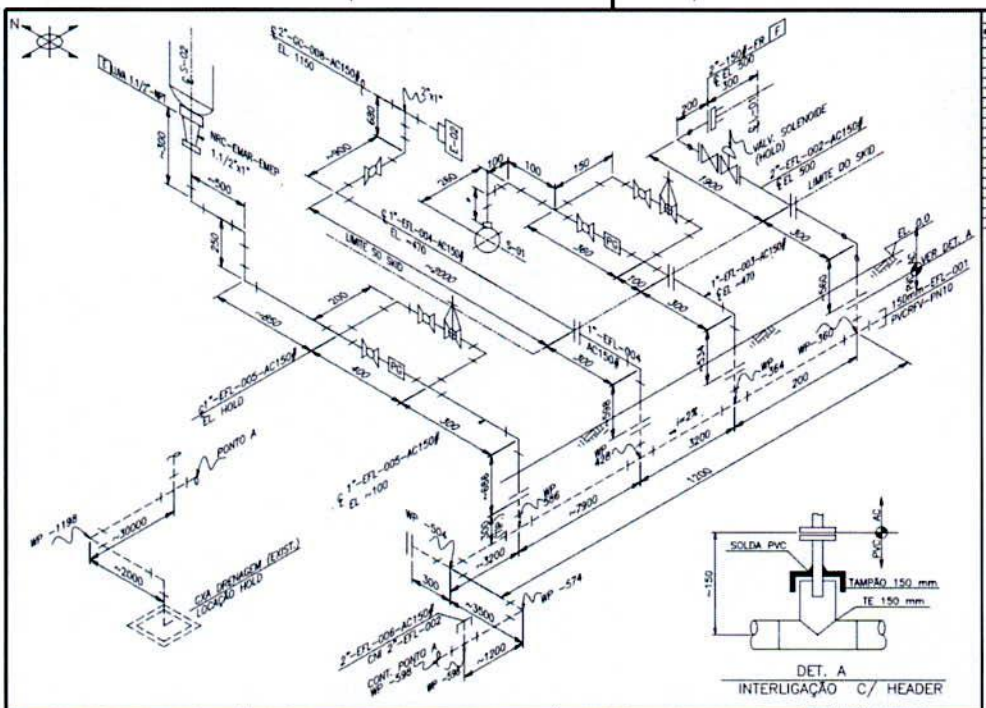
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2

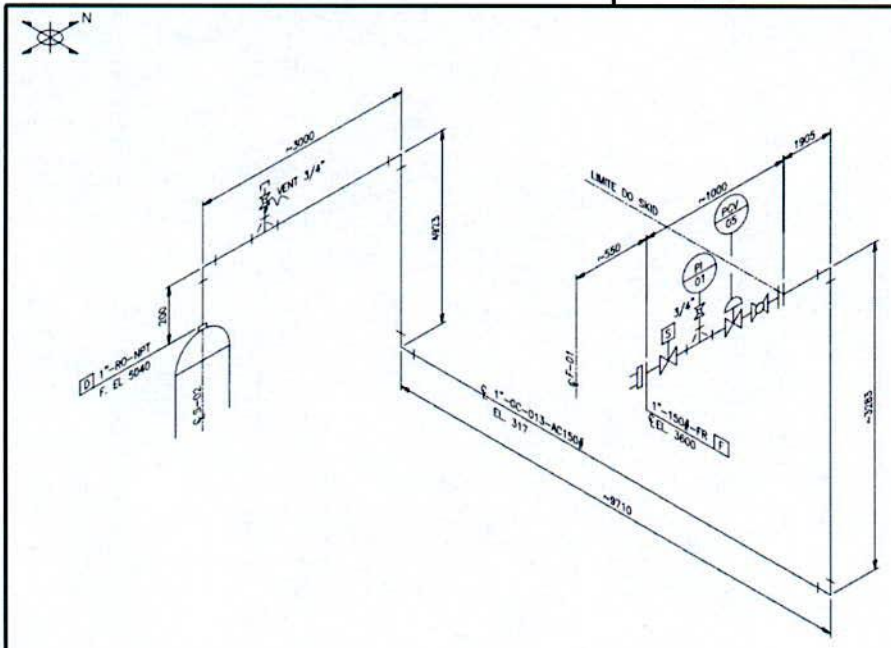
TÍTULO: ISOMÉTRICO 6"-GC-005/007-AC150#

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
NAUE	JCR	GCA	Cleber	23.04.14

Nº FAURG-0001-002-351-3-001 FOLHA 1/1 REV 0

FORMATO A3-ISO


N
2"-GC-008-AC150#
EL 1100
3"x1"
1"x1"
1.1/2"x1"
MRC-EMAR-EMEP
~500
~300
~500
250
~650
~260
100
150
120
~360
~410
~2007
~400
200
~400
300
~300
~1000
~1200
~1200
~1200



MATERIAL

ITEM	Ø	QTDE	DESCRIÇÃO GENÉRICA
1	1"	30	TUBO SCH.80 AÇO AISI 316 S
2	1"	1	JOELHO 90 SCH.80 AISI 316
3	1"	1	LUVA SCH.80 AISI 316
4	1"	1	JUNTA TIPO ANEL DE ARAMIDA
5	1"x3/4"	1	TE RED. SCH.80 AISI 316
6	3/4"	30	TUBO SCH.80 AÇO AISI 316 S
7	3/4"	1	TAMPÃO SCH.80 AISI 316
8	1"	1	FLANGE SOBREPOR AISI 316 #150
9	NPT-3/4"	1	ESPIGA AISI 316 P/ SOLDA AISI 316
10	1"	1	VÁLVULA ESFERA
11	3/4"	1	VÁLVULA ESFERA

PENDÊNCIAS

1) Dados técnicos e desenhos dos equipamentos efetivamente comprados pela FAURG.

Este Desenho tem a finalidade de servir apenas como referencia para orçamento do serviço de montagem e estimativa de custo de materiais. Deverá ser revisado após eliminação das pendencias. --DESENHO NÃO LIBERADO PARA EXECUÇÃO

LISTA DE VERIFICAÇÃO

ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.

LEGENDA:
NOVO — EXISTENTE — (DE) DEMOLIDO — (RE) EXISTENTE A RELOCAR
SOLDA DE CAMPO — AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE--0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	TIPO	ESPESS.	PINTURA EXT./INT.	ISOL. TÉRM. ESPESS.	ISOL. TÉRM. TIPO
1"	GC-013	AC150#	-	-	-	-	-

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.04.14	NAUE	GCA	Cleber

ARQUIVO ELETRÔNICO: 1"-GC-013
Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-011

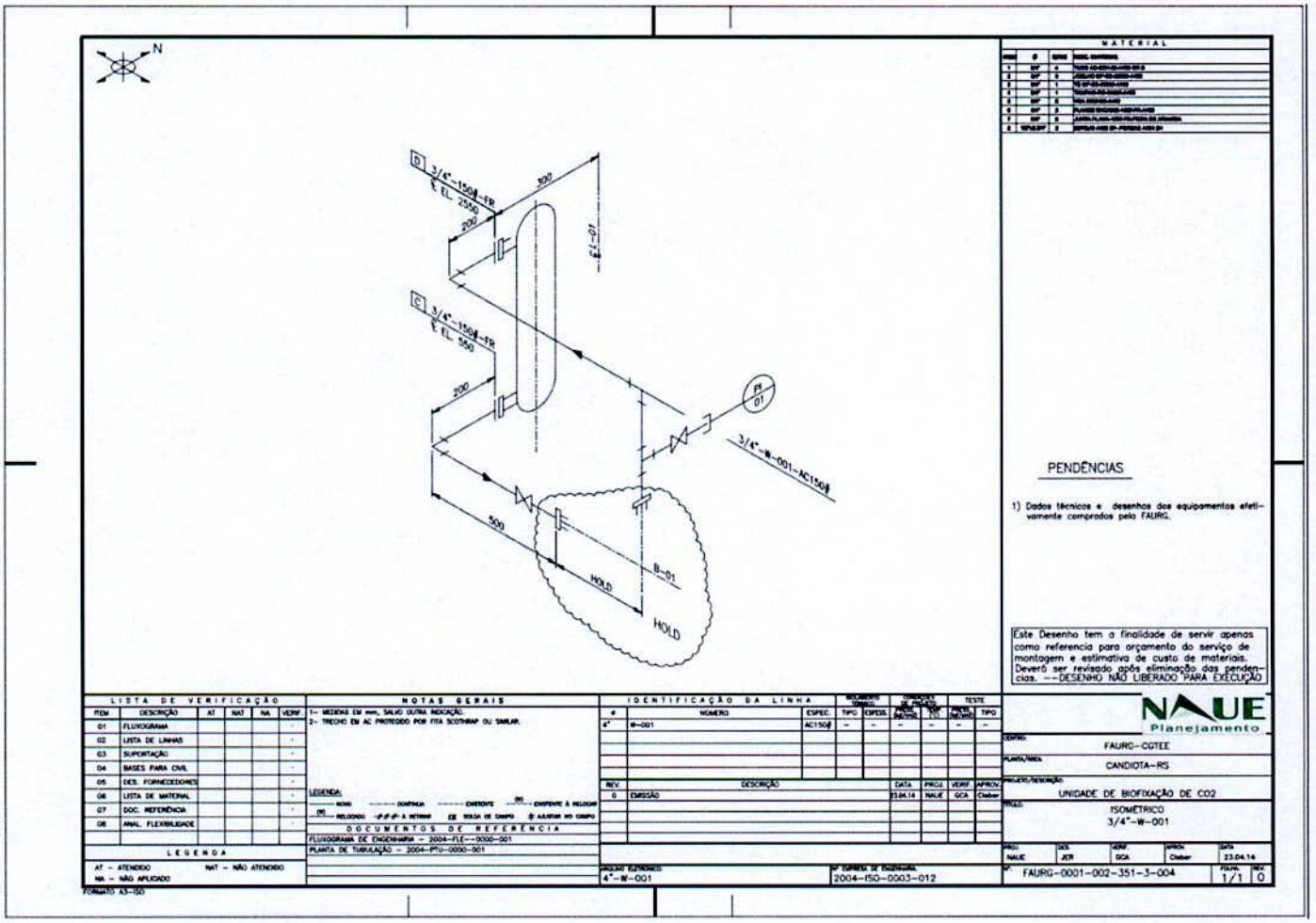
NAUE Planejamento

CLIENTE: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
DESENHO: ISOMÉTRICO 1"-GC-013

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
NAUE	JER	GCA	Cleber	23.04.14

Nº: FAURG-0001-002-351-3-003 FOLHA: 1/1 REV: 0

FORMATO A3-ISO



MATERIAL

ITEM	Ø	QUANT.	DESCRIÇÃO
1	3/4"	4	
2	3/4"	5	
3	3/4"	1	
4	3/4"	1	
5	3/4"	2	
6	3/4"	2	
7	3/4"	2	
8	SPHLEP	2	

PENDÊNCIAS

1) Dados técnicos e desenhos dos equipamentos efetivamente comprados pela FAURG.

Este Desenho tem a finalidade de servir apenas como referencia para orçamento do serviço de montagem e estimativa de custo de materiais. Deverá ser revisado após eliminação das pendencias. ---DESENHO NÃO LIBERADO PARA EXECUÇÃO

LISTA DE VERIFICAÇÃO

ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.
2- TRECHO EM AC PROTEGIDO POR FITA SCOTCHRAP OU SIMILAR.

LEGENDA:
NOVO ——— EXISTENTE ——— EXISTENTE A REMOVER
(W) – WELDOLET -###- A RETIRAR ⊠ SOLDA DE CAMPO ⊕ AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE-0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	REVESTIMENTO EXTERNO TIPO	REVESTIMENTO EXTERNO ESPESS.	TRATAMENTO TÉRMICO ANTES DA SOLDA	TRATAMENTO TÉRMICO DUR.	TESTE HIDROST. PRESSÃO	TESTE HIDROST. TIPO
4"	W-001	AC150#	–	–	–	–	–	–

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.04.16	NAUE	GCA	Cleber

ARQUIVO ELETRÔNICO: 4"-W-001
Nº DESENHO DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-012

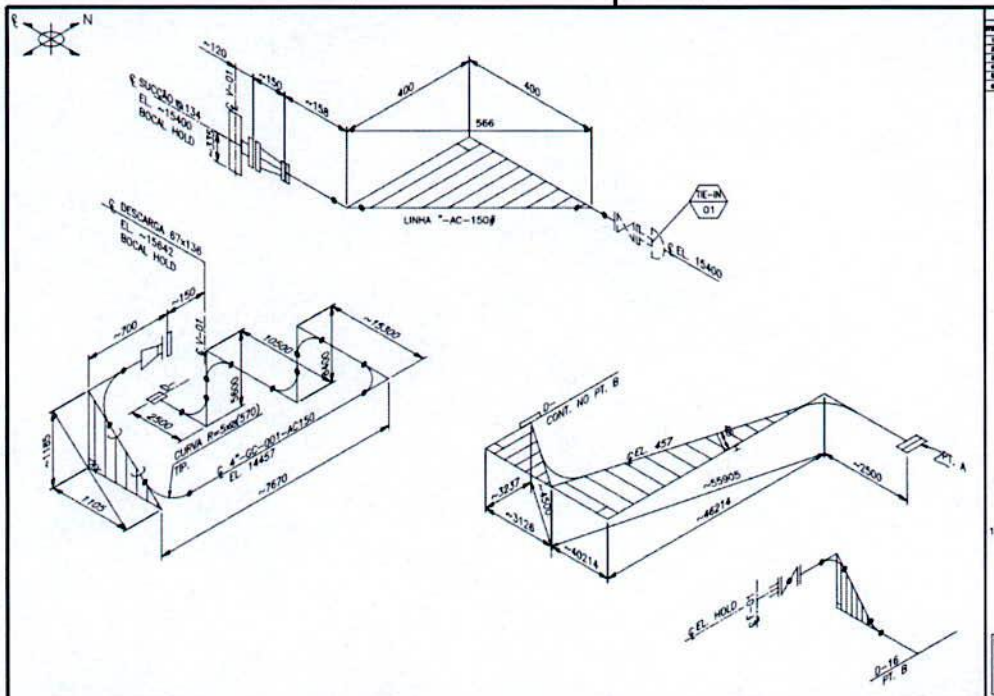
NAUE Planejamento

CENTRO: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/LOCALIZAÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 3/4"-W-001

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
NAUE	JCR	GCA	Cleber	23.04.16

Nº FAURG-0001-002-351-3-004 FOLHA 1/1 REV. 0

FORMATO A3-ISO



MATERIAL			
ITEM	Ø	QUANT	DESCRIÇÃO MATERIAL
1	4"	1/0	TUBO 10.3001-05-A150 SCH 40 S/C
2	4"	1	4" ESPECIALIDADE PARA PLANTA
3	4"	1	4" ESPECIALIDADE PARA ISOMETRICO
4	4"	1	4" ESPECIALIDADE PARA ISOMETRICO
5	MPAF	A	PARAFUSO ASTM A193 GR B7/PORCA ASTM A194 2H
6	4"	m	JUNTA PLANA PTFE/ANAMIDA

PENDÊNCIAS

1) Dados técnicos e desenhos dos equipamentos efetivamente comprados pela FAURG.

Este Desenho tem a finalidade de servir apenas como referencia para orçamento do serviço de montagem e estimativa de custo de materiais. Deverá ser revisado após eliminação das pendencias. --DESENHO NÃO LIBERADO PARA EXECUÇÃO

LISTA DE VERIFICAÇÃO

ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.

LEGENDA:
NOVO ——— CONTINUA ------ EXISTENTE (R)--- EXISTENTE A RELOCAR
(R) --- RELOCADO -o-o-o- A RETIRAR ⊠ SOLDA DE CAMPO ✲ AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE---0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

Ø	NÚMERO	ESPEC.	TIPO	ESPESS.	ISOLAMENTO TÉRMICO ESPESS.	TIPO	TRAÇADO DE PROJETO ANÁLISE FLEX.	TRAÇADO DE PROJETO CÁLC.	TESTE PRESS. HIDROST.	TESTE TIPO
4"	GC-001	AC150#	–	–	–	–	–	–	–	–

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.04.14	NAUE	GCA	Cleber

ARQUIVO ELETRÔNICO: 4"-GC-001
Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-150-0003-001

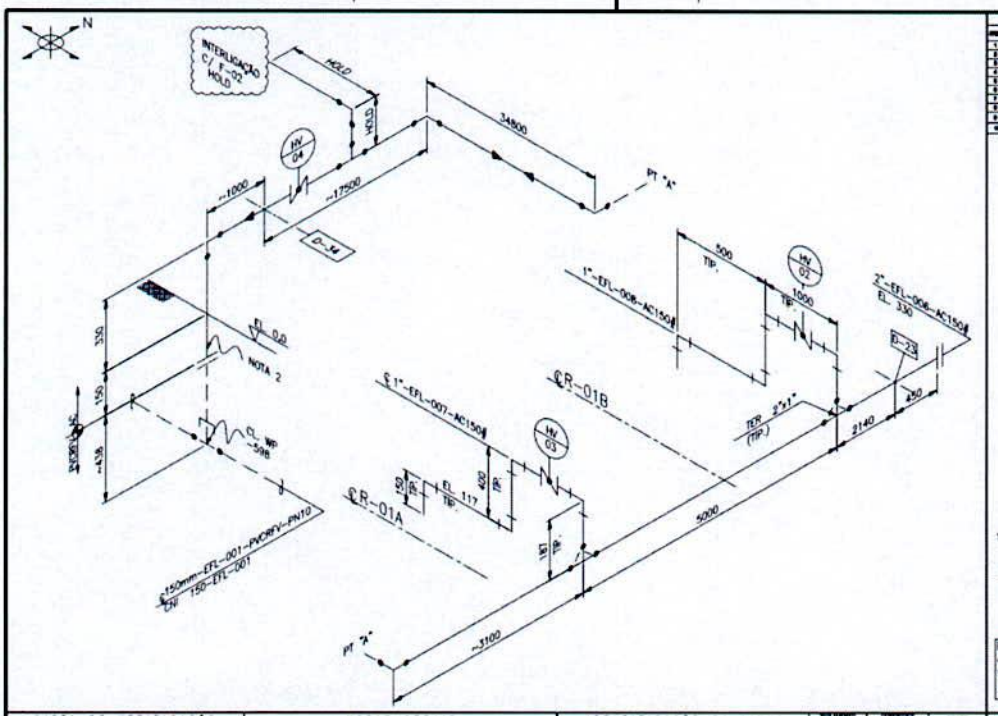
NAUE Planejamento

CENTRO: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 4"-GC-001-AC150#

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
NAUE	JER	GCA	Cleber	23.04.14

Nº: FAURG-0001-002-351-3-005 FOLHA: 1/1 REV: 0

FORMATO A3-ISO



MATERIAL

ITEM	Ø	QUANT.	DESC. MATERIAL
1	2"	4,0	TUBO AÇO-CARBONO API 5L GR.B AÇO ASTM A106 GR.B SCH 40
2	2"	30	TUBO AÇO-CARBONO API 5L GR.B AÇO ASTM A106 GR.B SCH 40
3	2"x1"	2	TE RED. SOCKET-WELDING, A105, ASME B16.11
4	2"	5	JOELHO 90°, SOCKET-WELDING, A105, ASME B16.11
5	2"	4	FLANGE 150#, SOCKET-WELDING, A105, ASME B16.5
6	2"	1	TAP MACHO AÇO-CARBONO, A105, ASME B16.11
7	2"	5	PLUG AÇO-CARBONO, A105, ASME B16.11
8	2"	1	FLANGE CEGO, 150#, RTJ, ASTM A105, ASME B16.5
9	SEPLIG MAT	0	SEPTUGO AÇO-CARBONO API 5L GR.B SCH 40
10	2"	2	JUNTA ESPIRO, 1,5mm, PERFIL EM ESPIRAL DE ESPESSURA AÇO

PENDÊNCIAS

1) Dados técnicos e desenhos dos equipamentos efetivamente comprados pela FAURG.
- HV3
- INTERLIGAÇÃO COM F-02
- DES. EQUIPAMENTOS
  F-01A/B
  F-02

Este Desenho tem a finalidade de servir apenas como referencia para orçamento do serviço de montagem e estimativa de custo de materiais. Deverá ser revisado após eliminação das pendencias. --DESENHO NÃO LIBERADO PARA EXECUÇÃO

LISTA DE VERIFICAÇÃO

ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				
02	LISTA DE LINHAS				
03	SUPORTAÇÃO				
04	BASES PARA CIVIL				
05	DES. FORNECEDORES				
06	LISTA DE MATERIAL				
07	DOC. REFERÊNCIA				
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.

LEGENDA:
NOVO ---- EXISTENTE (R) EXISTENTE A RELOCAR
(R) RELOCADO -F-F-F- A RETIRAR SF SOLDA DE CAMPO AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE-0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	TESTE TEMPO TIPO	TESTE TEMPO ESPESS.	DIMENSÕES DE PROJETO PRESS. (kgf/cm²)	DIMENSÕES DE PROJETO TEMP. (°C)	TESTE PRESS. (kgf/cm²)	TESTE TIPO
2"	EFL-006	AC150#	–	–	–	–	–	–
1"–	EFL-007	AC150#	–	–	–	–	–	–
1"–	EFL-0085	AC150#	–	–	–	–	–	–

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.06.14	NAUE	GCA	Cleber

ARQUIVO ELETRÔNICO: 2"-EFL-002
Nº EXPRESS DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-002

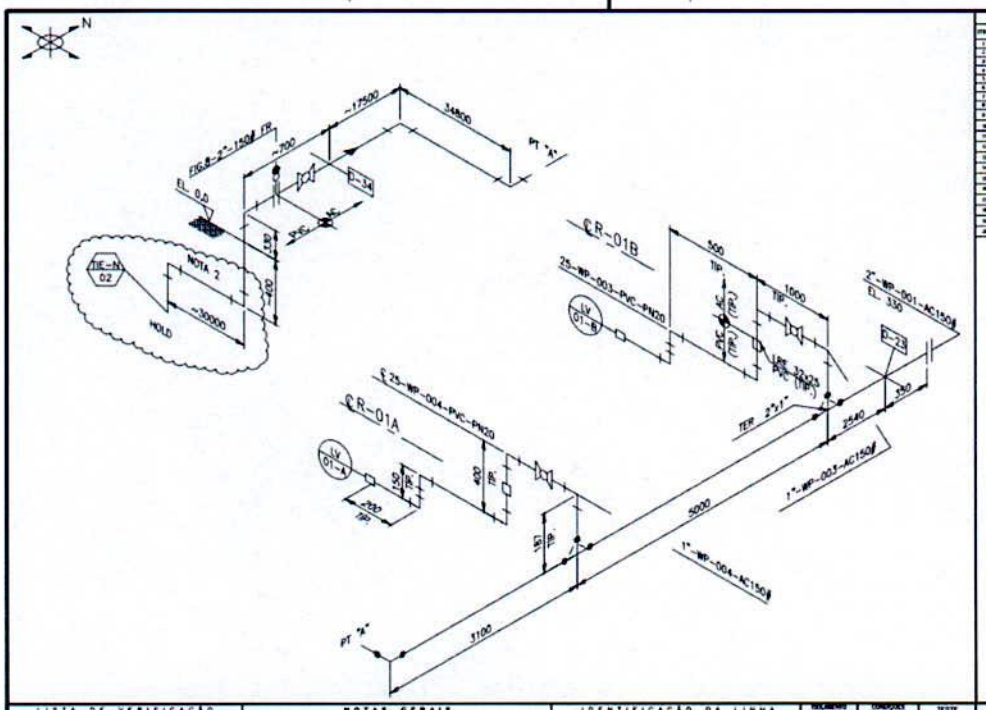
NAUE Planejamento

CENTRO: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/LOCAÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 2"-EFL-006-AC150#

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
NAUE	JER	GCA	Cleber	30.05.14

Nº FAURG-0001-002-351-3-006 FOLHA 1/1 REV. 0

FORMATO A3-ISO



MATERIAL

ITEM	Ø	QTDE	MATERIAL
1	2"	20	TUBO PVC-PN20
2	2"	5	LUVA DE PVC-PN20
3	2"	1	FLANGE, CBR/CLOCHE
4	2"	1	FLANGE SOBREPOSTO 1500 TIO, NETA 4300, NBR 8183
5	2"	1	FLANGE CEGO 1500 TIO, NETA 4300, NBR 8183
6	2"	5	JUNTA ESPIR. Lâmina PERM. EM ARAMIDA C/ BORRACHA 1500
7	1"	4	PARAFUSO M7 PORCA M7 ARRUELA
8	1"	4	PARAFUSO M8 X 60 PORCA M8 ARRUELA
9	2"	10	TUBO 6 MM PC SCH 40 ASME B36.10
10	1"	2	TUBO 6 MM PC SCH 80 ASME B36.10
11	2"x1"	2	TE RED. 3000 PC SPEC ASTM A105 ASME B16.11
12	2"	2	CURVA 90° SCH 40 PC, NETA 4230 C/ PONTA, ASME B16.9
13	2"	4	JOELHO 90° 3000 PC SPEC ASTM A105 ASME B16.11
14	1"	2	LUVA, PEÇ PVC-PN20
15	Anel	2	LUVA, PEÇ SEC PVC-PN20
16	2"	4	JOELHO, PEÇ PVC-PN20
17	2"	3	TUBO, PVC-PN20
18	2"	1	FLANGE PVC 150# PN20
19	2"	2	VÁLVULA ESFERA AÇO 1000 PSI
20	1"	2	VÁLVULA ESFERA AÇO 1000 PSI

PENDÊNCIAS
- LV's
- TIE-IN 02
- DES. EQUIPAMENTO R-01A/B

TECDUS

LISTA DE VERIFICAÇÃO

ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				
02	LISTA DE LINHAS				
03	SUPORTAÇÃO				
04	BASES PARA CIVIL				
05	DES. FORNECEDORES				
06	LISTA DE MATERIAL				
07	DOC. REFERÊNCIA				
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.
2- TRECHO EM AC PROTEGIDO POR FITA SCOTCHRAP OU SIMILAR.

LEGENDA:
NOVO — — — CENTRALIZA — · — · — EXISTENTE – [R] – EXISTENTE A RELOCAR
[RE] RELOCADO –P-P-P-P- A RETIRAR DE SOLDA DE CAMPO ⊕ AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE-0005-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	TRATAMENTO TÉRMICO TIPO	TRATAMENTO TÉRMICO ESPESS.	COMPONENTES DE PROCESSO PMTA	COMPONENTES DE PROCESSO TEMP.	TESTE PRESS.	TESTE TIPO
2"	WP-001	AC150#	–	–	–	–	–	–
1"	WP-003	AC150#	–	–	–	–	–	–
1"	WP-004	AC150#	–	–	–	–	–	–

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.04.14	TECDUS	GCA	JON

ARQUIVO ELETRÔNICO: 2"-WP-001
Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-003

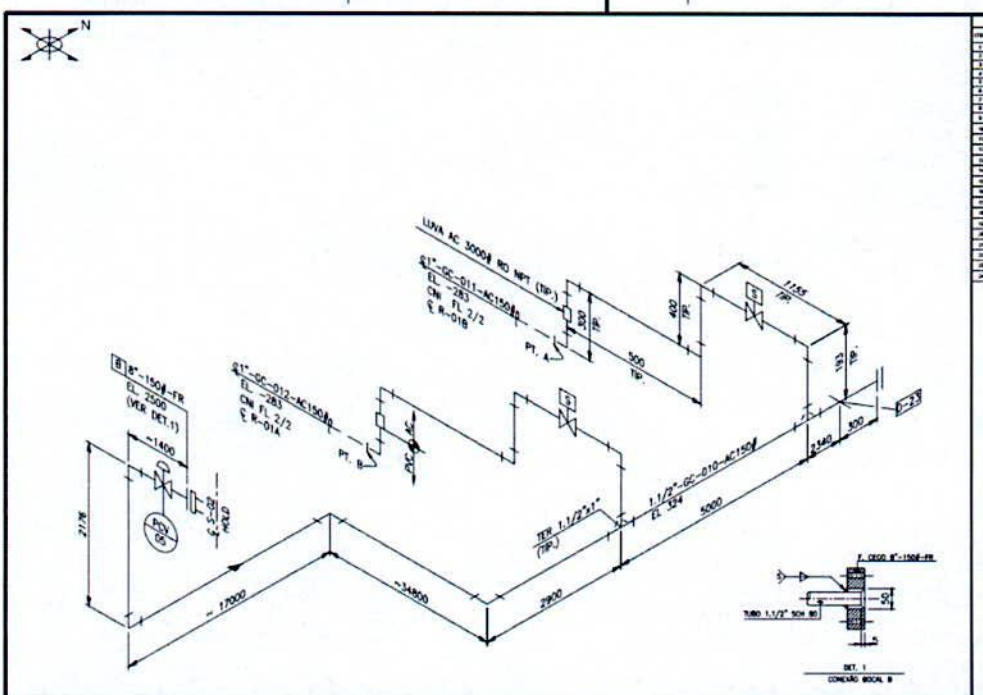
FAURG NAUE Planejamento

CENTRAL: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 2"-WP 001-AC150#

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
TECDUS	JER	GCA	JON	23.04.14

Nº: FOLHA 1/1 REV. 0

FORMATO A3-ISO



MATERIAL			
ITEM	Ø	QTDE	DESC. MATERIAL
1	1"	VERS	TUBO AÇO PT. SCH 80 ASME B36.10
2	1.1/2"	88	TUBO AÇO PT. SCH 80 ASME B36.10
3	90°	5	CV 45° ES PVC SCH 80
4	1.1/2"x 1"	2	TE RED. 3000 ES, NPT, ASTM A105/ASME B16.11
5	90°	6	JOELHO 90° 3000 ES, NPT, ASTM A105/ASME B16.11
6	1"	4	JOELHO 90° 3000 ES, NPT, ASTM A105/ASME B16.11
7	1"	1	LUVA AC RO NPT, NPT, ASTM A105, ASME B16.11
8	1"	4	JOELHO 90° ES, PVC, SCH 80
9	1"	2	TE, ES, PVC, SCH 80
10	1"x90°	4	ANEL 45°, PVC, SCH 80
11	90°	32	JOELHO 90°, ES, PVC, SCH 80
12	90°	10	TE, ES, PVC, SCH 80
13	90°	1	TAMPÃO, ES, PVC, SCH 80
14	1.1/2"	1	FLANGE SOBREPOSTO 150# FR, ASTM A105, ASME B16.5
15	1.1/2"	1	FLANGE CEGO 150# FR, ASTM A105, ASME B16.5
16	90°x2"	4	ESTOJO A 193 B7 PORCAS 2H/ 2H
17	1.1/2"	1	JUNTA ESPIR. 1.1/2"x4, PARA DE GRAFITE C/ ESPIRAL INOX
18	90°	24	TUBO PVC SCH 80
19	8"	1	FLANGE CEGO 150# FR, ASTM A105
20	8"	1	JUNTA 150# ESPIRALICA
21	90°x1.1/2"	32	ESTOJO A 193 B7 PORCA A 194 2H
22	1/2"	1	DRENO
23	1/2"	1	LUVA PVC
24	1/2"	1	VAC CONFORMER

PENDÊNCIAS:
- VÁLVULA SOLENOIDE
- INTERLIGAÇÃO COM S-02
- ASPERSORES

LISTA DE VERIFICAÇÃO					
ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA
AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS
1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.

LEGENDA:
NOVO — — — CONSTRUÍDA - - - - EXISTENTE — (R) — EXISTENTE A RELOCAR
(R) RELOCADO TUBULAÇÃO A RETIRAR (S) SOLDA DE CAMPO ✱ AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE-0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA			ISOLAMENTO TÉRMICO		CONDIÇÕES DE PROJETO		TESTE	
Ø	NÚMERO	ESPEC.	TIPO	ESPESS.	PRESS. (kgf/cm²)	TEMP. (°C)	PRESS. (kgf/cm²)	TIPO
1.1/2"	GC-010	AC150#	-	-	-	-	-	-
1"	GC-011	AC150#	-	-	-	-	-	-
1"	GC-012	AC150#	-	-	-	-	-	-

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23/04/14	TECDUS	GCA	JGN

ARQUIVO ELETRÔNICO: 1.1/2"-GC-001
Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-004

FORMATO A3-ISO

FAURG – CGTEE
CLIENTE

CANDIOTA-RS
PLANTA/ÁREA

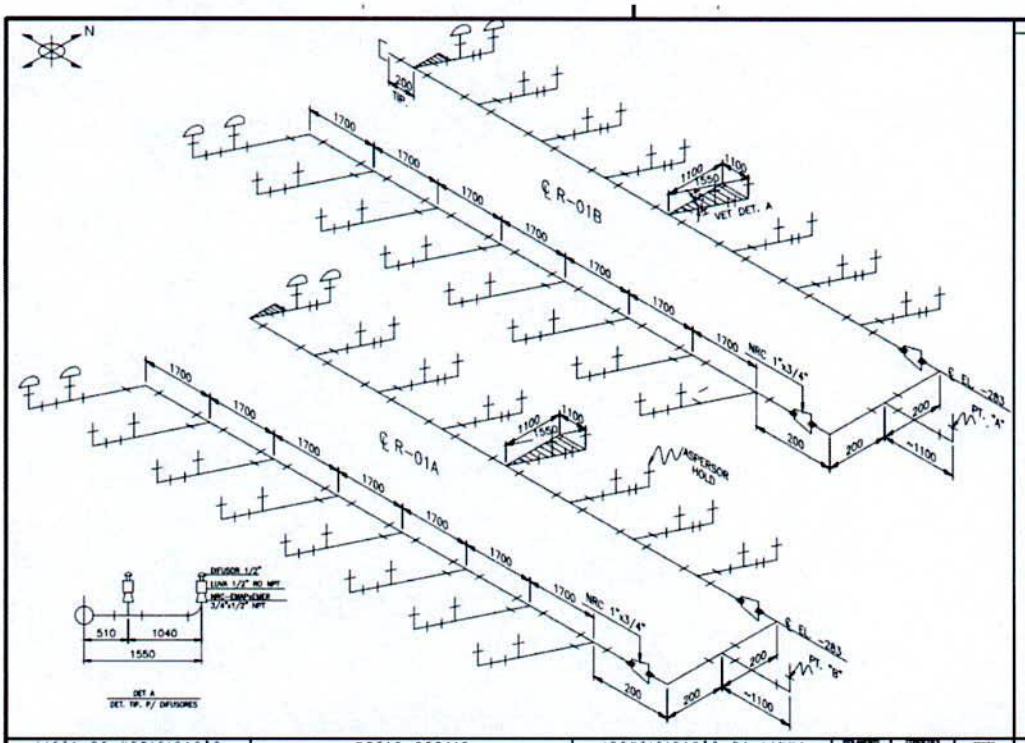
UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TAG/DESENHO

ISOMÉTRICO
1.1/2"-GC-010-AC150#
TÍTULO

RESP.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
TECDUS	JER	GCA	JGN	23/04/14

Nº

FOLHA 1/2 REV. 0



MATERIAL

PENDÊNCIAS
- ASPERSORES

LISTA DE VERIFICAÇÃO					
ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA

AT - ATENDIDO NAT - NÃO ATENDIDO
NA - NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.

LEGENDA:
NOVO — CONTRATA — EXISTENTE — (R) - EXISTENTE A RELOCAR
(R) RELOCADO -F-F-F- A RETIRAR (S) SOLDA DE CAMPO (A) AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-FLE-0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0005-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	REVESTIMENTO TÉRMICO TIPO	REVESTIMENTO TÉRMICO ESPESS.	TRAÇADORES DE CALOR PRINC. (METAL)	TRAÇADORES DE CALOR TOM (°C)	TESTE PRINC. (BAR/MPa)	TESTE TIPO
3/4"	GC	AC150#	-	-	-	-	-	-

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	30.05.14	TECDUS	GCA	AUR

ORIGEM ESPECIAL: 1.1/2"-GC-001.2
Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-004

FORMATO A3-ISO

FAURG

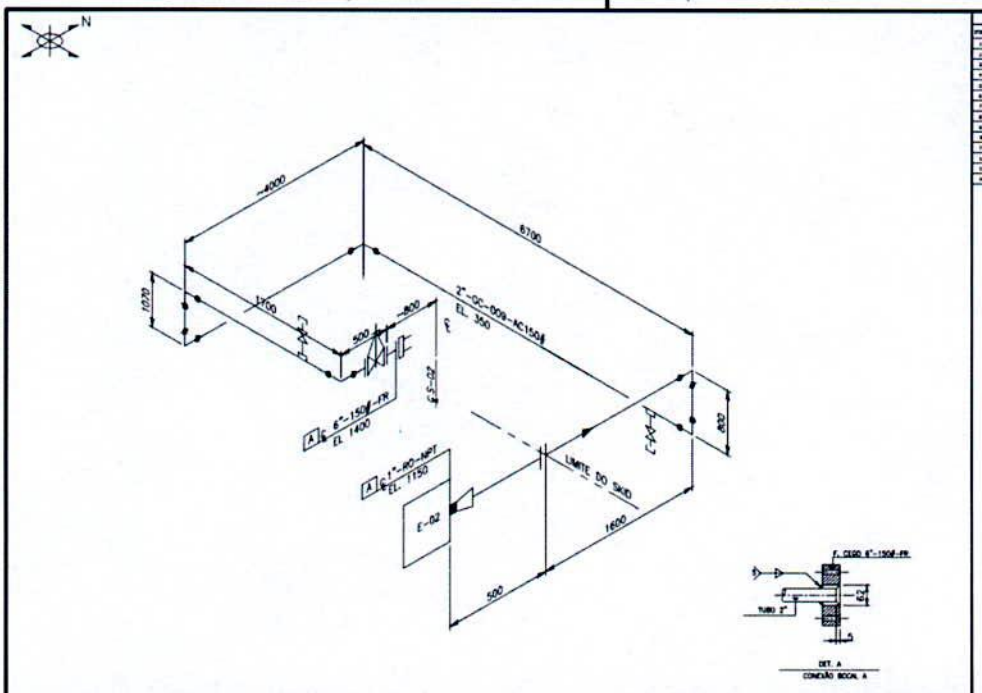
NAUE Planejamento

TECDUS TECNOLOGIA

CENTRO: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 1.1/2"-GC-010-AC150#

ANAL.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
TECDUS	JER	GCA	JON	30.05.14

Nº: FOLHA 2/2 REV. 0



MATERIAL

ITEM	#	QTDE	DESC. MATERIAL
1	2"	10	TUBO AÇO SCH 40 ASTM A106 GR B
2	2"	8	CURVA 90° LR ASTM A234 WPB
3	2"	1	LUVA SW ASTM A105 3000
4	2"	4	FLANGE SOBREPOSTO ASME B16.5
5	6"	1	FLANGE CEGO ASME B16.5
6	2"	2	JUNTA PLANA FIBRA ARAMIDA
7	6"	2	JUNTA PLANA FIBRA ARAMIDA
8	NPT x 90°	6	ESTOJO ASME B16.11
9	90° x 45°	6	ESTOJO ASME B16.11
10	2"x1"	1	NIPLE ASME B36.10
11	90°	1	MEIA LUVA ASME B16.11
12	90°	0,2	TUBO AÇO SCH 80 ASTM A106 GR B
13	90°	2	TE ASME B16.11
14	90°	2	CURVA ASME B16.11

LISTA DE VERIFICAÇÃO

ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA

AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS

1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.
2- TRECHO EM AC PROTEGIDO POR FITA SCOTCHWRAP OU SIMILAR.

LEGENDA

NOVO — CONTINUA - - - EXISTENTE – (01) – EXISTENTE A RELOCAR
(01) – RELOCADO -F-F-F- A REMOVER FS SOLDA DE CAMPO A AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA – 2004-PLF-0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO – 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	MATERIAL TÉRMICO TIPO	MATERIAL TÉRMICO ESPESS.	CONDIÇÕES DE PROJETO PRESS. (MPa)	CONDIÇÕES DE PROJETO TEMP. (°C)	TESTE PRESS. (MPa)	TESTE TIPO
2"	GC-009	AC150#	-	-	-	-	-	-

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	23.04.14	TECDUS	GCA	JGN

DESENHO ELETRÔNICO: 2"-MC-001
Nº SUBSEA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-005

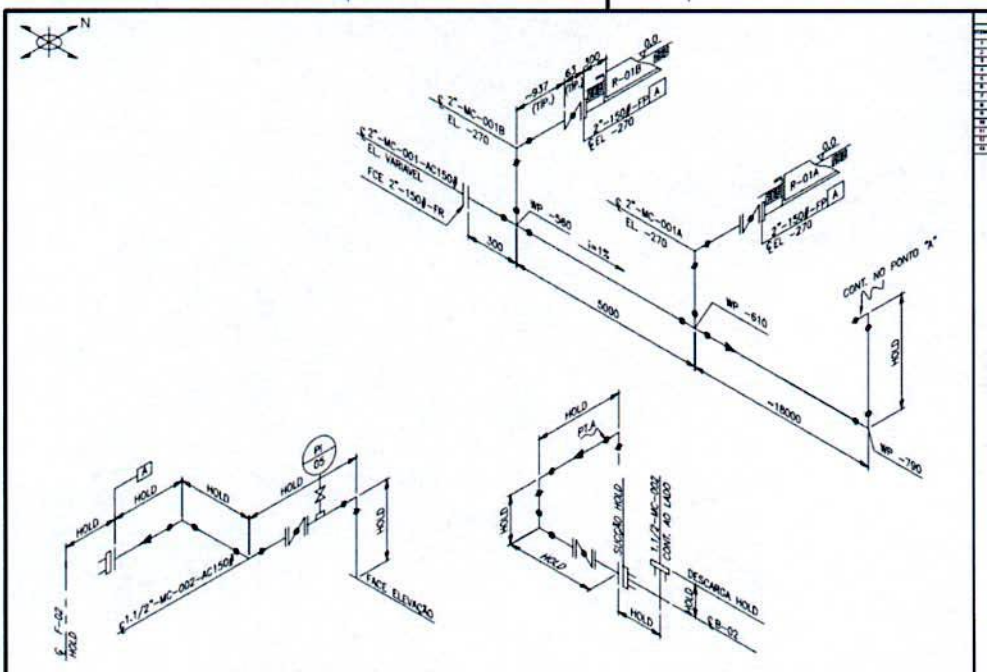
FAURG
NAUE Planejamento
TECDUS

CENTRO: FAURG-CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 2"-GC-009-AC150#

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
TECDUS	JER	GCA	JGN	23.04.14

FOLHA 1/1 REV. 0

FORMATO A3-ISO



PENDÊNCIAS
- R-01A
- R-01B
- F-02

MATERIAL

ITEM	Ø	QTDE	MAT. MATERIAL
1	2"		TUBO ICAÇÃO ASTM A106 GR. B
2	2"	4	FLANGE WP 150# ASTM A105 RTJ
3	2"	1	PIPE NIPPLE ASTM A106 GR. B
4	1.1/2"		TUBO ICAÇÃO ASTM A106 GR. B
5	1.1/2"	3	JOELHO 90° SOLDA ASTM A 105
6	2"	1	V. BORBOLETA AC.TIPO WAFER
7	1.1/2"	1	V. BORBOLETA AC.TIPO WAFER
8	2"	4	S. SOBREPOSTO 150# RTJ A105
9	1.1/2"	1	FLANGE SOBR.RC 150#
10	2"	4	JUNTA FLANGE ESPIRA ASME
11	1.1/2"	1	JUNTA FLANGE ESPIRA ASME
12	NPT-PL 1/2"	12	ESTOJO A193 B7/PORCA A194 2H
13	NPT-PL 5/8"	4	ESTOJO A193 B7/PORCA A194 2H

LISTA DE VERIFICAÇÃO					
ITEM	DESCRIÇÃO	AT	NAT	NA	VERIF.
01	FLUXOGRAMA				-
02	LISTA DE LINHAS				-
03	SUPORTAÇÃO				-
04	BASES PARA CIVIL				-
05	DES. FORNECEDORES				-
06	LISTA DE MATERIAL				-
07	DOC. REFERÊNCIA				-
08	ANAL. FLEXIBILIDADE				-

LEGENDA
AT – ATENDIDO NAT – NÃO ATENDIDO
NA – NÃO APLICADO

NOTAS GERAIS
1- MEDIDAS EM mm, SALVO OUTRA INDICAÇÃO.
2- TRECHO EM AC PROTEGIDO POR FITA SCOTCHRAP OU SIMILAR.

LEGENDA:
NOVO — — — CONTINUA - - - - EXISTENTE - [05] - EXISTENTE A RELOCAR
[05] - RELOCADO -//-//- A RETIRAR SOLDA DE CAMPO ⊗ AJUSTAR NO CAMPO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
FLUXOGRAMA DE ENGENHARIA - 2004-FLE-0000-001
PLANTA DE TUBULAÇÃO - 2004-PTU-0000-001

IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

#	NÚMERO	ESPEC.	RECOBRIMENTO TÉRMICO TIPO	RECOBRIMENTO TÉRMICO ESPESS.	TRAÇADORES DE CALOR PROTEÇÃO MECÂNICA	TRAÇADORES DE CALOR TUBO	TESTE PRESS. HIDROST.	TESTE TIPO
2"	MC-001	AC150#	-	-	-	-	-	-
1.1/2"	MC-002	AC150#	-	-	-	-	-	-

REV.	DESCRIÇÃO	DATA	PROJ.	VERIF.	APROV.
0	EMISSÃO	10.06.14	TECDUS	GCA	JON

LINHA/ISOMÉTRICO REFERÊNCIA: 2"-MC-001
Nº EMPRESA DE ENGENHARIA: 2004-ISO-0003-006

FORMATO A3-ISO

FAURG – CGTEE
PLANTA/ÁREA: CANDIOTA-RS
PROJETO/DESCRIÇÃO: UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO DE CO2
TÍTULO: ISOMÉTRICO 2"-MC-001-AC150# 1.1/2"-MC-002-AC150#

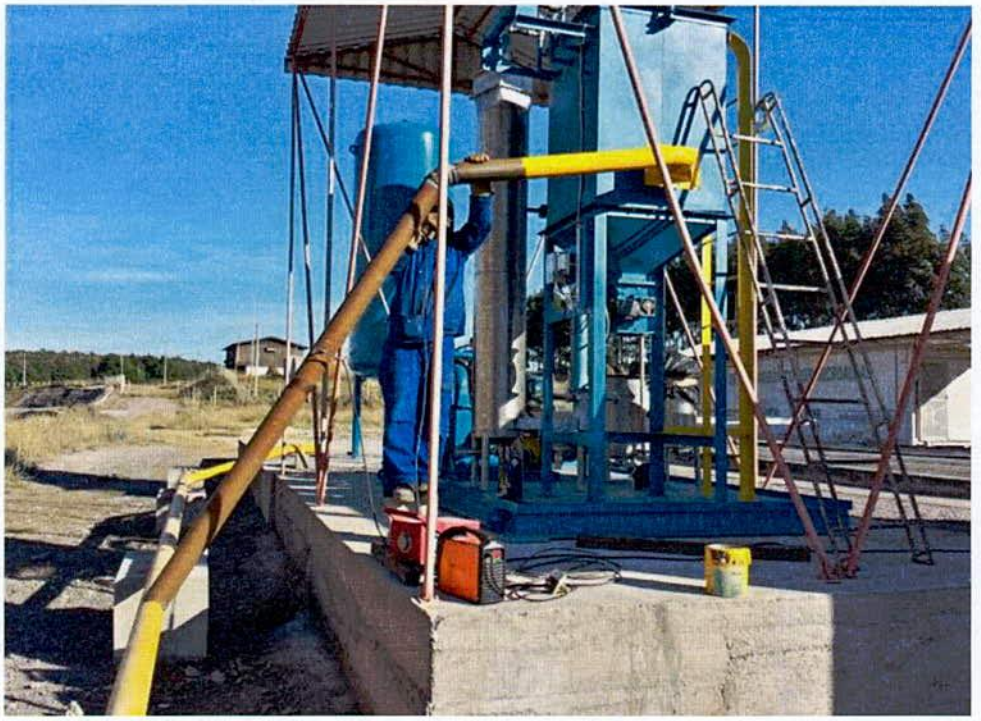
PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.	DATA
TECDUS	JER	GCA	JON	23.04.14

Nº: FOLHA 1/1 REV. 0

ASSENTAMENTO TUBULAÇÃO DE GÁS DO TIE-IN ATÉ SKID

Figura 56: Assentamento tubulação da Chaminé da Fase C até Skid da Planta Piloto

Figura 57: Linha de gás de combustão instalada no Skid



INSTALAÇÃO DA TUBULAÇÃO DE GÁS DO SKID ATÉ FOTOBIORREATORES

Figura 58: Tubulação de gás do Skid até fotobiorreatores

Figura 59:Tubulação de gás do Skid até fotobiorreatores (continuação)

TUBULAÇÃO DE GÁS DE COMBUSTÃO INSTALADA NOS FOTOBIORREATORES

Figura 60:Montagem da tubulação de gás nos fotobiorreatores

INSTALAÇÃO DAS REDES HIDRÁULICA, ELÉTRICA E SISTEMA DE SEGURANÇA NA PLANTA PILOTO

Figura 61:Instalação da Rede Hidráulica na Planta

Figura 62:Instalação da Rede Elétrica na Planta

Figura 63: Iluminação externa instalada na Planta Piloto

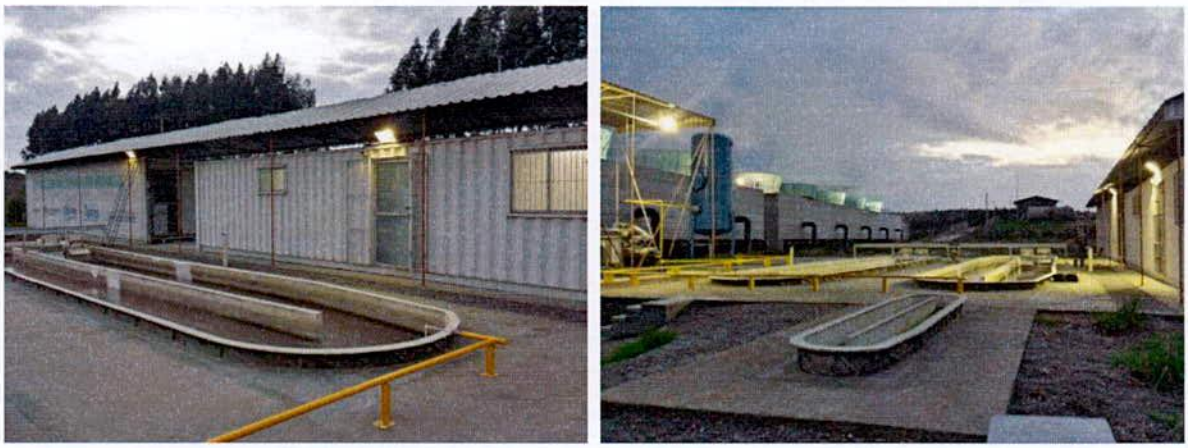
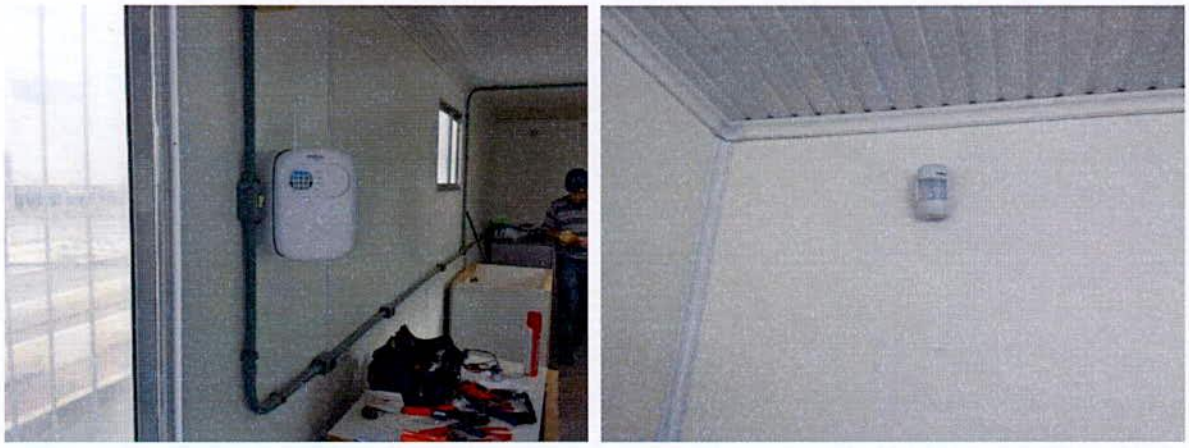


Figura 64:Instalação do sistema de segurança por alarme na Planta



MATERIAIS E EQUIPAMENTOS INSTALADOS NA PLANTA

Abaixo a lista dos principais materiais e equipamentos acomodados e instalados nos containers laboratório e estufa da planta piloto:

Container Laboratório:

- 1 Refrigerador Eletrolux, modelo RDE 35 super;
- 4 cadeiras de escritório;
- 1 pHmetro digital Quimis, modelo 0400AS;
- 1 Balança pesadora Marte, modelo P30;
- 1 Balança analítica, modelo JA3003N;
- 1 Condicionador de ar Split Consul;
- 1 Espectrofotômetro Quimis, modelo Q7980RM;
- 1 Lava jato Karcher, modelo K 3.30;
- 1 Alarme Intelbras, modelo ANM 2008 MF;
- 1 Fogão 4 bocas Atlas;
- 1 Mesa de reunião;
- 1 Balcão de canto com 2 portas e 1 gaveta;
- 1 Mesa de computador;
- 1 Computador de mesa, teclado e mouse.
- 5 Balcões com 2 portas e bancada de mármore;
- 1 Balcão com 10 gavetas e bancada de mármore;
- 1 Balcão de pia com 2 portas e bancada de mármore;
- 1 Estufa de cultivo.

Container Estufa de cultivos:

- 1 Estufa bandeja em inox para secagem de microalgas;
- 1 Tanque em inox de preparo de meio de cultivo;
- Nutrientes para meios de cultivo;
- Bancadas para cultivos.

SKID:

- 2 Compressores de ar modelo Onix 60/425W;
- 1 Lavador de gás de inox;
- 1 Vaso pulmão 6.000 L contendo:
  - 1 purgador tipo boia
  - 1 manômetro
  - 1 válvula de segurança e alívio SB81H
  - 3 válvulas
- 1 Filtro de mangas contendo:
  - 1 motor redutor 0,33 CV
- 1 Tanque de inox para água contendo:
  - 1 boia de nível
- 1 Tanque de inox para carbonato de cálcio contendo:
  - 1 bomba dosadora eletromagnética de dosagem manual, motor 0,44 CV
- 1 Bomba de água de 1 CV
- 1 Exaustor centrífugo, motor 1,5 CV
- 1 Exaustor centrífugo, motor 1,5 CV instalado no Tie-in
- 1 Vaso separador contendo:
  - 2 indicadores de nível
  - 1 manômetro
  - 1 termômetro
  - 1 purgador tipo boia
  - 3 válvulas
- 1 Válvula redutora BSP ½" NICSA mola cor alumínio
- 1 Manômetro de inox de 0 – 16 bar.

As Figuras abaixo ilustram alguns dos equipamentos alocados na Planta Piloto, como balança analítica, balança para pesagem de nutrientes, espectrofotômetro, computador de mesa para tratamento dos resultados, pHmetro de bancada e portátil, refrigerador, filtro prensa, condicionador de ar, entre outros (Figura 26).

Figura 26: Principais instrumentos e equipamentos da planta

Principais instrumentos e equipamentos da planta (continuação)

Filtro prensa para colheita de biomassa de microalgas

2.3.3 INOCULAÇÃO DA MICROALGA E INÍCIO DE OPERAÇÃO DA PLANTA

2.3.3 INOCULAÇÃO DA MICROALGA E INÍCIO DE OPERAÇÃO DA PLANTA

Para iniciar a inoculação dos cultivos de microalga foi realizado a propagação do inóculo microalgal de *Spirulina* no Laboratório de Engenharia Bioquímica, FURG. A microalga foi cultivada até atingir concentração celular suficiente para inoculação dos cultivos nos fotobiorreatores da planta piloto na UTPM.

No dia 05/11/2015, foi transferido o inóculo de *Spirulina*, desde a FURG até a CGTEE, sendo iniciada a operação da Unidade de Biofixação de Gás Carbônico por Microalgas instalada na Fase C da Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM), conforme Figuras.

Figura 65: Propagação do inóculo de Spirulina na estufa de cultivo microalgal da FURG

Figura 66: Preparo do meio de cultivo e inoculação da microalga nos fotobiorreatores da planta piloto

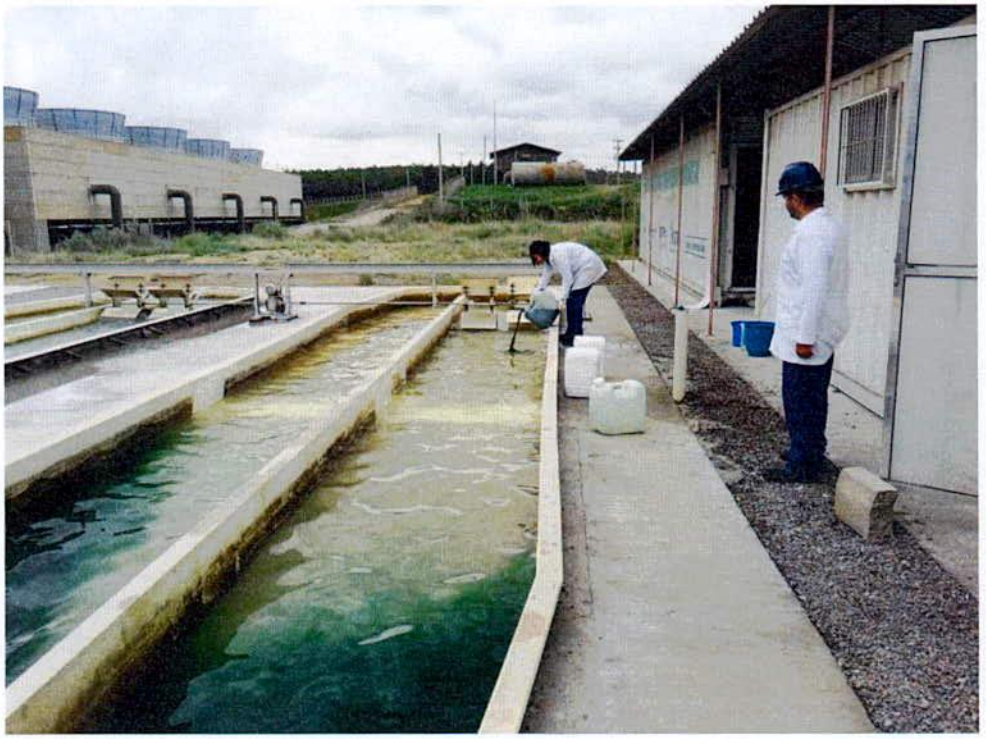


Figura 68: Microfotografia da microalga *Spirulina*, amostrada dos fotobiorreatores da planta piloto (aumentos de 10x e 40x, respectivamente)

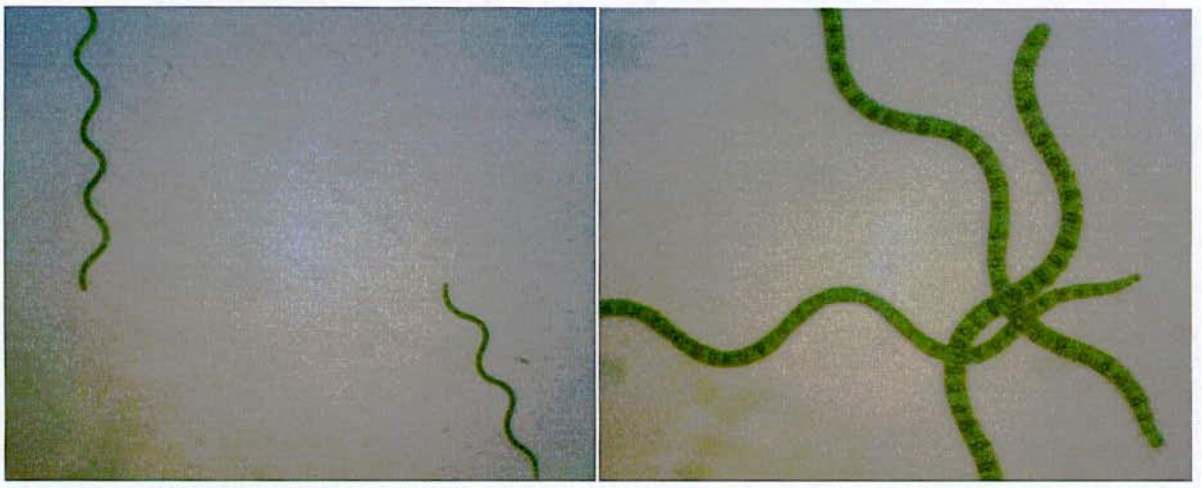


Figura 69: Vista aérea da Planta Piloto em início de atividades

Figura 70: Vista aérea da Planta Piloto em operação

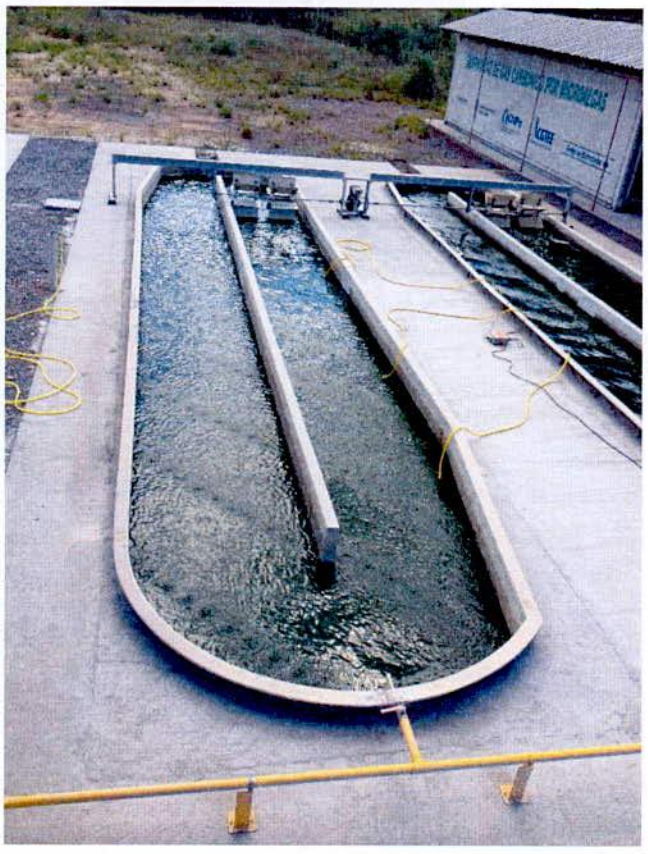


Figura 71: Fotobiorreator 1 da Planta Piloto em operação

Figura 72: Fotobiorreator 2 da Planta Piloto em operação

2.3.3 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA PLANTA

A manutenção e operações contínuas são crucialmente importantes para projetos e devem ser incluídas como atividades a serem realizadas durante a fase de desenvolvimento do mesmo. Com isto, para um acompanhamento frequente do cultivo de microalgas, contratou-se um estagiário, ligado a curso de graduação, que realiza as análises físico-químicas da microalga e manutenção e limpeza da planta, além das visitas técnicas que são realizadas semanalmente por funcionários, pós-graduandos e pós-doutorandos ligados ao Laboratório de Engenharia Bioquímica da FURG para coleta dos dados obtidos e de biomassa microalgal para análise.

2.3.3.1 Estagiários

Nome: Amanda Bunde Camargo

Período:21/12/2015 a 28/02/2106

Curso: Engenharia Bioquímica - FURG

Nome: Gabriel Mascarenhas Wiegand

Período:1º/03/2016 a 06/05/2016

Curso: Engenharia Química - FURG

Nome: Diogo Moreno Machado Thomaz De Souza

Período:23/05/2016 - atual

Curso: Engenharia de Alimentos - UNIPAMPA

2.3.4 RESULTADOS OBTIDOS NA PLANTA PILOTO DE BIOFIXAÇÃO DE CO_2 POR MICROALGAS

2.3.4 RESULTADOS OBTIDOS NA PLANTA PILOTO DE BIOFIXAÇÃO DE CO_2 POR MICROALGAS

2.3.4.1 Material e Métodos

Micro-organismo e Meio de cultivo

O microrganismo utilizado nos cultivos foi a cianobactéria *Spirulina* sp. LEB 18 (Morais et al., 2008), obtida a partir da Coleção de Culturas do Laboratório de Engenharia Bioquímica da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). O meio de cultivo utilizado foi o meio Zarrouk (Zarrouk, 1966) no cultivo controle e o meio Zarrouk modificado sem a fonte de carbono ($NaHCO_3$) no cultivo com a injeção de gás de combustão.

Condições de cultivo

Os cultivos foram realizados entre os meses de novembro de 2015 a junho de 2016, em biorreatores tipo *Raceway* de 18.000 L, instalados na Plata piloto de biofixação de CO_2 por microalgas na UTPM. Os cultivos foram realizados em condições ambientais não controladas (*outdoor)*. Neste período foram avaliados os parâmetros de crescimento, perfis de pH e eficiência de biofixação de CO_2 pela microalga quando cultivada com gás de combustão captado junto a chaminé da fase C da UTPM. Os resultados de crescimento celular, produção de biomassa e perfis de pH, verificados no ensaio com gás de combustão, foram comparados a um cultivo controle realizado nas mesmas condições ambientais.

Taxa de biofixação de dióxido de carbono (TB)

A taxa biofixação de CO_2 (TB, $g.L^{-1}.d^{-1}$) pela microalga foi calculada segundo a Equação 1, em que P_X ($g.L^{-1}.d^{-1}$) foi a produtividade volumétrica de biomassa, M_{CO2} é a massa molar de dióxido de carbono e M_C é a massa molar do carbono.

$$TB = P_{máx} * 0{,}5 * \frac{M_{CO_2}}{M_C} \quad (1)$$

Eficiência de utilização de dióxido de carbono

A eficiência de utilização de CO_2 (E, % $m.m^{-1}$) (Zhang et al., 2002) foi calculada segundo a Equação (2), em que TB foi a taxa de biofixação de CO_2 diária ($g.L^{-1}.d^{-1}$), $V_{útil}$ foi o volume útil de trabalho do biorreator (L) e $\dot{m}$ foi taxa mássica de alimentação diária com CO_2 ($g.d^{-1}$).

$$E = \frac{TB * V_{útil}}{\dot{m}} * 100 \quad (2)$$

Recuperação e caracterização da biomassa

A biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 foi recuperada do meio líquido por filtração com filtro prensa de placas. Posteriormente, a biomassa foi congelada à -80°C, liofilizada e armazenada à -20°C até sua caracterização.

Concentração de proteínas e carboidratos

Preparo da amostra

A análise de proteínas e carboidratos foi realizada a partir de extratos preparados com 5 mg de biomassa da microalga e 10 mL de água destilada, sonicados em sonda ultrassônica (COLE PARMER CPX 130 – Illinois – USA), com 10 ciclos de funcionamento, sendo 1 min ligado e 1 min desligado.

Concentração de proteínas

A concentração de proteínas na biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 foi determinada a partir do método colorimétrico de Lowry, utilizando curva padrão de albumina de soro bovino (LOWRY et al., 1951).

Concentração de carboidratos

A concentração de carboidratos presente na biomassa da microalga foi determinada pelo método fenol-sulfúrico, utilizando curva padrão de glicose (DUBOIS et al., 1956).

Concentração de lipídios

A concentração de lipídios foi determinada pelo método de Marsh e Weinstein (1966).

Umidade e cinzas

O teor de umidade e cinzas foram determinadas por metodologia oficial da AOAC (2000).

Análise estatística

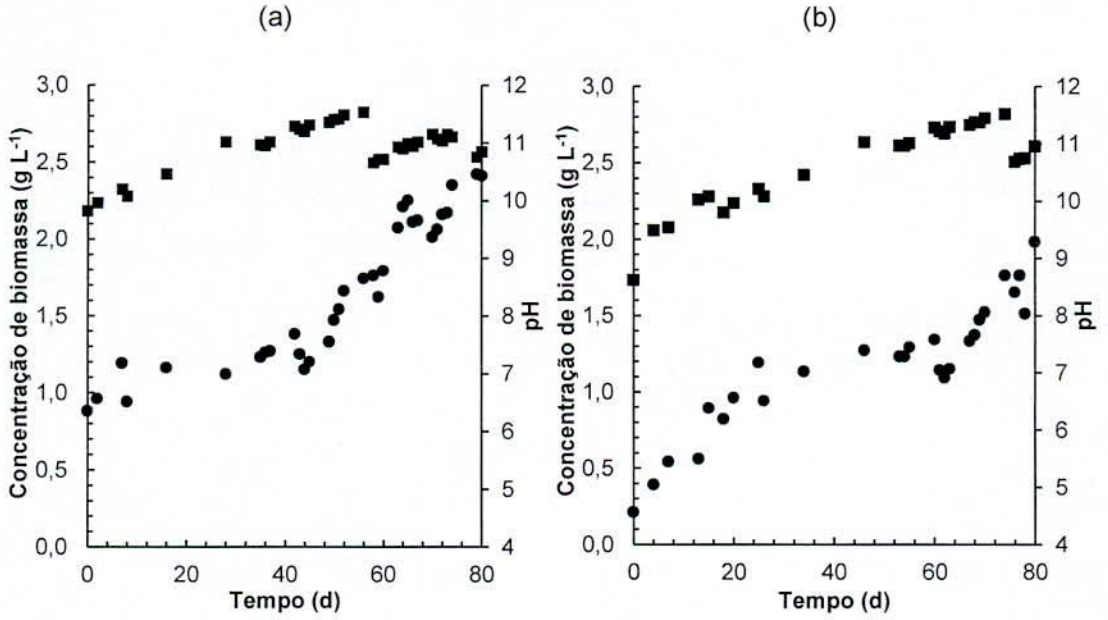
Os resultados médios de composição proximal da biomassa foram avaliados estatisticamente quanto a análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95,0%.

2.3.4.2 Resultados e Discussão

Os perfis de crescimento foram avaliados ao longo de 210 d de cultivo, sendo divididos em três etapas apresentados nas Figura 73 (0-80 d),Figura 76 (80-160 d) e Figura 77 (160-210 d). Nos primeiros 80 d de cultivo foi verificado crescimento microalgal (Figura 73) e produção diária de biomassa (Figura 74) para ambos os experimentos. Quando se iniciou a injeção do gás de combustão no 44º d (Figura 73a) foi verificado aumento da concentração de biomassa (com máximo de 2,4 $g.L^{-1}$ no 79º d), enquanto que para o cultivo controle a máxima concentração (1,80 $g.L^{-1}$) foi atingida no 77º d. Com isso, pode-se observar que a injeção do gás de combustão favoreceu o crescimento da microalga, promovendo um incrementado de até 33,3% na concentração de biomassa em relação ao cultivo controle neste primeiro período.

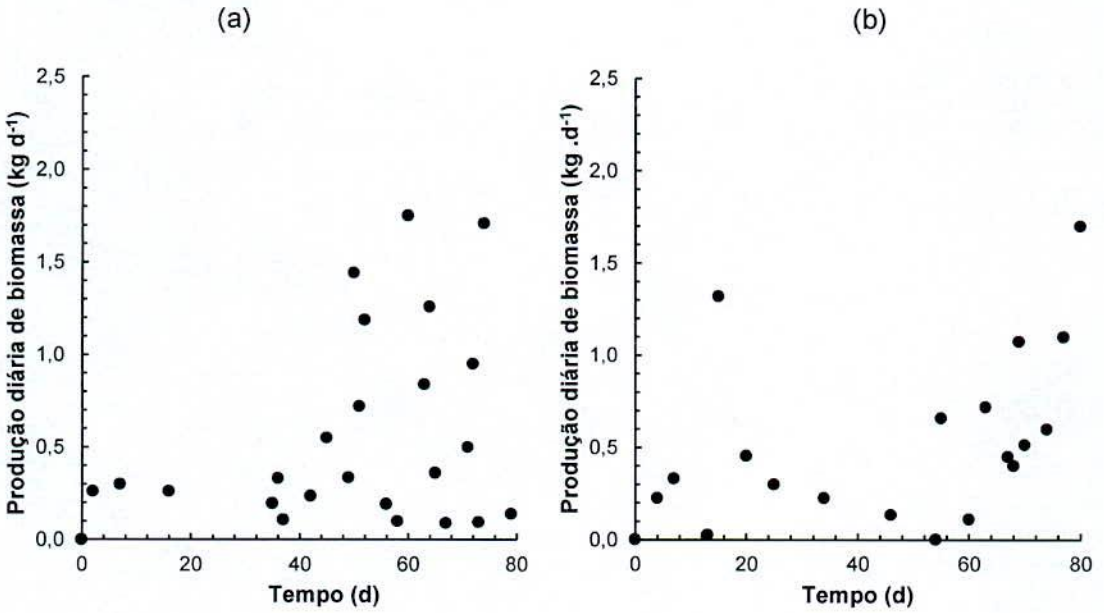
De acordo com Costa et al. (2015) o emprego de gás de combustão do carvão mineral promoveu aumento em 35% da produtividade de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18. Vaz, Morais e Costa (2016), em escala de bancada, empregaram gás de combustão do carvão mineral da UTPM no crescimento das microalgas *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111. Os autores verificaram que a injeção do gás de combustão não inibiu o crescimento das microalgas, sendo semelhantes aos cultivos controle, demonstrando o potencial do uso de gás de combustão como fonte de nutrientes para o cultivo microalgal.

Figura 73: Concentração de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 (•) e pH (■) do cultivo com injeção de gás de combustão (a) e do cultivo controle (b)



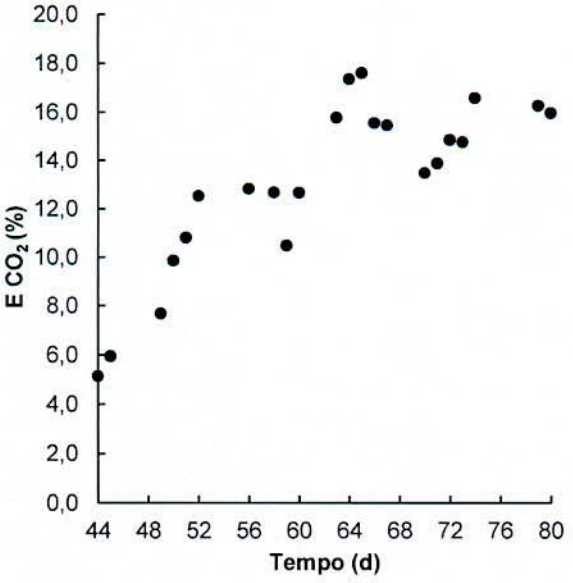
Os perfis de pH variaram entre 9,8 a 11,5 para os cultivos com injeção de gás de combustão (Figura 73a) e 8,6 a 11,5 para o cultivo controle (Figura 73b). De acordo com Pires et al. (2012), a adição de gases de combustão em cultivos microalgais pode causar perturbações no pH do meio, devido à dissolução do CO_2 e do SO_X contidos nestes gases. Entretanto, no presente estudo não foram verificadas reduções do pH nos cultivos, devido principalmente à presença de cinzas alcalinas (resíduos sólidos provenientes da UTPM) que promovem a alcalinização do meio líquido. A faixa de pH verificada em ambos os experimentos é considerada favorável para o crescimento do gênero *Spirulina*, pois trata-se de uma microalga que apresenta maiores taxas de crescimento em meios alcalinos (FERRAZ; AQUARONE; KRAUTER, 1985)

Figura 74: Produção diária de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 no cultivo com injeção de gás de combustão (a) e no cultivo controle (b)



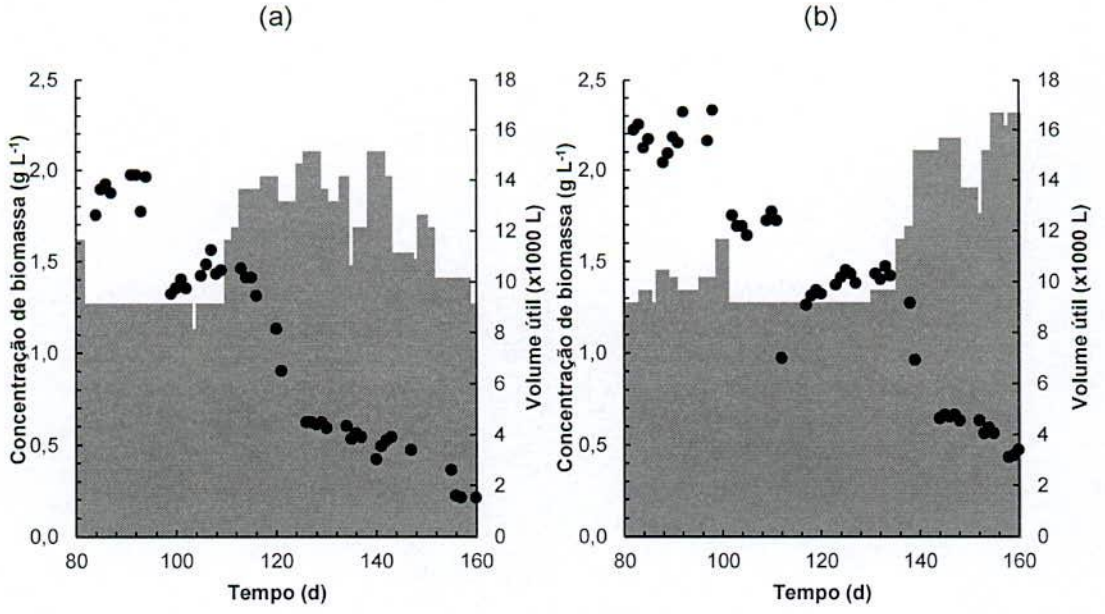
A máxima eficiência de biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18 verificada foi de aproximadamente 18% no 60º d de cultivo (Figura 75).

Figura 75: Eficiência de utilização de gás carbônico presente no gás de combustão



Costa et al. (2015) cultivando *Spirulina* sp. LEB 18 em biorreatores *Raceway* verificaram redução de 24% de CO_2 da corrente gasosa do gás de combustão. Resultados semelhantes foram verificados por Vaz, Morais e Costa (2016), em escala de bancada e em condições controladas de temperatura e intensidade de luz, atingindo fixação máxima de CO_2 de 20,5% para o cultivo com *Spirulina* sp. LEB 18 com injeção de gás de combustão da UTPM. Nos ensaios com a cepa *Chlorella fusca* LEB 111 as máximas fixações foram verificadas nos ensaios com 10% de CO_2 (42,8%) e gás de combustão (36.8%). Utilizando a mesma cepa, Duarte, Fanka e Costa (2016) em cultivos realizados em fotobiorreatores tubulares verticais, condições controladas e injeção de gás de combustão simulado (10% CO_2, 40 ppm de cinzas, 200 ppm de SO_2 e 200 NO), verificaram eficiência máxima de biofixação de CO_2 de 50%. A cepa *Chlorella fusca* LEB 111 foi isolada pela equipe do LEB de águas residuais de lagoas de estabilização, próximas a usina termelétrica UTPM. Em ambos os estudos foi verificado que a cepa apresentou tolerância ao gás de combustão e as cinzas, além de elevada taxa de fixação de CO_2. De acordo com Morais e Costa (2007) e Radmann et al. (2011) o isolamento de cepas nativas próximas a usinas termelétricas contribuem para maior eficiência de captura de CO_2. Este fato pode explicado porque estes micro-organismos apresentam maior tolerância a elevadas concentrações de CO_2 e demais compostos tóxicos presentes no gás de combustão.

Figura 76: Concentração de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 (•) e volume útil dos biorreatores (colunas cinzas) dos cultivos com gás de combustão (a) e controle (b) entre o 80º e 160º d



No período entre 80º e 160º d foi verificado redução tanto da concentração (Figura 76a e Figura 76b), quanto da produção diária de biomassa (Figura 77a e Figura 77b) nos cultivos com gás de combustão e controle. Esta redução pode ter ocorrido, principalmente, pelos elevados índices pluviométricos e o decréscimo da temperatura entre o final do mês de fevereiro (Figura 78), meses de março (Figura 79) e abril (Figura 80). Por se tratar de um cultivo em condições *outdoor*, o acúmulo de chuvas aumenta o volume útil dos biorreatores, que consequentemente causa a diluição do cultivo.

Figura 77: Produção de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 no cultivo com gás de combustão (a) e no cultivo controle (b) entre o 80º e 160º d

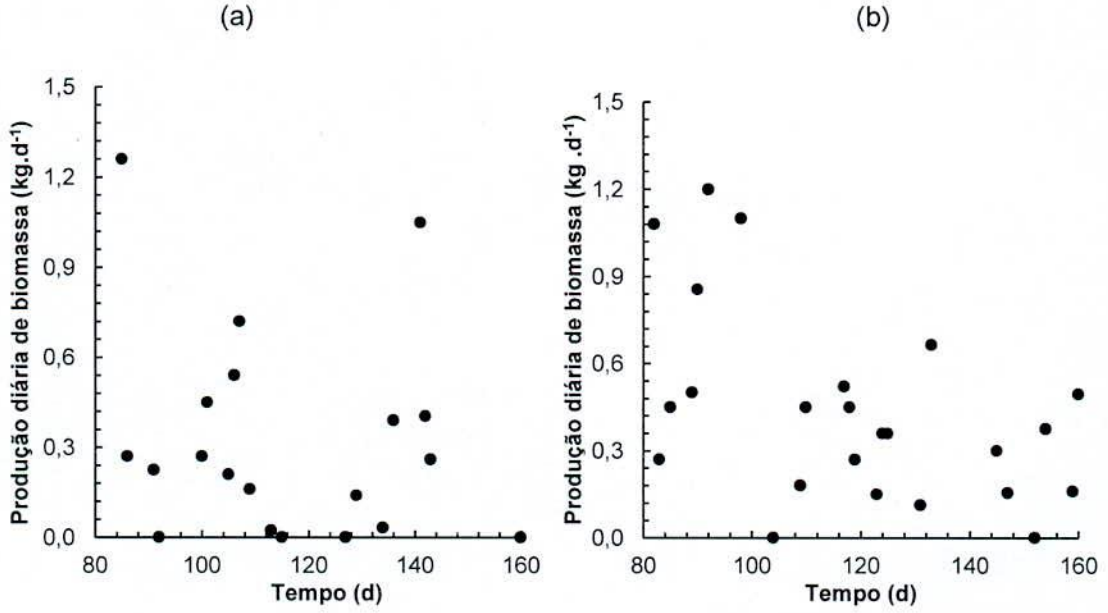
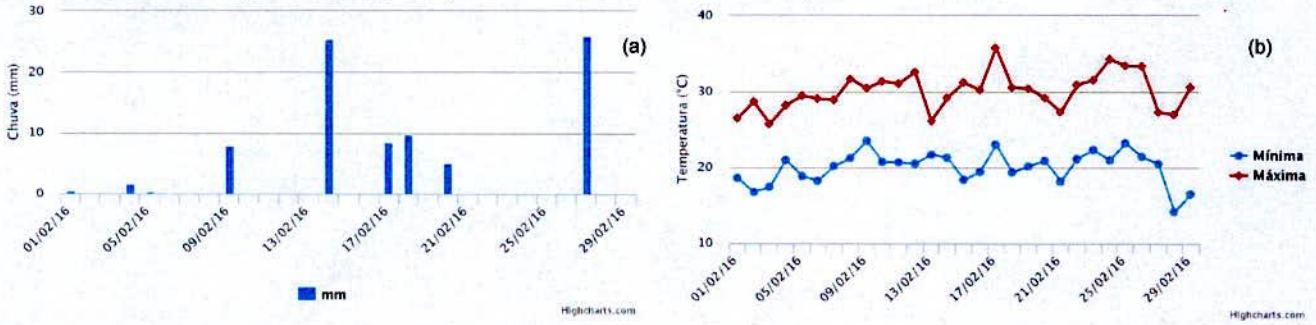
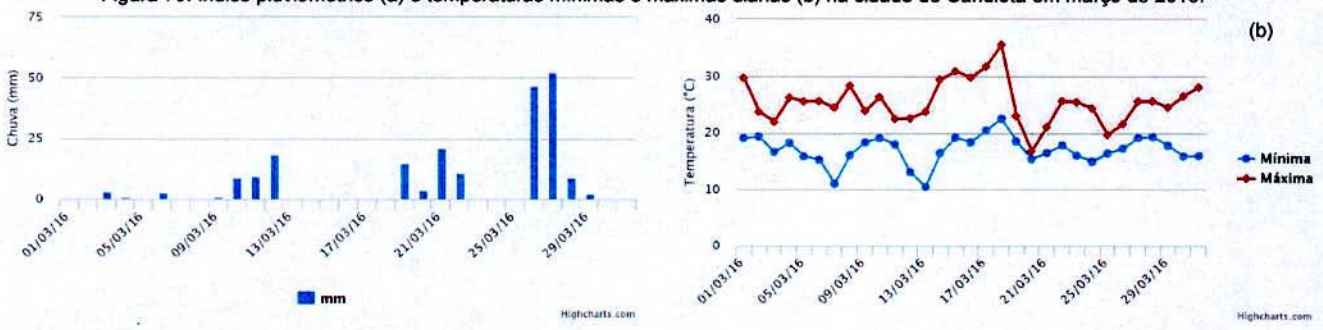


Figura 78: Índice pluviométrico (a) e temperaturas mínimas e máximas diárias (b) na cidade de Candiota em fevereiro de 2016.



Fonte: Climatempo, 2016

Figura 79: Índice pluviométrico (a) e temperaturas mínimas e máximas diárias (b) na cidade de Candiota em março de 2016.



Fonte: Climatempo, 2016

Figura 80: Índice pluviométrico (a) e temperaturas mínimas e máximas diárias (b) na cidade de Candiota em **abril** de 2016.

Fonte: Climatempo, 2016

De acordo com Radmann et al., (2011) e Zhao e Su (2014), em baixas temperaturas o crescimento celular é reduzido pelo decréscimo da atividade da enzima responsável pela fixação intracelular de CO2 (Rubisco), e diminuição da taxa fotossintética das microalgas.

A Figura 81 mostra a concentração de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 entre o 160º e 210º d de cultivo, na qual pode-se observar que as concentrações máximas obtidas ao longo deste período variaram em média de 0,6 $g.L^{-1}$ no cultivo com gás de combustão e 0,5 $g.L^{-1}$ para o cultivo controle. Neste período, que contemplou os meses de maio e junho do presente ano não foram verificados elevados índices pluviométricos (Figura 82a e Figura 83a), mas baixas temperaturas (Figura 82b e Figura 83b) (mínima média de 9,7°C). De acordo com Vonshak (1997) a temperatura ideal para o cultivo de *Spirulina* sp. varia entre 30 e 38 °C. Assim, neste cenário de reduzidas temperaturas verificadas no presente estudo, o crescimento da microalga não foi favorecido. De acordo com Radmann et al., (2011) e Zhao e Su (2014), em baixas temperaturas o crescimento celular é reduzido pelo decréscimo da atividade da enzima responsável pela fixação intracelular de CO_2 (Rubisco), e diminuição da taxa fotossintética das microalgas.

Figura 81: Concentração de biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 no cultivo com gás de combustão (a) e no cultivo controle (b) entre o 160º e 210º dia.

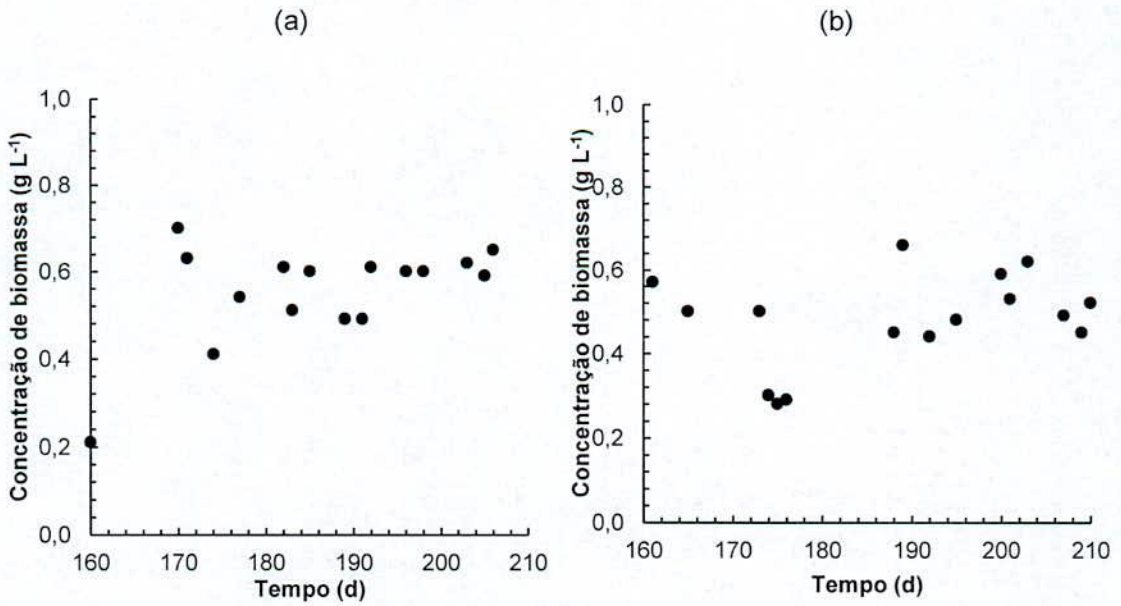
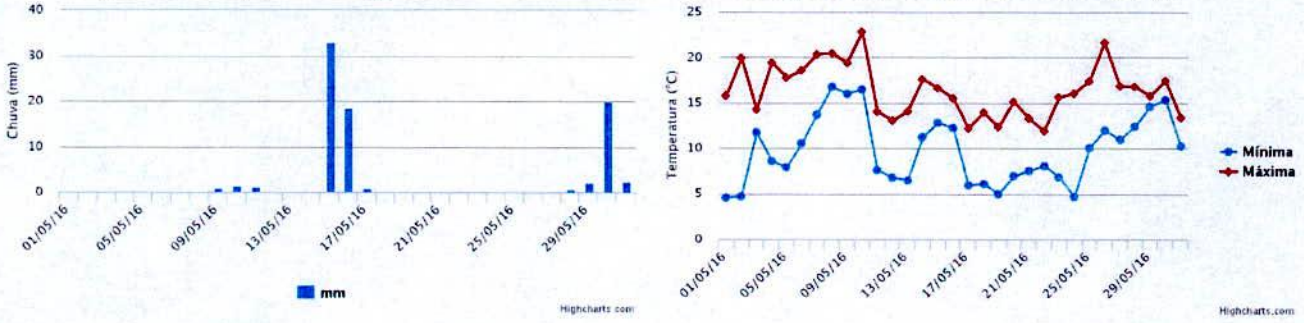
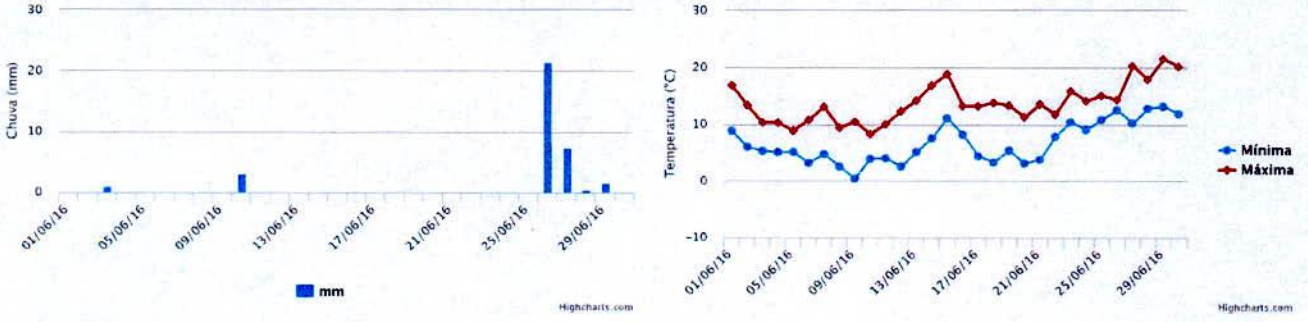


Figura 82: Índice pluviométrico (a) e temperaturas mínimas e máximas diárias (b) na cidade de Candiota em maio de 2016.



Fonte: Climatempo, 2016

Figura 83: Índice pluviométrico (a) e temperaturas mínimas e máximas diárias (b) na cidade de Candiota em junho de 2016.



Fonte: Climatempo, 2016

A Tabela 6 apresenta a composição proximal da biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada com gás de combustão e no cultivo controle. Ao comparar a concentração proximal da biomassa, entre o cultivo com gás de combustão e o controle, a concentração média de proteínas, carboidratos e lipídios não diferiram significativamente ($p>0,05$), mas o teor de cinzas e umidade apresentaram diferença ($p<0,05$).

Tabela 6: Composição proximal em base seca da biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada com injeção de gás de combustão e no cultivo controle

Cultivo	Proteínas (% $m.m^{-1}$)	Carboidratos (% $m.m^{-1}$)	Lipídios (% $m.m^{-1}$)	Cinzas (% $m.m^{-1}$)	Umidade (% $m.m^{-1}$)
Com gás de combustão	$36,6 \pm 0,2^a$	$7,4 \pm 0,6^a$	$4,7 \pm 0,2^a$	$35,0 \pm 0,2^a$	$7,6 \pm <0,1^a$
Controle	$36,2 \pm 0,3^a$	$9,2 \pm 1,0^a$	$4,5 \pm 0,8^a$	$33,2 \pm 0,1^b$	$8,5 \pm <0,1^b$

Letras sobrescritas iguais, na mesma coluna, indicam que as médias não diferiram estatisticamente ao nível de significância de 95,0% ($p>0,05$).

A concentração média das principais macromoléculas do gênero *Spirulina* sp. LEB 18 pode variar de acordo com a espécie, modo de cultivo e condição nutricional. Borges et al. (2013), em cultivos em biorreatores abertos tipo *Raceway*, em condições *outdoor*, encontrou na biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 62,0%, 5,0%, 22,0% e 11,0% para a concentração média de proteínas, carboidratos, lipídios e cinzas, respectivamente. Rosa et al. (2015) encontraram valores similares aos citados para proteínas, lipídios e carboidratos, enquanto que Moraes et al. (2016) obtiveram valores próximos destas macromoléculas e também de cinzas.

Ao comparar os resultados obtidos na biomassa da microalga cultivada na UTPM (Tabela 6) com os de Borges et al. (2013) é possível perceber que a concentração média de proteínas e cinzas é discrepante. Uma das possíveis explicações para este fato é que ambos os cultivos (com gás de combustão e controle) foram submetidos a grandes quantidades de materiais particulados provenientes da fase C da UTPM, como mostra a Figura 84. Desta maneira, acredita-se que no momento da recuperação da biomassa, com o uso filtro prensa, cinzas se misturaram e foram amostradas juntamente com a biomassa.

Figura 84: Vista lateral da Fase C da UTPM no momento de descarga particulado ou manutenção dos silos próximos a planta de biofixação de CO_2

A questão de particulados emitidos na queima do carvão mineral pela UTPM sempre foi motivo de preocupação pela equipe técnica do projeto. Após intensa pesquisa em bases de dados internacionais, poucas referências foram encontradas com relação aos problemas que tais materiais particulados (em especial cinzas) poderiam causar aos cultivos e às próprias microalgas. Assim, decidiu-se estudar tal problemática, temendo que este material poderia inviabilizar os cultivos de microalgas nas instalações da Eletrobrás-CGTEE em Candiota. Contudo, estudos de duas Dissertações de Mestrado, que culminaram em artigos publicados em periódicos internacionais de alto fator de impacto (DUARTE; FANKA; COSTA, 2016; VAZ; COSTA; MORAIS, 2016), mostraram que a cinzas podem serem benéficas às microalgas. Em ambos estudos, os autores comprovaram que a grande quantidade de minerais nas cinzas pode substituir, em parte, os nutrientes necessários para cultivo de microalgas.

2.3.4.3 Considerações finais a respeito da condução da planta piloto de biofixação de CO_2 na UTPM

Os resultados obtidos na planta piloto de biofixação de CO_2 por microalgas, bem como os estudos realizados pela equipe em escala laboratorial, vão ao encontro de que o emprego de gás de combustão pode ser utilizado pelas microalgas como fonte de carbono. Neste contexto, a microalga *Spirulina* se mostrou tolerante ao gás de combustão e também a condições adversas proporcionadas na UTPM, como temperaturas em torno de 0°C, elevados índices pluviométricos, baixa incidência luminosa e materiais particulados. Assim, a partir dos dados levantados nos cultivos na UTPM, fica claro a importância da operação continua da planta por um ano inteiro, afim de comparar o crescimento durante as 4 estações do ano.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. R., CAMERINI, F. V., COSTA, J. A. V. Perda química de carbono e cinética do crescimento celular em cultivos de *Spirulina*. **Química Nova**, v. 31, p. 2031-2034, 2008.

AOAC - **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 17th HORWITZ, W.; ed. Maryland: Association of Official Analytical Chemists, 2000.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th ed., Horwitz, W., Maryland.

AZEVEDO, S. M. F. O., CARMICHAEL, W. W., JOCHIMSEN, E. M., RINEHART, K. L., LAU, S., SHAW, G. R., EAGLESHAM, G. K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru—Brazil. **Toxicology**, v. 181/182, p. 441-446, 2002.

BAUMGARTEN, M. G. Z., WALLNER-KERSANACH, M., NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de Análises em Oceanografia Química**. Rio Grande: ed. FURG, 2010.

BORGES, J. A.; ROSA, G. M.; MEZA, L. H. R.; HENRARD, A. A.; SOUZA, M. R. A. Z.; COSTA, J. A. V. *Spirulina* sp. LEB-18 culture using effluent from the anaerobic digestion. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, No. 2, p. 277-287, 2013.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. Ed. Edgard Blucher, 1994.

CHANG, H. X., HUANG, Y., FU, Q., LIAO, Q., ZHU, X. Kinetic characteristics and modeling of microalgae *Chlorella vulgaris* growth and CO_2 biofixation considering the coupled effects of light intensity and dissolved inorganic carbon. **Bioresource Technology**, v. 206, p. 231-238, 2016.

CHINI ZITTELLI, G., PASTORELLI, R., TREDICI, M. R. A. Modular Flat Panel Photobioreactor (MFPP) for indoor cultivation of *Nannochloropsis* sp. under artificial illumination. **Journal of Applied Phycology,** v.12, p. 521-526, 2000.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology advances**, v. 25, p. 294-306, 2007.

COLLE, S., VANDERSCHUREN, J., THOMAS, D. Simulation of SO_2 absorption into sulfuric acid solutions containing hydrogen peroxide in the fast and moderately fast kinetic regimes. **Chemical Engineering Science**, v. 60, p. 6472-6479, 2005.

COSTA, J. A. V., COLLA, L. M., DUARTE FILHO, P.; KABKE, K., WEBER, A. Modeling of *Spirulina platensis* growth in fresh water using response surface methodology. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, v. 18, p. 603-607, 2002.

COSTA, J. A. V.; MORAIS, M. G.; RADMANN, E. M.; SANTANA, F. B., CAMERINI, F. V. SOUZA, M. R. A. Z. HENRARD, A. A.; ROSA, A. P. C. BRUSCH, L. Biofixation of carbon dioxide from coal station flue gas using *Spirulina* sp. LEB 18 and *Scenedesmus obliquus* LEB 22. **African Journal of Microbiology Research**, v. 9(44), p. 2202-2208, 2015.

CUELLAR-BERMUDEZ, S. P., GARCIA-PEREZ, J. S., RITTMANN, B. E., PARRA-SALDIVAR, R., HE, Q., YANG, H., WU, L., HU, C., JUDD, S., VAN DEN BROEKE, L. J. P., SHURAIR, M., KUTI, Y., ZNAD, H., KASIRI, S., ULRICH, A., PRASAD, V., ZHAO, B., GARG, M. O. Effect of light intensity on physiological changes, carbon allocation and neutral lipid accumulation in oleaginous microalgae. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 356-366, 2015.

DOE. **Theoretical Ethanol Yield Calculator, US Department of Energy**. Disponível em: <www.eere.energy.gov/biomass/ethanolyield>. Acesso em: 01 de julho de 2016, 18:30:00.

DUARTE, J. H.; FANKA, L. S.; COSTA, J. A. V. Utilization of simulated flue gas containing CO_2, SO_2, NO and ash for *Chlorella fusca* cultivation. **Bioresource Technology**, v. 214, p. 159-165, 2016.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. A., SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

FERRAZ, C. A. M.; AQUARONE, E.; KRAUTER, M. Efeito da luz e do pH no crescimento de *Spirulina maxima*. **Revista de Microbiologia**, v. 16, n° 2, p. 132-137, 1985.

FOLCH J., LEES, M., STANLEY, G. H. S. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497-509, 1957.

HARWOOD, J. L., GUSCHINA, I. A. The versatility of algae and their lipid metabolism. **Biochimie**, v. 91, p. 679-684, 1999.

HO, S., CHEN, W., LEE, D., CHANG, J. Perspectives on microalgal CO_2-emission mitigation systems — A review, **Biotechnology Advances**, v. 29, p. 189-198, 2011.

KUHAD, R. C., GUPTA, R., KHASA, Y. P., SINGH, A., ZHANG, Y. H. P. Bioethanol production from pentose sugars: Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 4950-4962, 2011.

LOURENÇO, S. O. Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações. São Carlos: RiMa, 2006.

LOWRY, O.H., ROSEBROUGH, N.J., FARR, A.L., RANDALL, R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, v. 193(1), p. 265-275, 1951.

MARSH, J. B., WEINSTEIN, D. B. Simple charring method for determination of lipids. **Journal of Lipid Research**, v. 7, p. 574-576, 1966.

MORAES, L., ROSA, G. M., CARDIAS, B. B. SANTOS, L. O., COSTA, J. A. V. Microalgal biotechnology for greenhouse gas control: Carbon dioxide fixation by *Spirulina* sp. at different diffusers. **Ecological Engineering**, v. 91, p 426-431, 2016.

MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Biofixation of carbon dioxide by *Spirulina* sp. and *Scenedesmus obliquus* cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor. **Journal of Biotechnology**, v. 129, p. 439-445, 2007b.

MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Carbon dioxide biofixation with *Chlorella kessleri*, *C. vulgaris*, *Senedesmus obliquus* and *Spirulina* sp. cultivated in flasks and vertical tubular photobioreactors. **Biotechnology Letters**, v. 29, p. 1349-1352, 2007a.

MORAIS, M. G., RADMANN, E. M., ANDRADE, M. R., TEIXEIRA, G. G., BRUSCH, B., COSTA, J. A. V. Pilot scale semicontinuous production of *Spirulina* biomass in southern Brazil. **Aquaculture**, v. 294, p. 60-64, 2009.

MORAIS, M. G., RADMANN, E. M., COSTA, J. A. V. Biofixation of CO_2 from synthetic combustion gas using cultivated microalgae in three-stage serial tubular photobioreactors. **Zeitschriftfür Naturforschung**, v. 66, p. 313-318, 2011.

MORAIS, M. G.; COSTA, J. A. V. Carbon dioxide fixation by *Chlorella kessleri*, *C. vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* and *Spirulina* sp. cultivated in flasks and vertical tubular photobioreactors. **Biotechnology Letters**, v. 29, p. 1349-1352, 2007.

MORAIS, M. G.; REICHERT, C. C.; DALCANTON, F.; DURANTE, A. J.; MARINS, L. F.; COSTA, J. A. V. Isolation and characterization of a new *Arthrospira* strain. **Zeitschrift für Naturforschung**, v. 63, p. 144-150, 2008.

RADMANN, E. M., CAMERINI, F. V., SANTOS, T. D., COSTA, J. A. V. Isolation and application of SO_X and NO_X resistant microalgae in biofixation of CO_2 from thermoelectricity plants. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 3132-3136, 2011.

REICHERT C. C., REINEHR C. O., COSTA J. A. V. Semicontinuous cultivation of the cyanobacterium *Spirulina platensis* in a closed photobioreactor. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 23, p. 23-28, 2006.

RICHMOND, A. **Handbook of microalgal mass culture**. Boston: CRC Press, 1990.

RIPPKA, R., DERUELLES, J., WATERBURY, J. W., HERDMAN, M., STANIER, R. G. Genetic assignments, strain histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. **Journal of General Microbiology**, v. 111, p.1-61, 1979.

ROSA, G. M.; MORAES, L.; CARDIAS, B. B.; SOUZA, M. R. A. Z.; COSTA, J. A. V. Chemical absorption and CO_2 biofixation via the cultivation of *Spirulina* in semicontinuous mode with nutrient recycle. **Bioresource Technology**, v. 192, p. 321–327, 2015.

SOCCOL, C. R., VANDENBERGHE, L. P. D. S., MEDEIROS, A. B. P., KARP, S. G., BUCKERIDGE, M., RAMOS, L. P., PITARELO, A. P., FERREIRA-LEITÃO, V., GOTTSCHALK, L. M. F., FERRARA, M. A., SILVA BON, E. P., MORAES, L. M. P., ARAÚJO, J. D. A., TORRES, F. A. G. Bioethanol from lignocelluloses: Status and perspectives in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4820-4825, 2010.

VAZ, B. S.; COSTA, J. A. V.; MORAIS, M. G. CO_2 biofixation by the cyanobacterium *Spirulina* sp. LEB 18 and the green alga *Chlorella fusca* LEB 111 grown using gas effluents and solid residues of thermoelectric origin. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v. 178, p. 418-429, 2016.

VOGEL, K. P., DIEN, B. S., JUNG, H. G., CASLER, M. D., MASTERSON, S. D., MITCHELL, R. B. Quantifying actual and theoretical ethanol yields for switchgrass strains using NIRS Analyses. **Bioenergy Research**, v. 4, p. 96-110, 2011.

VONSHAK, A. *Spirulina*: Growth, Physiology and Biochemistry. In: VONSHAK, A. ***Spirulina platensis* (*Arthrospira*) Physiology, cell-biology and biotechnology**. London: Taylor & Francis, 1997. Cap. 3, p. 43-66.

WATANABE, A. List of algal strains in collection at the Institute of Applied Microbiology University of Tokyo. **The Journal of General and Applied Microbiology**, v. 6, p.1-4, 1960.

ZARROUK, C. **Contribuition a Letude Dune Cyanophycee, Influence de Divers Facteurs physiques *et* Chimiques sur la Croissance et photosynthese de *Spirulina maxima* geitler**. Ph.D. Thesis University of Paris. 1966.

ZHANG, K., KURANO, N., MIYACHI, S. Optimized aeration by carbon dioxide gas for microalgal production and mass transfer characterization in a vertical flatplate photobioreactor. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 25, p. 97–101, 2002.

ZHAO, B., SU, Y. Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: a review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 121–132, 2014.

4 PRODUÇÃO CIENTÍFICA RELATIVA AO ESCOPO DO PROJETO CGTEE – FURG – FAURG

4 PRODUÇÃO CIENTÍFICA RELATIVA AO ESCOPO DO PROJETO CGTEE – FURG – FAURG (2012 – julho/2016)

4.1 Prêmios e títulos relacionados ao projeto

2015 Destaque Melhor Pôster apresentado durante o IV Latinamerican Congress of SOLABIAA, Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal - *Synechococcus nidulans* LEB 115 growth and phycocyanin production in culture varying the photoperiod with the use of light emitting dodes (LEDs), Universidade Federal de Santa Catarina.

2014 Destaque Trabalho no VI Simpósio de Energia e Meio Ambiente - Influência dos campos magnéticos no crescimento e teor lipídico da microalga *Spirulina platensis*, Universidade Federal do Pampa.

2014 Destaque Trabalho no 9º Congresso Internacional de Bioenergia - Avaliação do crescimento e composição da biomassa em cultivos da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 com aplicação de campos magnéticos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

2014 Destaque Trabalho (1º lugar) no II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos - Aplicação de membranas de fibra oca no cultivo de *Spirulina*, Universidade Federal do Rio Grande.

2014 Destaque Trabalho (2º lugar) no II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos - Cultivo e biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18 com monoetanolamina e reciclo de nutrientes, Universidade Federal do Rio Grande.

4.2 Produção bibliográfica

4.2.1 Artigos completos publicados em periódicos relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

CAMERINI, F., SOUZA, M. R. A. Z., MORAIS, M. G., VAZ, B. S., MORAIS, E. G., COSTA, J. A. V. Biofixation of CO_2 on a Pilot Scale: The Scaling of the Process for Industrial Application. African Journal of Microbiology Research, v. 10, p. 768-774, 2016.

VAZ, B. S., COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. CO_2 biofixation by the cyanobacterium *Spirulina* sp. LEB 18 and the green alga *Chlorella fusca* LEB 111 grown using gas efluents and solid residues of thermoelectric origin. Applied Biochemistry and Biotechnology (Online), v. 178, p. 418-429, 2016.

ROSA, G. M., MORAES, L., DE SOUZA, M. R. Z., COSTA, J. A. V. *Spirulina* cultivation with a CO_2 absorbent: Influence on growth parameters and macromolecule production. Bioresource Technology, v. 200, p. 528-534, 2016.

MORAES, L., ROSA, G. M., CARDIAS, B.B., SANTOS, L. O., COSTA, J. A. V. Microalgal biotechnology for greenhouse gas control: Carbon dioxide fixation by Spirulina sp. at different diffusers. Ecological Engineering, v. 91, p. 426-431, 2016.

DUARTE-SANTOS, T., MENDOZA-MARTÍN, J. L., ACIÉN FERNÁNDEZ, F. G., MOLINA, E., COSTA, J. A. V., HEAVEN, S. Optimization of carbon dioxide supply in raceway reactors: Influence of carbon dioxide molar fraction and gas flow rate. Bioresource Technology, v. 212, p. 72-81, 2016.

DEAMICI, K. M., CARDIAS, B. B., COSTA, J. A. V., SANTOS, L. O. Static magnetic fields in culture of *Chlorella fusca*: Bioeffects on growth and biomass composition. Process Biochemistry (1991), v. 51, p. 912-916, 2016.

DUARTE, J. H., FANKA, LI. S., COSTA, J. A. V. Utilization of simulated flue gas containing CO_2, SO_2, NO and ash for *Chlorella fusca* cultivation. Bioresource Technology, v. 214, p. 159-165, 2016.

MOREIRA, J. B., COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. Evaluation of different modes of operation for the production of *Spirulina* sp.. Journal of Chemical Technology and Biotechnology (1986), v. 91, p. 1345-1348, 2016.

VAZ, B. S., COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. Use of Solid Waste from Thermoelectric Plants for the Cultivation of Microalgae. Brazilian Archives of Biology and Technology (Online), v. 59, p. 1-8, 2016.

MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V., WENDORFF, J., STILLINGS, C., PRANKE, P. H. L., DERSCH, R., RUDISILE, M. Biofunctionalized Nanofibers Using Arthrospira (*Spirulina*) Biomass and Biopolymer. BIOMED RES INT, v. 2015, p. 1-8, 2015.

ANTELO, Francine, KALIL, Susana Juliano, **COSTA, Jorge Alberto Vieira.** Purification of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* in aqueous two-phase systems using an experimental design. Brazilian Archives of Biology and Technology (Impresso), v.58, p.1 - 11, 2015.

MORAIS, M. G., MORAIS, E. G., VAZ, B. S., COSTA, J. A. V. Biologically active metabolites synthesized by microalgae. Journal of Biomedicine and Biotechnology (Print), v.2015, p.1-15 , 2015.

HENRARD, A. A., ROSA G. M., MORAES, L., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. The cultivation of microalgae *Cyanobium* sp. and *Chlorella* sp. in different culture media and stirring setting. African Journal of Microbiology Research, v. 9, p. 1431-1439, 2015.

ROSA, G. M., MORAES, L., CARDIAS, B. B., SOUZA, M. R. A. Z., COSTA, J. A. V. Chemical absorption and CO_2 biofixation via the cultivation of *Spirulina* in semicontinuous mode with nutrient recycle. Bioresource Technology, v.192, p.321 - 327, 2015.

ROSA, A. P. C., SANTOS, T. D., RADMANN, E. M., SANTANA, F. B., COSTA, J. A. V. Production of *Spirulina* in semicontinuous cultivation using medium recycle. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), v. 5, p. 36-42, 2015.

COELHO, V. C., SILVA, C. K., TERRA, A. L. M., COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. Polyhydroxybutyrate production by *Spirulina* sp. LEB 18 grown under different nutrient concentrations. African Journal of Microbiology Research, v.9, p.1586 - 1594, 2015.

HENRARD, A. A., SILVA, C. K., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Carbon dioxide mitigation by microalga in a vertical tubular reactor with recycling of the culture medium. African Journal of Microbiology Research, v. 9, p. 1935-1940, 2015.

COSTA, J. A. V., BRUSCH, L. R. F., ANDRADE, M. R., MORAIS, M. G., SANTANA, F. B., HENRARD, A. A., ROSA, A. P. C., RADMANN, E. M., CAMERINI, F. Biofixation of carbon dioxide from coal station flue gas using *Spirulina* sp. LEB 18 and *Scenedesmus obliquus* LEB 22. African Journal of Microbiology Research, v. 9, p. 2202-2208, 2015.

MORAIS, Michele Greque de, MARTINS, Roberta Guimarães, GONÇALVES, Igor S.,

COSTA, Jorge Alberto Vieira. Bioprocess engineering aspects of biopolymer production by the cyanobacterium *Spirulina* strain LEB 18. International Journal of Polymer Science. , v.2014, p.e1 - 6, 2014.

PEREIRA FILHO, Renato Dutra, FURLONG, Vitor Badiale, **COSTA, Jorge Alberto Vieira.** Dynamic Simulation of Chemical Kinetics in Microcontroller. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). , v.4, p.34 - , 2014.

MORAIS, Michele Greque de, MORAES, Luiza, MARTINS, Gabriel, HENRARD, Adriano Arruda, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Effect of the carbon concentration, blend concentration and renewal rate in the growth kinetic of *Chlorella*. The Scientific World Journal. , v.2014, p.e1 - 9, 2014.

CARVALHO, Lisiane Fernandes, OLIVEIRA, Mariana Souza de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Evaluation of the Influence of Nitrogen and Phosphorus Nutrients in the Culture and Production of Biosurfactants by Microalga *Spirulina*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). , v.4, p.90 - 98, 2014.

MORAES, Caroline Costa, LUISA, Sala, COSTA, Ores Joana da, CAVALCANTE, Braga Anna Rafaela, COSTA, Jorge Alberto Vieira, KALIL, Susana Juliano. Expanded and fixed bed ion exchange chromatography for the recovery of C-phycocyanin in a single step by using lysed cells. Canadian Journal of Chemical Engineering. , v.1, p.e1 - 20, 2014.

MARGARITES, Ana Cláudia Freitas, **COSTA, Jorge Alberto Vieira**. Increment of carbohydrate concentration of *Chlorella minutissima* microalgae for bioethanol production. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). , v.4, p.80 - 86, 2014.

COLLA, Luciane Maria, DAL'MAGRO, Clinei, ROSSI, A., REINEHR, Christian Oliveira, THOMÉ, Antônio, BERTOLIN, Telma Elita, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Potential of live *Spirulina platensis* on biosorption of hexavalent chromium and its conversion to trivalent chromium. International Journal of Phytoremediation. , v.00, p.e1 - 8, 2014.

LISBOA, Cristiane R., PEREIRA, Aline M., FERREIRA, Shana Pires, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Utilization of *Spirulina* sp. and *Chlorella pyrenoidosa* biomass for the production of enzymatic protein hydrolysates. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). , v.4, p.29 - 38, 2014.

BADIALE, Furlong Vitor, DUTRA, Pereira Filho Renato, CLÁUDIA, Margarites Ana,

GUDER, Goularte Pâmela, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Estimating microalgae *Synechococcus nidulans* daily biomass concentration using neuro-fuzzy network. Ciência e Tecnologia de Alimentos (Online). , v.33, p.142 - 147, 2013.

L., Dotto G., COSTA, Jorge Alberto Vieira, A., Pinto L. A. Kinetic Studies on the Biosorption of Phenol by Nanoparticles from *Spirulina* sp. LEB 18. Journal of Environmental Chemical Engineering. , v.1/4, p.1137 - 1143, 2013.

FERREIRA, Shana P., SOARES, Leonor Almeida de Souza, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Microalgas: uma fonte alternativa na obtenção de ácidos gordos essenciais. Revista de Ciências Agrárias (Lisboa). , v.36, p.275 - 287, 2013.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, CARDIAS, Bruna, MORAES, Luiza, ROSA, Gabriel Martins da. Produção de Biomassa de *Spirulina* sp. LEB 18 com Diferentes Difusores Para Injeção de CO_2. BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports. , v.2, p.1 - 4, 2013.

MOREIRA, Lidiane Muniz, BEHLING, Bruna del Sacramento, RODRIGUES, Rosane da Silva, COSTA, Jorge Alberto Vieira, SOARES, Leonor Almeida de Souza. *Spirulina* as a Protein Source in the Nutritional Recovery of Wistar Rats. Brazilian Archives of Biology and Technology (Impresso). , v.56, p.447 - 456, 2013.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, HENRARD, Adriano Arruda, MARTINS, Gabriel, BORGES, Joice Aline. *Spirulina* sp. LEB-18 culture using effluent from the anaerobic digestion. Brazilian Journal of Chemical Engineering (Impresso). , v.30, p.277 - 288, 2013.

4.2.2 Trabalhos publicados em anais de eventos (COMPLETO) relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

PRATES, D., BARCIA, M. T., RADMANN, E. M., COSTA, J. A. V. *Synechococcus nidulans* LEB 115 growth and phycocyanin production in culture varying the photoperiod with the use of light emiting diodes (leds). In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015. IV SOLABIAA, 2015.

PRATES, D., BARCIA, M. T., RADMANN, E. M., COSTA, J. A. V. Photoperiod Effect on *Spirulina* sp. LEB 18 Growth for Phycocyanin and Biomass Production. In: IV Latin

American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015. IV SOLABIAA, 2015.

MORAES, L., MARTINS, G., CARDIAS, BRUNA BARCELOS, SANTOS, L. O., COSTA, J. A. V. Produção e Caracterização da Biomassa de *Spirulina* Cultivada com Injeção de CO_2 Por Membranas In: 3º Congresso Brasileiro de CO_2 na Indústria do petróleo, gás e biocombustíveis, 2015. 3º Congresso Brasileiro de CO_2 na Indústria do petróleo, gás e biocombustíveis. 2015.

ROSA G. M., MORAES, L., CARDIAS, B., ANDRADE, M. R., COSTA, J. A. V. Biofixação de CO_2 e produção de macromoléculas de *Spirulina* sp LEB 18 em diferentes modos de condução de cultivo In: 3º Congresso Brasileiro de CO_2 na Indústria do petróleo, gás e biocombustíveis, 2015. 3º Congresso Brasileiro de CO_2 na Indústria do petróleo, gás e biocombustíveis, 2015.

FANKA, L. S., DUARTE, J. H., COSTA, J. A. V. Avaliação dos parâmetros cinéticos de *Chlorella Fusca* LEB 111 cultivada com efluentes gasosos e com resíduo sólido de origem termelétrica. In: 3º Congresso Brasileiro de CO_2, 2015, Rio de Janeiro. 3º Congresso Brasileiro de CO_2, 2015.

FANKA, L. S., DUARTE, J. H., MOREIRA, J. B., MORAIS, E. G., TERRA, A. L., CORA, J., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Utilização de CO_2 como fonte de carbono nos cultivos semicontínuo e em batelada de *Chlorella fusca* LEB 111. In: 3º Congresso Brasileiro de CO_2, 2015, Rio de Janeiro. 3º Congresso Brasileiro de CO_2, 2015.

UEBEL, L., SCHMATZ, D., KUNTZLER, S., DORA, C. L., COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. Nanofiber scaffolds for tissue engineering containing biomass of microalgae *Spirulina* sp. LEB 18. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

FREITAS, B. C. B., CASSURIAGA, A. P., MORAIS, E. G., COSTA, J. A.V. Effects of the combined use of carbon dioxide and pentoses in the growth of *Chlorella minutissima*. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

FREITAS, B. C. B.. COSTA, J. A. V., ESQUIVEL, M. G. C. I. Analisys of nitrogen stress response in two *Chlamydomonas renhardtii* strains with divergent CO_2 assimilation

rates. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

SANTOS, T. D., ROSA, A. P. C., COSTA, J. A. V. CO_2 fixation by *Spirulina* in horizontal tubular photobioreactor. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

VAZ, B. S., XAVIER, B. H. P., COSTA, J. A. V., MORAIS, M. G. CO_2 Biofixation by the cyanobacterium *Spirulina* sp. LEB 18 and green algae *Chlorella fusca* LEB 111 grown with gas effluents and solid thermoeletric residues. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015. IV SOLABIAA, 2015.

MORAIS, E. G., CASSURRIAGA, A. P., MORAIS, M. G., MARTINEZ, N., CALLEJAS, N., JACHMANIAN-ALPUY, I., VIEITEZ-OSORIO, I., COSTA, J. A. V. Evaluation of CO_2 biofixation and biodiesel production by *Spirulina* sp LEB 18. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

MORAIS, E. G., DUARTE, J. H., RADMANN, E. M., COSTA, J. A. V. Biological CO_2 mitigation from coal combustion gas by *Spirulina* sp LEB 18 and *Chlorella fusca* LEB 111. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latinoamericana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015. IV SOLABIAA, 2015.

DUARTE, J. H., FANKA, L. S., COSTA, J. A. V. Evalution of sulphur dioxide and nitric oxide in the carbon dioxide biofixation of *Chlorella fusca* LEB 111 cultivations. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latino Americana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

DUARTE, J. H., MOREIRA, J. B., FANKA, L. S., CORA, J., TERRA, A. L., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Biological CO_2 mitigation by *Spirulina* sp. LEB 18: Evaluation of gas flow in the cultivations. In: IV Latin American Congress from the Sociedad Latino Americana de Biotecnologia Ambiental y Algal, 2015, Florianópolis. IV SOLABIAA, 2015.

DEAMICI, K., CARDIAS, B., SANTOS, L. O., COSTA, J. A. V. Crescimento e

composição da microalga *Spirulina* sp LEB 18 exposta ao campo magnético de 30 mT em diferentes tempos de exposição. In: XX Simpósio Nacional de Bioprocessos XI Simpósio de hidrólise enzimática de biomassas, 2015. XX SINAFERM, 2015.

MENESTRINO, B., COSTA, J. A. V., SANTOS, L. O. Cultivo da microalga *Chlorella minutissima* sob aplicação de campo magnético. In: XX Simpósio Nacional de Bioprocessos XI Simpósio de hidrólise enzimática de biomassas, 2015. XX SINAFERM, 2015.

MORAES, Luiza, ROSA, Gabriel Martins da, CARDIAS, Bruna, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. APLICAÇÃO DE MEMBRANAS DE FIBRA OCA NA BIOFIXAÇÃO DE CO_2 POR *Spirulina* In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis, SC. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, SC: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2014.

DUARTE, J. H., MORAIS, E. G., VAZ, B., MOREIRA, J. B., TERRA, A. L., CORA, J., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada em diferentes biorreatores. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. XX COBEQ, 2014.

DUARTE, J. H., MORAIS, E. G., RADMANN, E. M., COSTA, J. A. V. Cultivo de *Scenedesmus actus* LEB 116 utilizando como fonte de carbono CO_2 resultante da queima do carvão mineral para geração termelétrica. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. XX COBEQ, 2014.

DUARTE, J. H., VAZ, B., MORAIS, E. G., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Cultivo de *Chlorella fusca* LEB 111 e *Chlorella minutissima* LEB 114 isoladas de lagoas de tratamento de efluentes de origem termelétrica. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. XX COBEQ, 2014.

DEAMICI, Kricelle, CARDIAS, Bruna, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Avaliação do crescimento e composição da biomassa em cultivos da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 com aplicação de campos magnéticos In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, 2014, São Paulo, SP. **9º Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2014.

FANKA, Letícia Schneider, DUARTE, Jéssica Hartwig, MORAIS, Etiele Greque de, CASSURIAGA, Ana Paula, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Caracterização bioquímica e *Chlorella fusca* LEB 116, *Chlorella vulgaris* LEB 112 e *Scenedesmus actus* LEB 116,

isoladas de região próxima à usina termelétrica In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, 2014, São Paulo, SP. **9º Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2014.

DEAMICI, Kricelle, CARDIAS, Bruna, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Crescimento da microalga *Chlorella fusca* cultivada sob diferentes tratamentos magnéticos In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, 2014, São Paulo, SP. **9º Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2014.

ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, CARDIAS, Bruna, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. CULTIVO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA CIANOBACTÉRIA *Spirulina* COM MONOETANOLAMINA E RECICLO DE NUTRIENTES In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis, SC. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, SC: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2014.

SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Andressa M. da, MENESTRINO, Bruno, MACHADO, Bruno R., PORCIUNCULA, Gustavo Antonacci, BARANZELLI, Jéssica, TEIXEIRA, Juliana F., ZILLI, Juliana, LUCONI, Nicole, MELO, Pedro M., ROCHA, Willian R., BORGES, Renata K. F., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Engineering programs in the areas of Oil & Gas, Petrochemicals and Biofuels: raising the interest of high school students in related courses In: 12th Active Learning in Engineering Education, 2014, Caxias do Sul, RS. **12th Active Learning in Engineering Education**. Caxias do Sul, RS: , 2014.

CARDIAS, Bruna, ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, SANTOS, Lucielen o dos, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ABSORVENTES DE CO_2 NA BIOFIXAÇÃO DE CARBONO E NA COMPOSIÇÃO DA CIANOBACTÉRIA *Spirulina* In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis, SC. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, SC: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2014.

FANKA, Letícia Schneider, DUARTE, Jéssica Hartwig, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Mitigação biológica de CO_2 a partir de *Spirulina* sp. LEB 18: avaliação da concentração celular inicial, em diferentes biorreatores, nos parâmetros cinéticos dos cultivos In: 9º Congresso Internacional de Bioenergia, 2014, São Paulo, SP. **9º Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2014.

DUARTE, J. H., VAZ, B., MORAIS, E. G., MORAIS, M. G., COSTA, J. A. V. Cultivo de *Chlorella fusca* LEB 111 e *Chlorella minutissima* LEB 114 isoladas de lagoas de tratamento de efluentes de origem termelétrica. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. XX COBEQ, 2014.

MOREIRA, Juliana Botelho, TERRA, Ana Luíza Machado, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Avaliação de parâmetros cinéticos no cultivo da microalga *Spirulina* LEB-18 em fotobiorreator fechado In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Foz do Iguaçu, PR: , 2013.

MORAIS, Etiele Greque de, DUARTE, Jéssica Hartwig, RADMANN, Elisangela Martha, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Avaliação do teor de carboidratos em *Chlorella fusca* cultivada com gás de combustão proveniente da queima do carvão em usina termelétrica In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Foz do Iguaçu, PR: , 2013.

DUARTE, Jéssica Hartwig, MORAIS, Etiele Greque de, RADMANN, Elisangela Martha, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Bioengenharia de microalgas para fixação de CO_2 obtido da queima do carvão para geração termelétrica In: IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2013, Gramado, RS. **IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**. Gramado, RS: , 2013.

VAZ, Bruna S., XAVIER, Breno Hadrich Pavão, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Bioengenharia de microalgas para fixação de CO_2 proveniente da combustão do carvão In: 8 Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo, SP. **8 Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2013.

MORAES, Luiza, MARTINS, Gabriel, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18 com e sem ajuste de pH In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Foz do Iguaçu, PR: , 2013.

MORAES, Luiza, MARTINS, Gabriel, CARDIAS, Bruna, SANTOS, Lucielen Oliveira dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18 utilizando diferentes configurações de difusores In: IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2013, Gramado, RS. **IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**. Gramado, RS: , 2013.

MORAIS, Etiele Greque de, DUARTE, Jéssica Hartwig, RADMANN, Elisangela Martha, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 proveniente da combustão do carvão por Chlorophytas isoladas próximo a usina termelétrica In: IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2013, Gramado, RS. **IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**. Gramado, RS: , 2013.

COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biomassa de *Spirulina* cultivada no sul do Brasil como fonte de minerais essenciais In: XIV Congresso Argentino de Ciencia y Tecnologia de Alimentos, 2013, Rosário, AR. **XIV Congresso Argentino de Ciencia y Tecnologia de Alimentos**. Rosário, AR: , 2013.

DUARTE, Jéssica Hartwig, MORAIS, Etiele Greque de, M., Radmann E., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo da microalga *Spirulina* sp. utilizando gás de combustão proveniente da geração termelétrica In: 2º Congresso Brasileiro de CO_2 na Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustíveis, 2013, Rio de Janeiro, RJ. **2º Congresso Brasileiro de CO_2 na Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro, RJ: , 2013.

GONÇALVES, Igor S., MARTINS, Roberta Guimarães, G., Morais M., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo da microalga *Synechococcus nidulans* para produção de biopolímeros In: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química - Iniciação Científica, 2013, Vassouras, RJ. **X Congresso Brasileiro de Engenharia Química - Iniciação Científica**. Vassouras, RJ: , 2013.

BRACHER, Eduarda Holz, FREITAS, Bárbara Catarina Bastos de, ATALA, Daniel, PORCIUNCULA, Gustavo Antonacci, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Chlorella minutissima* em fotobiorreatores raceway utilizando pentoses como fonte de carbono In: 8 Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo, SP. **8 Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2013.

VAZ, Bruna S., XAVIER, Breno Hadrich Pavão, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Cultivo de microalgas com efluentes gasosos e materiais particulados de termelétrica In: IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2013, Gramado, RS. **IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**. Gramado, RS: , 2013.

ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Spirulina* sp. LEB 18 com absorvente de CO_2 monoetanolamina In: IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2013, Gramado, RS. **IV Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**. Gramado, RS: , 2013.

MORAIS, Etiele Greque de, DUARTE, Jéssica Hartwig, RADMANN, Elisangela Martha, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Spirulina* sp. LEB-18 em diferentes biorreatores utilizando gás de combustão proveniente da geração termelétrica In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Foz do Iguaçu, PR: , 2013.

TERRA, Ana Luíza Machado, CORÁ, Jéssica, MOREIRA, Juliana Botelho, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Cultivo semicontínuo de microalgas para mitigação do CO_2 atmosférico In: 8 Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo, SP. **8 Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2013.

CORÁ, Jéssica, MOREIRA, Juliana Botelho, TERRA, Ana Luíza Machado, OLIVEIRA, Mariana Souza de, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Cultivo semicontínuo de *Spirulina* sp. LEB-18 para síntese de biopolímeros In: VIII Simpósio de Alimentos para a Região Sul, 2013, Passo Fundo, RS. **VIII Simpósio de Alimentos para a Região Sul**. Passo Fundo, RS: , 2013.

ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, BADIALE-FURLONG, Eliana, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Extração e quantificação de lipídios em biomassa de *Spirulina* sp. LEB-18 In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Foz do Iguaçu, PR: , 2013.

CARDIAS, Bruna, MORAES, Luiza, ROSA, Gabriel Martins da, SANTOS, Lucielen Oliveira dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Influência da configuração do difusor na biofixação de CO_2 pela microalga *Spirulina* sp. LEB 18 In: 8 Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo, SP. **8 Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2013.

LISBOA, Cristiane R., FERREIRA, Shana P., HOLZ, Jefferson Crizel Pinheiro, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Perfil de ácidos graxos da biomassa de *Chlorella vulgaris* In: XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **XIX Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Foz do Iguaçu, PR: , 2013.

ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, CARDIAS, Bruna, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Produção de biomassa, proteínas e carboidratos de *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada com adição de monoetanolamina In: 8 Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo, SP. **8 Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2013.

MORAES, Luiza, CARDIAS, Bruna, ROSA, Gabriel Martins da, COSTA, Jorge Alberto Vieira, SANTOS, Lucielen Oliveira dos. Produção de proteínas e carboidratos de *Spirulina* sp. LEB 18 cultivada com CO_2 In: 8 Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo, SP. **8 Congresso Internacional de Bioenergia**. São Paulo, SP: , 2013.

MORAES, Luiza, ROSA, Gabriel Martins da, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 e produção de biomassa por *Spirulina* sp. LEB-18 em diferentes biorreatores In: 7º Congresso Internacional de Bioenergia, 2012, São Paulo. **7º Congresso Internacional de Bioenergia**. , 2012.

TERRA, Ana Luíza Machado, COUGO, Cecília, SEVERO, Igor, BRAGA, Vagner S., COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Cultivo de *Spirulina* para síntese de biopolímeros In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2012, Búzios, RJ. **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. , 2012.

MEZA, Lucia Helena Rivero, HENRARD, Adriano Arruda, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Efeito de diferentes concentrações de efluente da produção de biogás (EPB) no cultivo de *Sirulina* sp. LEB-18 In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2012, Búzios, RJ. **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Búzios, RJ: , 2012.

FERREIRA, Shana Pires, LISBOA, Cristiane R., HOLZ, Jeferson C. P., BADIALE, Furlong Vitor, COSTA, Jorge Alberto Vieira. pH Influence in Microalga *Chlorella vulgaris* culture In: IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 2012, Córdoba, Argentina. **IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos**. Córdoba, Argentina: , 2012.

MARTINS, Gabriel, MORAES, Luiza, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Produção de lipídios e carboidratos de *Spirulina* sp. LEB-18 cultivada com injeção de CO_2 e controle de pH In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2012, Búzios, RJ. **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Búzios, RJ: , 2012.

MORAES, Luiza, MARTINS, Gabriel, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Produção de lipídios e carboidratos de *Spirulina* sp. LEB-18 cultivada em diferentes concentrações de $NaNO_3$ e NaCl In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2012, Búzios, RJ. **XIX Congresso Brasileiro de**

Engenharia Química. Búzios, RJ: , 2012.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, ROSA, Ana Priscila Centeno da, CARVALHO, Lisiane Fernandes, SANTOS, Thaísa Duarte, M., Radmann E. PROGRAMA SPIRULINA - POPULARIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SPIRULINA E ENRIQUECIMENTO DE ALIMENTOS In: 30º SEURS - Seminário de Extensão Universitária da Região Sul, 2012, Rio Grande. **30º SEURS - Seminário de Extensão Universitária da Região Sul**. , 2012.

4.2.3 Trabalhos publicados em anais de eventos (RESUMO) relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

MORAES, Luiza, ROSA, Gabriel Martins da, CARDIAS, Bruna, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Aplicação de membranas de fibra oca no cultivo de *Spirulina* In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.16 – 16.

CARDIAS, Bruna, DEAMICI, Kricelle, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Avaliação do crescimento e teor lipídico da biomassa de cultivos de *Spirulina* com aplicação de campos magnéticos para produção de biocombustíveis In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.13 – 13.

VAZ, Bruna S., XAVIER, Breno Hadrich Pavão, MORAIS, Michele Greque de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 por Chlophytas isoladas próximas as emissões de usina termelétrica In: XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2014, Aracaju, SE. **XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Aracaju, SE: , 2014.

VAZ, Bruna S., XAVIER, Breno Hadrich Pavão, G., Morais M., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 por microalgas cultivadas com efluentes gasosos e resíduos sólidos de termelétrica In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.4 – 4.

RASIA, Thais, PRATES, Denise, BARCIA, Milene Teixeira, M., Radmann E., COSTA,

Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Synechococcus nidulans* com diodos emissores de luz variando concentrações de inóculo In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.14 – 14.

ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, CARDIAS, Bruna, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo e biofixação de CO_2 por *Spirulina* sp. LEB 18 com monoetanolamina e reciclo de nutrientes In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.15 – 15.

DEAMICI, Kricelle, CARDIAS, Bruna, MENESTRINO, Bruno, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Influência dos campos magnéticos no crescimento e teor lipídico da microalga *Spirulina platensis* In: VI Simpósio de Energia e Meio Ambiente, 2014, Bagé, RS. **VI Simpósio de Energia e Meio Ambiente**. Bagé, RS: Unipampa, 2014.

FANKA, L. S., DUARTE, J. H., MORAIS, E. G., CASSURIAGA, A. P. A., COSTA, J. A. V. Perfil lipídico de *Chlorella kessleri* LEB 113 isolada de região próxima a usina termelétrica. In: VI Simpósio de Energia e Meio Ambiente, 2014. VI SEMA, 2014.

DEAMICI, Kricelle, CARDIAS, Bruna, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Microalgae *Chlorella fusca* cultivated with magnetic fields In: 16th International Biotechnology Symposium and Exhibition, 2014, Fortaleza, CE. **16th International Biotechnology Symposium and Exhibition**. Fortaleza, CE: , 2014.

COSTA, Andressa M. da, SCHMATZ, Daiane, GOULARTE, Pâmela, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Produção de biogás a partir da co-digestão de microalga e glicerol In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.18 – 18.

MEZA, Lucia Helena Rivero, HENRARD, Adriano Arruda, ROSA, Gabriel Martins da, BORGES, Joice Aline, SOUZA, Michele da Rosa Andrade Zimmermann de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Produção de biogás em escala piloto a partir de biomassa microalgal In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Santa Maria, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.20 – 20.

CORÁ, Jéssica, TERRA, Ana Luíza Machado, BOTELHO, Juliana, COSTA, Jorge Alberto Vieira, MORAIS, Michele Greque de. Produção de proteínas e carboidratos pela microalga *Spirulina* sp. LEB 18 em cultivo semicontínuo In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.3 – 3.

FANKA, Letícia Schneider, DUARTE, Jéssica Hartwig, DE, Morais Etiele Greque, CASSURIAGA, Ana Paula, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Teor de carboidratos de *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* LEB 111 cultivadas com CO_2 In: II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos, 2014, Rio Grande, RS. **II Simpósio de Engenharia Bioquímica e Bioprocessos**. Rio Grande, RS: FURG, 2014. p.6 – 6.

ARAÚJO, Elenara, CARDOSO, Luana, VOLPATO, Noany, CLÁUDIA, Margarites Ana, COSTA, Jorge Alberto Vieira, BERTOLIN, Telma Elita, COLLA, Luciane Maria. Acúmulo de carboidratos por *Chlorella homosphaera* cultivada em meios modificados nas concentrações de nitrogênio e salinidade In: 10 Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos - Slaca, 2013, Campinas, SP. **10 Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos - Slaca**. Campinas, SP: , 2013.

XAVIER, Breno Hadrich Pavão, VAZ, Bruna S., COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Análise térmica dos biopolímeros extraídos de biomassa microalga In: IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas e IV Workshop da Redealgas, 2013, Florianópolis, SC. **IV Congresso Latino-Americano de Biotecnologia de Algas e IV Workshop da Redealgas**. , 2013.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, PRATES, Denise, MORO, Gisele Medianeira Barbieri, BERTOLIN, Telma Elita. Avaliação microbiológica e nutricional da biomassa de *Spirulina* sp. cultivada no sul do Rio Grande do Sul In: XVII Congresso Brasileiro de Microbiologia, 2013, Natal, RN. **Anais do XVII Congresso Brasileiro de Microbiologia**. Natal, RN: , 2013.

MORAIS, Etiele Greque de, DUARTE, Jéssica Hartwig, M., Radmann E., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Biofixação de CO_2 proveniente do gás de combustão de origem termelétrica por microalgas In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology**. Florianópolis, SC: , 2013.

DUARTE, J. H., MORAIS, E. G., RADMANN, E. M., COSTA, J. A. V. Isolamento e

cultivo de Chlorophytas provenientes de região próxima a Usina Termelétrica Presidente Médici. In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marin Biotechnologye Algae, 2013, Florianópolis. IV CLABA, 2013.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, M., Radmann E., G., Morais M., MORAIS, Etiele Greque de, DUARTE, Jéssica Hartwig. Biofixation of carbon dioxide from coal power flue gas using microalgae In: Sustainble Chemicals from Microalgae: Encompassing Biocrude through to Fine Chemicals, 2013, London, UK. **Sustainble Chemicals from Microalgae: Encompassing Biocrude through to Fine Chemicals**. London, UK: , 2013.

FREITAS, Bárbara Catarina Bastos de, BRACHER, Eduarda Holz, PORCIUNCULA, Gustavo Antonacci, COSTA, Jorge Alberto Vieira, ATALA, Daniel. Cultivo de *Chlorella minutissima* em fotobiorreatores tubular utilizando pentoses como fonte de carbono In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology**. Florianópolis, SC: , 2013.

MOREIRA, Juliana Botelho, TERRA, Ana Luíza Machado, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Cultivo de microalgas *Spirulina* sp. LEB 18 e *Chlorella fusca* utilizando CO_2 como fonte de carbono In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology**. Florianópolis, SC: , 2013.

PRATES, Denise, HOLZ, Jeferson C. P., PORCIUNCULA, Gustavo Antonacci, M., Radmann E., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Spirulina* sp. LEB 18 com uso de diodos emissores de luz In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology**. Florianópolis, SC: , 2013.

OLIVEIRA, Mariana Souza de, CARVALHO, Lisiane Fernandes de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Spirulina* sp. LEB 52 em diferentes concentrações de fósforo e nitrogênio In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin**

American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology. Florianópolis, SC: , 2013.

MOREIRA, Juliana Botelho, TERRA, Ana Luíza Machado, COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Determinação de parâmetros cinéticos em cultivo semicontínuo da microalga *Spirulina* sp. LEB 18 In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology**. Florianópolis, SC: , 2013.

CARDOSO, Luana, VOLPATO, Noany, CLÁUDIA, Margarites Ana, COSTA, Jorge Alberto Vieira, COLLA, Luciane Maria, BERTOLIN, Telma Elita. Influência de diferentes fontes de nutrientes na síntese de carboidratos pela microalga *Spirulina platensis* In: 10 Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos - Slaca, 2013, Campinas, SP. **10 Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos - Slaca**. Campinas, SP: , 2013.

DUARTE, Jéssica Hartwig, MORAIS, Etiele Greque de, M., Radmann E., COSTA, Jorge Alberto Vieira. Isolamento e cultivo de Chlorophytas provenientes de próxima a Usina Termelétrica Presidente Médici In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshopnof the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV CLABA & REDEALGAS**. Florianópolis, SC: , 2013.

CASSURRIAGA, Ana Paula, MORAIS, Etiele Greque de, FREITAS, Bárbara Catarina Bastos de, BRACHER, Eduarda Holz, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Kinetic parameters and carbohydrates content determination in *Scenedesmus actus* and *Chlorella fusca* microalgae strains In: II International Symposium on Microbiology and Biotechnology, 2013, Viçosa, MG. **II International Symposium on Microbiology and Biotechnology**. Viçosa, MG: , 2013.

OLIVEIRA, Mariana Souza de, CARVALHO, Lisiane Fernandes de, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Produção de biossurfactantes a partir da microalga *Spirulina* sp. LEB-52 In: IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology, 2013, Florianópolis, SC. **IV Latin American Congress of Algae Biotechnology & Workshop of the National Network of Marine Algae Biotechnology**. Florianópolis, SC: , 2013.

CORADINI, Kamila Helena, MARGARITES, Ana Cláudia Freitas, COSTA, Jorge

Alberto Vieira. Efeito das concentrações dos componentes nitrogenado e fosfatado no teor de carboidratos da microalga *Chlorella minutíssima* In: IV Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão UNIPAMPA, 2012, Bagé, RS. **IV Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão UNIPAMPA**. , 2012.

BADIALE, Furlong Vitor, DUTRA, Pereira Filho Renato, CLÁUDIA, Margarites Ana, GOULARTE, Pâmela, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Estimador neuro-fuzzy de concentração diária de biomassa da microalga *Synechococcus nidulans* In: XXII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2012, Campinas, SP. **XXII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, SP: , 2012.

BADIALE, Furlong Vitor, DUTRA, Pereira Filho Renato, CLÁUDIA, Margarites Ana, GOULARTE, Pâmela, COSTA, Jorge Alberto Vieira. *Synechococcus nidulans* growth kinetics fuzzy black box modeling through particle swarm optimization In: 16th World Congress os Food Science and Technlogy - UFoST, 2012, Foz do Iguaçu, PR. **16th Woorld Congress os Food Science and Technlogy - UFoST**. Foz do Iguaçu, PR: , 2012.

4.2.4 Trabalhos publicados em anais de eventos (RESUMO EXPANDIDO) relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

VAZ, B. S. ; XAVIER, B. H. P. ; Costa, J.A.V. ; MORAIS, M. G. . Mitigação de Dióxido de Carbono de Gás de Combustão Industrial por Chlorella fusca LEB 111. In: 14ª Mostra da Produção Universitária, 2015, Rio Grande. 14ª Mostra da Produção Universitária, 2015.

MOREIRA, J. B. ; TERRA, A. L. M. ; CORA, J. ; COSTA, JORGE ALBERTO ; MORAIS, M. G. . Síntese de biopolímeros por Spirulina sp. LEB 18 cultivada com CO2 como fonte de carbono. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014.

FANKA, L. S., DUARTE, J. H., MORAIS, E. G., CASSURIAGA, A. P. A., COSTA, J. A. V. Isolamento e avaliação de parâmetros cinéticos dos cultivos de cianobactérias provenientes de região próxima à termelétrica. In: XXIII Congresso de Iniciação Científica, 2014, Pelotas. XXIII CIC, 2014.

FANKA, L. S., DUARTE, J. H., COSTA, J. A. V. . Mitigação biológica de CO_2 a partir do cultivo de *Spirulina* sp. LEB 18 em diferentes biorreatores. In: 13ª Mostra de Produção Universitária, 2014, Rio Grande. 13ª MPU, 2014.

VOLPATO, Noany, CARDOSO, Luana, ARAÚJO, Elenara, CLÁUDIA, Margarites Ana, COSTA, Jorge Alberto Vieira, COLLA, Luciane Maria, BERTOLIN, Telma Elita. Crescimento da microalga *Spirulina platensis* LEB-52 em condições apropriadas para o acúmulo de carboidratos In: XXIII Mostra de Iniciação Científica - MIC UPF, 2013, Passo Fundo, RS. **XXIII Mostra de Iniciação Científica - MIC UPF**. Passo Fundo, RS: , 2013.

ARAÚJO, Elenara, CARDOSO, Luana, VOLPATO, Noany, MARGARITES, Ana Cláudia Freitas, COSTA, Jorge Alberto Vieira, BERTOLIN, Telma Elita, COLLA, Luciane Maria. Cultivo de *Chlorella homosphaera* para aplicação em bioenergia In: XXIII Mostra de Iniciação Científica - MIC UPF, 2013, Passo Fundo, RS. **XXIII Mostra de Iniciação Científica - MIC UPF**. Passo Fundo, RS: , 2013.

CARDIAS, Bruna, ROSA, Gabriel Martins da, MORAES, Luiza, SANTOS, Lucielen o dos, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Cultivo de *Spirulina* sp. LEB 18 com NaOH como absorvente químico de CO_2 In: XII Mostra da Produção Universitária FURG, 2013, Rio Grande, RS. **XII Mostra da Produção Universitária FURG**. Rio Grande, RS: , 2013.

XAVIER, Breno Hadrich Pavão, VAZ, Bruna S., COSTA, Jorge Alberto Vieira, G., Morais M. Produção microalgal com gases de combustão e materiais particulados de origem termelétrica In: XXV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE, 2013, Passo Fundo, RS. **XXV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE**. Passo Fundo, RS: , 2013.

CARDOSO, Luana, ARAÚJO, Elenara, VOLPATO, Noany, MARGARITES, Ana Cláudia Freitas, COSTA, Jorge Alberto Vieira, BERTOLIN, Telma Elita, COLLA, Luciane Maria. Síntese de carboidratos e lipídios pela *Spirulina platensis* In: XXIII Mostra de Iniciação Científica - MIC UPF, 2013, Passo Fundo, RS. **XXIII Mostra de Iniciação Científica - MIC UPF**. Passo Fundo, RS: , 2013.

CORADINI, Kamila Helena, MARGARITES, Ana Cláudia, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Avaliação da concentração de carboidratos da microalga *Chlorella minutissima* em diferentes condições nutricionais In: XI Mostra de Produção Universitária, 2013, Rio Grande, RS. **XI Mostra de Produção Universitária**. , 2012.

MORO, Gisele Medianeira Barbieri, XAVIER, Breno Hadrich Pavão, PRATES, Denise, BERTOLIN, Telma Elita, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Composição centesimal da biomassa de *Spirulina* (*Arthrospira* sp.) cultivada em Santa Vitória do Palmar - RS In: Congresso Internacional de Estudos do Envelhecimento Humano 2012, 2012, Passo Fundo, RS. **Congresso Internacional de Estudos do Envelhecimento Humano 2012**. , 2012.

B., Moro G. M., XAVIER, Breno Hadrich Pavão, PRATES, Denise, BERTOLIN, Telma Elita, COSTA, Jorge Alberto Vieira. Teor de vitaminas da biomassa da microalga *Spirulina platensis* cultivada no extremo sul do Brasil In: Congresso Internacional de Estudos do Envelhecimento Humano 2012, 2012, Passo Fundo, RS. **Congresso Internacional de Estudos do Envelhecimento Humano 2012**. , 2012.

4.3 Dissertações de mestrado defendidas relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

Lenon Medeiros Bauer. **Ação de campos magnéticos no cultivo de *Chlorella kessleri* LEB 113 E *Chlamydomonas reinhardtii***. 2016. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Etiele Greque de Morais. **Cultivo de microalgas utilizando efluentes da indústria bioenergética e avaliação da conversão em biodiesel**. 2015. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Jessica Hartwig Duarte. **Utilização de efluentes gasosos e resíduo sólido de termelétrica a carvão nos cultivos de *Chlorella fusca* LEB 111 e *Synechococcus nidulans* LEB 115**. 2015. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Kricelle Mosquera Deamici. **Microalgas cultivadas sob ação de campos magnéticos: efeitos no crescimento e composição.** 2015. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Bruna da Silva Vaz. **Cultivo de microalgas com efluentes gasosos e resíduos sólidos de origem termelétrica.** 2014. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Gabriel Martins da Rosa. **Fixação química e biológica de CO2 utilizadas no cultivo de Spirulina**. 2014. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade

Federal do Rio Grande.

Juliana Botelho Moreira. **Engenharia de microalgas para concepção de uma biorrefinaria utilizando CO_2 como fonte de carbono.** 2014. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Luiza Moraes. **Aumento da eficiência de biofixação de CO2 por microalgas**. 2014. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Pâmela Guder Goularte. **Produção de biogás a partir da co-digestão de resíduos da geração de energia**. 2014. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Diovana Franck. **Produção de biogás a partir de algas**. 2013. Dissertação (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

4.4 Teses de doutorado defendidas relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

Bárbara Catarina Freitas - **Potencial metabólico de *Chlorella minutissima* e *Chlamydomonas reinhardtii* para o uso em biorrefinarias microalgais.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Denise da Fontoura Prates - **Foto-estimulação de microalgas para produção de ficocianina e outras biomoléculas utilizando diodos emissores de luz (led's).** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Thaisa Duarte Santos. **Engenharia de microalgas para fixação de CO_2 em diferentes biorreatores.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Renato Dutra Pereira Filho. **Monitoramento por microcontrolador do cultivo de Spirulina em fotobiorreator raceway**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Ana Cláudia Margarites. **Síntese de carboidratos por microalgas e produção de**

bioetanol. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Shana Pires Ferreira. **Produção de lipídeos pela microalga Chlorella e obtenção de nanoemulsão de origem microalgal**. 2013. Tese (Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Adriano Seizi Arruda Henrard. **Produção e purificação de biogás utilizando microalga Spirulina sp. LEB-18**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Felipe Camerini. **Modelagem aplicada ao processo de biofixação de CO2 por microalgas**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Ana Priscila Centeno da Rosa. **Produção de biomassa e ácidos graxos por diferentes microalgas e condições de cultivo**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

4.5 Trabalhos de conclusão de curso de graduação relacionados ao escopo do projeto (2012-atual)

Vitor Badiale-Furlong. **Determinação in-line de biomassa microalgal e sua aplicação em processos semi-contínuos**. 2012. Curso (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Jéssica Duarte. **Isolamento de microalgas para biofixação de CO2 proveniente de geração termelétrica**. 2012. Curso (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Etiele Greque de Morais. **Isolamento de microalgas para biofixação de CO2 proveniente de geração termelétrica**. 2012. Curso (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

4.6 Capítulos de livros publicados

MORAIS, M. G., MORAIS, E. G., SOUZA, M. R. A. Z., COSTA, J. A. V. Sustainable Microalgal Biotechnology for Biodiesel Production. In: Ram Prasad; Sri Sivakumar; Umesh Chandra Sharma. (Org.). Energy Science and Technology. 1ed.United States of America: Studium Press LLC, 2015, v. 7, p. 652-673.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, MORAIS, Michele Greque de. An open pond system for microalgal cultivation In: Biofuels from Microalgae.1 ed.San Diego : Elsevier, 2014, p. 1-22.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, MORAIS, Michele Greque de. Microalgae for food production In: Fermentation Processes Engineering in the Food Industry.1 ed.Boca Raton, USA : CRC Press - Taylor $ Francis Group, 2013, p. 405-428.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, MORAIS, Michele Greque de, ANDRADE, Michele da Rosa. Microalgal engineering: the metabolic products and the bioprocess In: Microalgae: Biotechnology, Microbiology and Energy.1 ed.Hauppauge, N.Y., USA : Nova Science Publishers, Inc., 2011, p. 141-170.

COSTA, Jorge Alberto Vieira, MORAIS, Michele Greque de, SOARES, Leonor Almeida de Souza. Uso de microalgas para produção de biodiesel In: Lipídios: Uma Coletânea.1 ed.Pelotas : Editora Universitária/UFPel, 2009, v.1, p. 443-463.

Nota Técnica
DE 009/2017

Resposta ao Ofício 02001.001409/2017-15 DILIC/IBAMA e Parecer 02001.000250/2017-11 COEND/IBAMA

Objetivo: Esta Nota Técnica tem por objetivo responder ao Ofício 02001.001409/2017-15 DILIC/IBAMA e Parecer 02001.000250/2017-11 COEND/IBAMA

O Parecer 02001.000250/2017-11 COEND/IBAMA, analisar o cumprimento da condicionante 2.5.10.4 (RLO nº 991/2010), Projeto Microalgas.

Com relação aos questionamentos contidos no Ofício 02001.001409/2017-15 DILIC/IBAMA e Parecer 02001.000250/2017-11 COEND/IBAMA, informamos o que segue:

i. Relatório conclusivo em atendimento à condicionante 2.5.10.4 da LO 991/2010 Primeira Renovação:

O Relatório Final da Planta de Biofixação por Microalgas foi encaminhado no Anexo I, da Carta DEA 017/2016, de 14 de dezembro de 2016.

Estamos encaminhando em Anexo, um resumo dos principais resultados alcançados pelo Projeto, referentes a eficiência de fixação de CO_2 e crescimento da massa algal, intitulado "**Resultados obtidos na Planta Piloto de Biofixação de CO_2 por Microalgas**".

ii. Cronograma de atividades do projeto para os próximos dois anos:

A Eletrobras CGTEE executou este Projeto com recursos do P&D Aneel, tendo sido finalizado em maio de 2016. A Companhia não pretende dar continuidade ao Projeto.

iii. Informar o destino final da biomassa de algas produzidas no Projeto:

A biomassa microalgal gerada foi em parte encaminhada para a FURG para realização das análises físico químicas previstas no Projeto. Convém lembrar que este é um projeto de pesquisa e desenvolvimento, patrocinado pelo P&D ANEEL e estas análises são fundamentais para embasamento dos resultados do Projeto.

A biomassa restante foi, ao final do projeto, digerida com hipoclorito de sódio nos próprios biorreatores. Após o tempo decorrido para digestão, o meio foi neutralizado e o efluente descartado na linha de esgoto da própria usina.

iv. Informar a estimativa de CO_2 fixado até o momento, e relacioná-la ao emitido no mesmo período:

O período de comissionamento da Planta de Biofixação de CO_2 por Microalgas ocorreu de novembro/2015 a maio/2016, conforme Relatório Final e resumo dos principais resultados. A eficiência média de fixação de CO_2 foi de aproximadamente 12% (doze por cento). Considerando que no período de comissionamento da Planta de Biofixação as emissões de CO_2, oriundas da queima de carvão mineral e fuel oil na Fase C, foram de 777.336 tCO_2, a quantidade estimada de CO_2 removido da corrente gasosa de combustão no período considerado foi de 1,7 tCO_2.

Porto Alegre, 12 de abril de 2017.

José Hilton Cardoso
Gerente do Departamento de Meio Ambiente

Anexo: Resultados obtidos na Planta Piloto de Biofixação de CO_2 por Microalgas.