



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA BIOQUÍMICA

# **Operação e Otimização da Planta de Piloto Biofixação de Gás Carbônico por Microalgas da Usina Candiota**

SEGUNDO RELATÓRIO QUADRIMESTRAL

RIO GRANDE, RS

2025

## **1. INFORMAÇÕES GERAIS**

### **1.1. PROJETO**

Operação e Otimização da Planta de Piloto Biofixação de Gás Carbônico por Microalgas da Usina Candiota.

1.2. DURAÇÃO: 12 meses

### **1.3. ENTIDADES PARTICIPANTES**

Âmbar Sul Energia S. A.

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Fundação de Apoio à Universidade do Rio Grande - FAURG

### **1.4. UNIDADE EXECUTORA**

Laboratório de Engenharia Bioquímica – LEB

### **1.5. RESPONSÁVEL**

Prof. Dr. Jorge Alberto Vieira Costa

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Laboratório de Engenharia Bioquímica; CEP 96203-900

Rio Grande - RS

Fone: (53) 32338908 (53) 999712050

e-mail: [jorgealbertovc@gmail.com](mailto:jorgealbertovc@gmail.com)

Este documento é referente ao Segundo Relatório Quadrimestral do contrato em vigência, durante o período de setembro a novembro de 2025. Abaixo estão descritas as atividades a serem desenvolvidas, conforme convênio firmado:

ATIVIDADE 1: Continuação dos ensaios de crescimento das microalgas com gás de combustão e com altas concentrações de CO<sub>2</sub> em diferentes tipos de fotobiorreatores;

ATIVIDADE 2: Caracterização físico-química da biomassa cultivada na planta piloto;

ATIVIDADE 3: Tratamento dos resultados;

ATIVIDADE 4: Elaboração de relatórios técnicos;

ATIVIDADE 5: Divulgação dos resultados obtidos;

ATIVIDADE 6: Elaboração de artigo técnico para publicação internacional;

ATIVIDADE 7: Realização de seminário interno para apresentação do relatório final e planejamento futuro.

ATIVIDADE ESPECIAL: A equipe da Ambar Sul Energia S. A. deverá manter o cultivo estável de microalgas na UTE Candiota III durante algum período de parada da Usina, de forma evitar retrocesso no estado atual do Projeto.

## **2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS:**

Conforme as atividades descritas no Plano de Trabalho do Projeto, foram realizadas as seguintes atividades durante o período de setembro e novembro de 2025:

- ✓ Manutenção do inóculo da microalga *Spirulina* em biorreator tipo *raceway* de com capacidade total de 1.200 L;
- ✓ Capacitação da equipe técnica da empresa Âmbar;
- ✓ Ensaio 3 a 5: Cultivos da microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão;
- ✓ Análise das biomoléculas presentes nas biomassas de *Spirulina* quando cultivada com e sem o gás de combustão;
- ✓ Demais atividades realizadas na Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas;
- ✓ Ações semanais entregues durante o período referente ao relatório (Anexo 1).

## 2.1 – Manutenção do inóculo da microalga *Spirulina* em biorreator aberto tipo *raceway*

O inóculo da microalga *Spirulina* foi mantido em biorreator tipo *raceway*, com capacidade total de 1.200 L e volume útil de 900 L. Para acompanhamento, foram realizadas diariamente medições da concentração da biomassa, pH e temperatura do meio líquido e do ar no interior da estufa de hidroponia. Além disso, os cultivos foram avaliados morfológicamente. A concentração da biomassa foi determinada por meio da medida de densidade óptica a 670 nm, em espectrofotômetro digital, utilizando a curva padrão de *Spirulina* sp. LEB-18, previamente construída no laboratório da Unidade de Biofixação. O pH e temperatura foram medidos, respectivamente, em pHmetro e termômetro digital, e as características morfológicas das células de *Spirulina* sp. LEB-18 foram avaliadas em microscópio óptico, equipado com câmera digital e software ZEN 2.

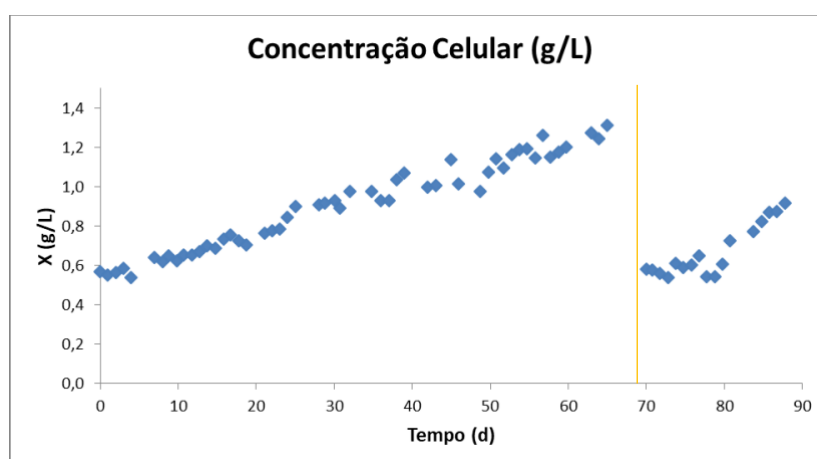


Figura 1: Curva de crescimento do inóculo da microalga *Spirulina* mantida em biorreator de 1,2 m<sup>3</sup>.

A propagação do inóculo microalgal foi conduzida por meio da adição de meio de cultivo Zarrouk 100%, específico para a microalga *Spirulina*. A correção do volume de água evaporada foi realizada diariamente por meio da adição de água desclorada. Quando necessário, parte do inóculo foi utilizado para o início dos cultivos nos biorreatores de 18 m<sup>3</sup>, conforme mostrado na Figura 1 (linha vertical laranja).

Quanto aos valores de pH, o inóculo de *Spirulina* apresentou valores dentro da faixa adequada para o cultivo da microalga, variando entre 9,60 e 10,67, ao longo dos 90 d de acompanhamento (Figura 2).

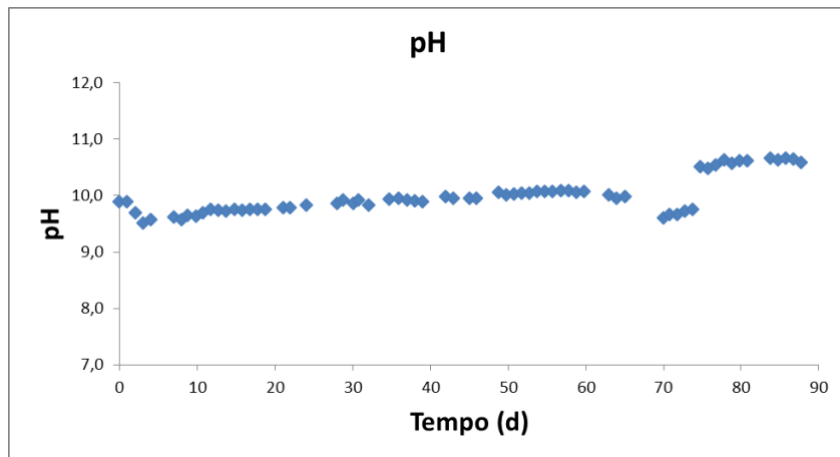
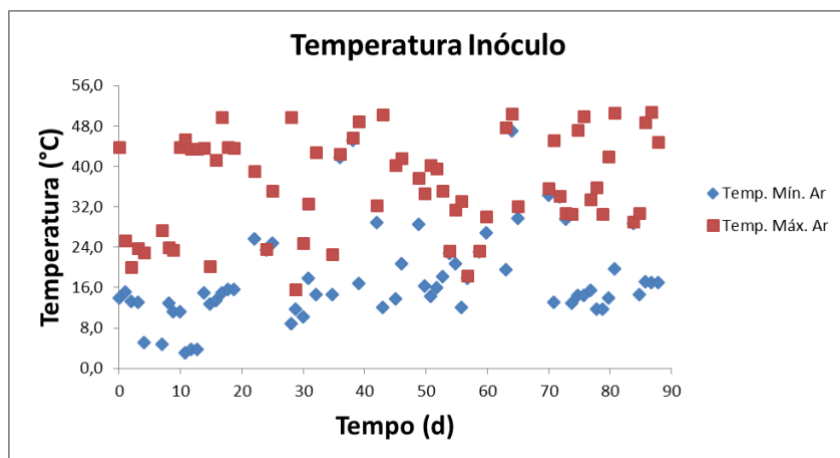
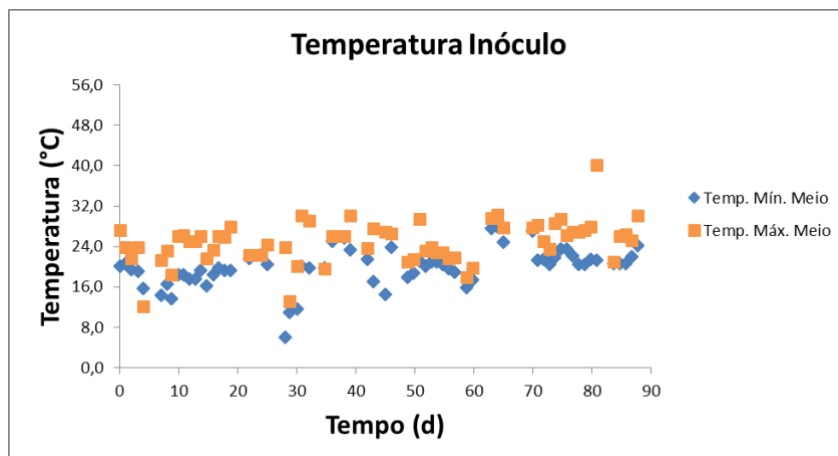


Figura 2: Curva de pH da microalga *Spirulina* quando mantida biorreator de inóculo de 1,2 m<sup>3</sup>.

As Figuras 3a e 3b demonstram as variações das temperaturas coletadas ao longo dos 90 d de cultivo. Pode-se observar, na Figura 3b, que a temperatura no meio líquido se manteve dentro da faixa ótima para o cultivo de *Spirulina* (30 a 35°C).



(a)



(b)

Figura 3: (a) Temperaturas máximas e mínimas do ar dentro da estufa de hidroponia; (b) temperaturas máximas e mínimas no meio de cultivo ao longo dos 90 d.

A morfologia das células de *Spirulina* (Figura 4) foi avaliada no microscópio óptico, equipado com câmera digital, no Centro de Elaboração de Alimentos com *Spirulina* – CEAS, localizado na Universidade Federal do Rio Grande – FURG. As coletas das amostras foram realizadas durante as visitas da equipe da FURG à Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas – Candiota III.



Aumento 10 x



Aumento 50 x

Figura 4: Morfologia das células da microalga *Spirulina* mantida no biorreator de inóculo para posteriores ensaios com o gás de combustão.

## 2.2 – Capacitação da equipe técnica da Âmbar

A equipe da empresa Âmbar Energia vem sendo capacitada pela equipe da FURG para a execução de todas as etapas de processo de cultivo microalgal, desde a inoculação da microalga no biorreator de cultivo do inóculo até a etapa final, na qual o cultivo passa pelo processo de separação da biomassa do meio líquido, por meio de filtração em filtro prensa, extrusão e secagem em estufa de bandejas.

Na terceira semana de agosto de 2025, a técnica do Meio Ambiente da empresa Âmbar, e operadora da Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas, Ana K. Marques, realizou treinamento na Universidade Federal do Rio Grande – FURG, junto aos Laboratórios de Engenharia Bioquímica – LEB, Microbiologia e Bioquímica – MiBi e Centro de Elaboração de Alimentos com *Spirulina* – CEAS, especificamente, entre os dias 24 e 26 de agosto de 2025. Durante a visita, a técnica Ana acompanhou os doutorandos e mestrandos na execução de suas atividades, como a manutenção das microalgas em estufas termostatzadas, preparo de meios de cultivos e o estudo dos métodos para determinação das biomoléculas (proteínas, lipídios, carboidratos). Também acompanhou o tratamento dos resultados dos cultivos com o gás de combustão, por meio de planilhas e equações aplicadas para determinação da porcentagem de CO<sub>2</sub> fixado pela microalga.



Figura 5: Visita técnica à Universidade Federal do Rio Grande da operadora da Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas – Candiota III.

### 2.3 – Ensaios 3, 4 e 5: Cultivo da microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão

Após os testes preliminares realizados pela equipe da FURG e da ÂMBAR, com a injeção do gás de combustão em água, meio de cultivo Zarrouk e meio de cultivo contendo a microalga *Spirulina* (dados apresentados no primeiro relatório quadrimestral), foi possível definir os primeiros ensaios a serem conduzidos. O primeiro ensaio com injeção do gás de combustão no cultivo microalgal foi em dezembro de 2024 e, após o período de pausa na geração de energia pela Usina, os demais ensaios foram conduzidos durante os meses de julho a novembro de 2025. A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar as variáveis que apresentaram os melhores resultados em termos de biofixação de CO<sub>2</sub>, eficiência na biofixação do gás e produtividade de biomassa da microalga *Spirulina*.

A microalga utilizada nos cultivos foi *Spirulina* LEB-18, pertencente ao banco de cepas do Laboratório de Engenharia Bioquímica – LEB da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Antes da realização dos testes, a microalga foi cultivada no biorreator de inóculo (1,2 m<sup>3</sup>) em estufa do tipo hidroponia, para propagação celular (Figura 6a). Os cultivos foram realizados em biorreatores tipo *raceway*, com volume útil de 12 m<sup>3</sup> cada, mantidos sob agitação por pás rotativas. Para proteção de excesso de chuvas e condições climáticas adversas, os cultivos foram mantidos em estufa do tipo hidroponia (Figura 6b e 6c).

Os cultivos da microalga com o gás de combustão foram realizados no biorreator denominado “Biorreator 1” (Figura 6b), que apresenta um sistema de distribuição do gás por meio de mangueiras microporosas acopladas à parte inferior do biorreator. Os cultivos com presença do gás de combustão foram realizados com meio Zarrouk modificado, no qual a fonte de carbono (NaHCO<sub>3</sub>) foi substituída pelo CO<sub>2</sub> presente no gás. Os cultivos “controle” (sem injeção do gás de combustão como fonte de carbono) foram realizados no biorreator denominado “Biorreator 2” (Figura 6c). Esses cultivos foram realizados com meio Zarrouk modificado, com 30% da concentração original de bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) como fonte de carbono.



(a)



(b)



(c)

Figura 6: (a) biorreator de inóculo da microalga *Spirulina*; (b) biorreator 1 com sistema acoplado no fundo para injeção de gás no meio líquido; (c) biorreator 2, utilizado para cultivo Controle.

A concentração de biomassa inicial de cada ensaio foi definida após a realização de bateladas de filtração para a retirada de biomassa dos cultivos nos biorreatores 1 e 2, de modo que as concentrações celulares estivessem mais próximas possíveis, permitindo a comparação do crescimento celular. Após o início de cada ensaio, foram realizadas coletas diárias de amostras para determinação de concentração de biomassa, carbono inorgânico dissolvido e pH. Além disso, as temperaturas dos meios de cultivo e das estufas também foram diariamente monitoradas.

A vazão do gás injetado foi medida por meio de rotômetros acoplados ao sistema, e o controle da injeção do gás foi mantido com auxílio de uma válvula solenoide conectada a um temporizador (Figura 7). O período de injeção do gás ocorreu durante o dia (fase clara), sendo realizado das 9 h da manhã até às 17 h de cada dia.



Figura 7: Sistema utilizado para controle de vazão e tempo de injeção do gás de combustão no cultivo da microalga *Spirulina*.

Após os primeiros cultivos da microalga *Spirulina*, realizados com gás de combustão em dezembro de 2024 e julho de 2025, foi definido que seriam testadas novas vazões e tempos de injeção de gás nos cultivos. No Quadro 1, estão apresentados os parâmetros avaliados nos ensaios E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> e E<sub>5</sub>, realizados entre os meses de setembro a novembro de 2025.

Quadro 1: Datas de realização dos Ensaios e variáveis estudadas nos 5 testes realizados com a microalga *Spirulina* quando cultivada com o gás de combustão.

Ensaios	Datas Ensaios	Vazão de gás (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )		Tempo injeção gás	
		0,4	0,8	5 s com / 30 s sem	10 s com / 30 s sem
*E <sub>1</sub>	05/12 a 15/12/24	X		X	
*E <sub>2</sub>	29/07 a 08/08/25	X		X	
E <sub>3</sub>	11/09 a 21/09/25		X	X	
E <sub>4</sub>	21/10 a 31/10/25	X			X
E <sub>5</sub>	12/11 a 22/11/25		X		X

\*Resultados dos Ensaios 1 e 2 foram apresentados no primeiro relatório quadrimestral do projeto.

### 2.3.1 – Metodologia de fixação de CO<sub>2</sub> e análise da biomassa

#### 2.3.1.1 – Taxa de biofixação de dióxido de carbono (TB)

A taxa biofixação de CO<sub>2</sub> (TB, g.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>) pela microalga foi calculada segundo a Equação 1, em que P<sub>x</sub> (g.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>) foi a produtividade volumétrica máxima de biomassa, M<sub>CO<sub>2</sub></sub> é a massa molar de dióxido de carbono e M<sub>C</sub> é a massa molar do carbono.

$$TB = P_{\text{máx}} * 0,5 * \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_C} \quad (1)$$

#### 2.3.1.2 Eficiência de utilização de dióxido de carbono

A eficiência de utilização de CO<sub>2</sub> (E, % m.m<sup>-1</sup>) foi calculada segundo a Equação (2), em que TB foi a taxa de biofixação de CO<sub>2</sub> diária (g.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>), V<sub>útil</sub> foi o volume útil de trabalho do biorreator (L) e  $\dot{m}$  foi taxa mássica de alimentação diária com CO<sub>2</sub> (g.d<sup>-1</sup>).

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

### 2.3.1.3 Recuperação e caracterização da biomassa

Após os 10 d de cultivo de cada ensaio, a biomassa da microalga *Spirulina* foi recuperada do meio líquido por filtração em filtro prensa de placas. Em seguida, a biomassa foi extrusada e acomodada em bandejas para secagem em estufa com circulação de ar forçada a 45°C, sendo posteriormente armazenada em freezer para caracterização.

A concentração das principais biomoléculas, proteínas (LOWRY et al., 1951), carboidratos (DUBOIS et al., 1956) e lipídios (MARSH; WEINSTEIN, 1966), foram determinadas por métodos espectrofotométricos, enquanto umidade e cinzas foram determinadas por método gravimétrico (AOAC, 2000).

### 2.3.2 RESULTADOS ALCANÇADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos cinco ensaios realizados até o momento com a microalga *Spirulina*, quando submetida a diferentes vazões de gás de combustão e tempos de injeção, após 10 d de cultivo.

Tabela 1: Resultados obtidos após os 10 d de cultivo da microalga *Spirulina* quando submetida a diferentes vazões e tempos de injeção do gás de combustão.

Ensaio	X <sub>máx</sub> (g.L <sup>-1</sup> )	P <sub>máx</sub> (mg.L <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	TB CO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	E <sub>média</sub> (%, m.m <sup>-1</sup> )	E <sub>máx</sub> (%, m.m <sup>-1</sup> )
*E <sub>1</sub>	0,80 ± < 0,01	42,3 ± 3,0	36,4 ± 5,1	28,2 ± 1,8	35,5 ± 2,5
*E <sub>2</sub>	0,73 ± < 0,01	72,7 ± 4,3	58,7 ± 3,4	25,4 ± 1,5	54,3 ± 2,9
E <sub>3</sub>	0,69 ± < 0,01	21,9 ± 1,7	11,1 ± 3,5	5,0 ± 2,2	11,3 ± 4,6
E <sub>4</sub>	0,68 ± < 0,01	44,9 ± 0,7	53,5 ± 6,1	29,5 ± 3,4	43,3 ± 0,5
E <sub>5</sub>	0,84 ± < 0,01	49,9 ± 4,8	41,2 ± 4,3	10,8 ± 1,2	19,7 ± 3,3

\*Resultados dos Ensaio 1 e 2 foram apresentados no primeiro relatório quadrimestral do projeto.

Conforme observado na Tabela 1, os melhores resultados obtidos de biofixação do CO<sub>2</sub> foram obtidos nos ensaios E<sub>2</sub> e E<sub>4</sub>, nos quais os cultivos foram realizados com vazão de gás 0,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e tempos de injeção do gás de 5 s e 10 s, com intervalos de 30 s sem injeção, respectivamente. O ensaio que apresentou os menores parâmetros de crescimento e biofixação foi o E<sub>3</sub>, no qual o cultivo da microalga foi realizado com vazão 0,8 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e tempo de injeção de gás de 5 s.

Na Tabela 2 estão representados os ensaios Controle, nos quais a microalga *Spirulina* foi cultivada sem injeção do gás de combustão como fonte de carbono, sendo

mantida em meio de cultivo Zarrouk com 30% de NaHCO<sub>3</sub>. Pode-se observar que todos os ensaios apresentaram crescimento celular ao longo dos 10 d, sem indícios de morte celular ou de alterações morfológicas fora do esperado. Os resultados obtidos de concentração celular para os cultivos com presença do gás de combustão quando comparados com os cultivos controle, apresentaram valores próximos, mostrando que a presença do gás de combustão no meio líquido favorece o desenvolvimento das células microalgais.

Tabela 2: Resultados obtidos para os cinco ensaios Controle, quando a microalga foi cultivada sem injeção do gás de combustão.

<b>Ensaio</b>	<b>X<sub>máx</sub> (g.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>P<sub>máx</sub> (mg.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>)</b>
<b>*E<sub>1C</sub></b>	0,87 ± < 0,01	57,0 ± 3,8
<b>*E<sub>2C</sub></b>	0,77 ± < 0,01	69,0 ± 17,4
<b>E<sub>3C</sub></b>	0,78 ± < 0,01	41,7 ± 10,9
<b>E<sub>4C</sub></b>	0,77 ± < 0,01	60,4 ± 2,6
<b>E<sub>5C</sub></b>	0,89 ± < 0,01	47,3 ± 4,8

\*Resultados dos Ensaio 1 e 2 foram apresentados no primeiro relatório quadrimestral do projeto.

Na Figura 8 estão apresentadas as curvas de crescimento celular da microalga *Spirulina* ao longo dos 10 d de cultivo, com e sem injeção do gás de combustão. Pode-se observar que todos os cultivos com injeção de gás, independentemente da vazão e do tempo de injeção (Figura 8a), apresentaram crescimento semelhante aos cultivos controle (Figura 8b). Os resultados indicam que os cultivos realizados com adição do gás como fonte de carbono não foram afetados pelos outros compostos presentes no gás, como SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e material particulado, uma vez que os valores de pH permaneceram dentro da faixa esperada (9,0 a 10,5).

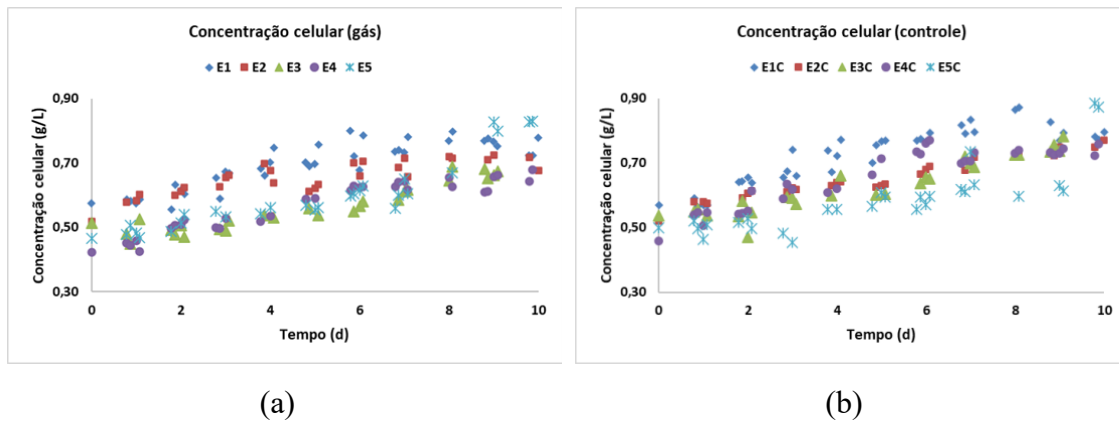


Figura 8: Concentrações de biomassa obtidas dos cinco cultivos da microalga *Spirulina*: (a) com injeção do gás de combustão e (b) sem injeção do gás de combustão, durante os 10 d de cultivo.

Nas Figuras 9 e 10 são apresentadas as taxas de biofixação de  $\text{CO}_2$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ) e a eficiência de biofixação (%) pela microalga *Spirulina*, para as diferentes vazões e tempos de injeção de gás avaliados. Os melhores resultados foram obtidos nos ensaios E2 e E4, nos quais a vazão de gás injetado foi  $0,4 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , variando-se o tempo de injeção. No ensaio E2, o tempo de injeção foi de 5 s a cada 30 s, enquanto no ensaio E4 foi de 10 s a cada 30 s.

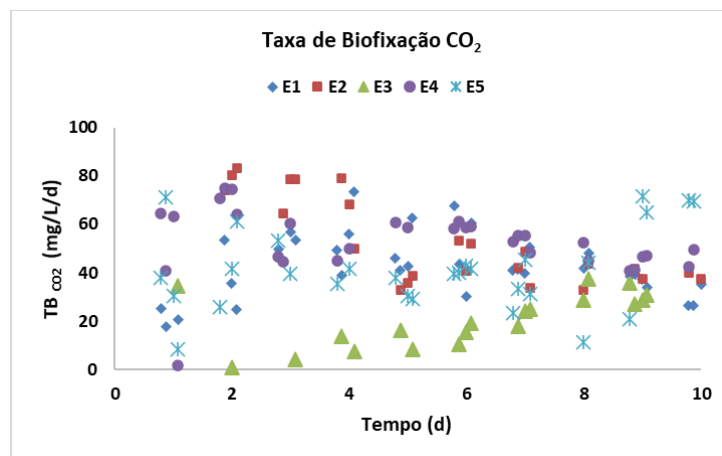


Figura 9: Taxa de biofixação de  $\text{CO}_2$  (TB) realizada pela microalga quando cultivada com diferentes vazões e tempos de injeção de gás de combustão ao longo dos 10 d de cultivo.

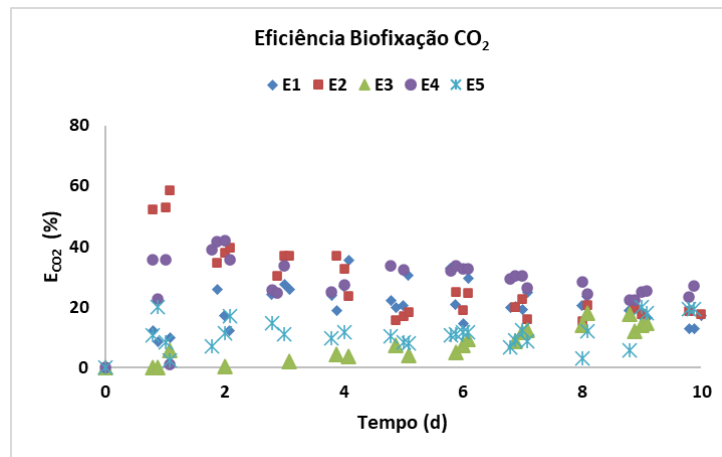


Figura 10: Eficiência de biofixação de CO<sub>2</sub> pela microalga *Spirulina* quando cultivada em diferentes vazões e tempos de injeção do gás de combustão nos 10 d de ensaio.

### 2.3.4 CONCLUSÕES

Após os cinco ensaios realizados, observou-se que os melhores resultados foram obtidos quando a microalga *Spirulina* foi cultivada com o gás de combustão na vazão de 0,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e tempos de injeção do gás de 5 e 10 s, com intervalos de 30 s sem injeção (E2 e E4). Em relação à produtividade de biomassa, nos ensaios E2 e E4 foram obtidos os maiores valores de 72,7 mg.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> e 49,9 mg.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, respectivamente.

Após a análise dos resultados pela equipe da FURG, foi sugerida a repetição do ensaio E4, a fim de obter uma duplicada dos resultados e aumentar a confiabilidade dos dados. Após a avaliação desses resultados, será realizado o primeiro cultivo semicontínuo da microalga *Spirulina* com os parâmetros que apresentarem melhor desempenho.

### Questionamentos equipe Âmbar:

No dia 10/12/2025 o Eng. Luis Eduardo, responsável pelo setor de Meio Ambiente da Usina Candiota III, solicitou via e-mail à equipe da FURG um relatório com os resultados obtidos ao final dos 5 ensaios realizados. Após o envio dos resultados solicitados, no dia 12/12/25 a equipe de Sustentabilidade da Empresa Âmbar retornou com alguns questionamentos, que estão descritos abaixo com as respectivas respostas:

1. Os ensaios E2 e E4, que vocês indicam como melhores em produtividade de biomassa e biofixação de CO<sub>2</sub>, já foram repetidos quantas vezes? Temos estatística suficiente pra dizer que esses números são reprodutíveis?

**Resposta:** Os ensaios E2 e E4 ainda não foram repetidos, o que limita, neste momento, uma avaliação estatística mais profunda da reprodutibilidade desses resultados. Contudo, relembramos que as leituras de concentração de microalgas estão sendo realizadas, no mínimo, em triplicata. Atualmente, a condição E4 encontra-se em fase de repetição, conforme descrito no relatório mais recente. Apesar da ausência de réplicas até o momento, os resultados obtidos são compatíveis com valores reportados pela nossa equipe ao longo de 30 anos de experiência com microalgas, bem como na literatura para sistemas de cultivo similares para microalga *Spirulina*. No entanto, reconhece-se que o desempenho do processo pode ser influenciado por fatores sazonais, como variações climáticas entre diferentes estações do ano. Dessa forma, considera-se que a realização de réplicas experimentais adicionais, abrangendo diferentes períodos do ano, é fundamental para consolidar a reprodutibilidade dos resultados e estabelecer parâmetros de produtividade e biofixação de CO<sub>2</sub> mais representativos das condições operacionais locais.

2. *Considerando todos os ensaios, qual vocês consideram hoje como produtividade realista de projeto (mg/L/d ou t/ha/ano)?*

**Resposta:** Com base nos resultados obtidos até o momento e visando uma abordagem conservadora para escalonamento, carecendo de repetições em diferentes cenários, como comentado anteriormente, recomenda-se considerar produtividade média de projeto entre 30–40 mg·L<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (~7,5–10 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> para 0,25 m de profundidade). Nos 5 ensaios realizados até o momento, foi obtida uma produtividade média de biomassa de 46,3 mg·L<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, variando de 21,9 mg·L<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (E3) a 72,7 mg·L<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (E2).

3. *Se quiséssemos escalonar para um projeto em escala real qual seria a área necessária, volume do tanque e produtividade das algas por dia ou mês? Podem criar uma tabela com diversos cenários.*

4. *Quantas toneladas seriam possíveis capturar de CO<sub>2</sub> nessa escala real/ano? Conforme dados acima.*

**Resposta 3 e 4:** A Tabela 3 reúne as respostas para os questionamentos 3 e 4, considerando alguns cenários, para altura de cultivo (h) de 0,25 m e produtividade de biomassa de 35 mg L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

Tabela 3: Respostas dos questionamentos 3 e 4

<b>Escala</b>	<b>Área hidráulica (ha)</b>	<b>Área total do terreno (ha) (80% útil)</b>	<b>Área hidráulica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nº de <i>Raceways</i> (≈2.000 m<sup>2</sup> cada)</b>	<b>Biomassa (t/dia)</b>	<b>Biomassa (t/mês ~30 d)</b>	<b>Biomassa (t/ano, 330 d)</b>	<b>CO<sub>2</sub> fixado (t/ano)</b>	<b>CO<sub>2</sub> alimentado (t/ano)</b>
1	1	1,25	10.000	2.500	5	0,09	2,6	29	50,5	168,2
2	10	12,5	100.000	25.000	52	0,9	26,3	289	502,9	1.676,2
3	50	62,5	500.000	125.000	261	4,4	131,3	1.444	2.512,6	8.375,2

\*altura de cultivo (h): 0,25 m.

5. Quanto a ampliação da Unidade já associei a proposta de P&D encaminhada. No entanto, cabe a avaliação dos itens 3 e 4 e posição da FURG de "até onde podemos ir", ou seja, formular a tabela com os cenários possíveis de ampliação, já considerando uma escala industrial de produção contínua:

- seja para a biofixação total do CO<sub>2</sub> gerado na UTE Candiota;
- ou para a produção máxima de microalgas que haveria demanda de mercado.

**Resposta:** Com base nos ensaios realizados até o momento, considerando uma abordagem conservadora (produtividade média de 30–40 mg·L<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> e profundidade de 0,25 m), entendemos que é possível projetar cenários preliminares de ampliação em escala (Tabela 3), desde que seja explicitado que tais projeções ainda dependem de validações adicionais (réplicas e avaliação sazonal). De forma prática, vemos como possível, atualmente, duas frentes de ampliação:

(A) Ampliação orientada à mitigação de CO<sub>2</sub> da UTE:

A biofixação microalgal, mesmo em escala industrial, tende a representar uma solução complementar, não substitutiva, para as emissões totais de uma UTE. Assim, para estimar a “biofixação total do CO<sub>2</sub> gerado na UTE Candiota”, é indispensável conhecer a taxa anual de emissão de CO<sub>2</sub> da planta (t CO<sub>2</sub>/ano), a fração de CO<sub>2</sub> efetivamente direcionável ao sistema (limitações de engenharia, logística e operação) e tempos de parada de emissão. Com esses dados, podemos calcular diretamente a área/volume necessários usando a taxa de captura anual estimada por hectare (Tabela 3).

(B) Ampliação orientada à produção de biomassa (demanda de mercado):

Alternativamente, a ampliação pode ser dimensionada para atender a uma meta anual de produção de biomassa (t/ano), desde que compatível com a demanda e com a capacidade logística/operacional do sistema (colheita, secagem, armazenamento e escoamento). Nesse caso, os cenários apresentados na Tabela 4 permitem estimar a produção contínua em diferentes escalas (1, 10 e 50 ha), bem como o número de *raceways* necessários para cada nível de produção. Ressalta-se, contudo, que uma avaliação consistente de demanda de mercado depende da definição prévia do produto final e da rota de valorização (biomassa seca, biofertilizante/bioestimulante, insumo para biocombustíveis, entre outros), além de uma análise específica de mercado e requisitos regulatórios e de qualidade associados a cada aplicação.

**“até onde podemos ir” (com o nível atual de evidência)**

- Cenário de 1 ha hidráulico (5 *Raceways*): adequado como ampliação piloto e validação contínua, com ganhos operacionais e geração de série histórica.
- Cenário de 10 ha hidráulicos (52 *Raceways*): configura uma escala pré-industrial relevante; exige infraestrutura robusta (bombas, controle, colheita e downstream), mas é uma faixa ainda plausível para implantação modular.
- Cenário de 50 ha hidráulicos (261 *Raceways*): já representa uma escala industrial grande; recomendável após consolidação dos parâmetros médios (incluindo sazonalidade), validação do downstream e definição clara do objetivo principal (CO<sub>2</sub> vs biomassa).

Nesses cenários, cabem duas observações adicionais:

1. O número de biorreatores do tipo *Raceway* necessários é inversamente proporcional à área individual de cada unidade. No cenário apresentado na Tabela 3, foi considerada uma área padrão de aproximadamente 2.000 m<sup>2</sup> por tanque; no entanto, esses reatores podem apresentar áreas maiores ou mesmo diferentes dimensões, a depender do projeto executivo e das condições de implantação.
2. As áreas totais requeridas podem ser significativamente reduzidas com o uso de fotobiorreatores tubulares horizontais e/ou verticais, cujas produtividades volumétricas e areais são substancialmente superiores às de sistemas abertos. Todavia, essa alternativa implica maiores investimentos de capital (CAPEX) e maior complexidade operacional, devendo ser avaliada em função dos objetivos do projeto e da viabilidade econômica.

## 2.4 – Recuperação e análise das biomoléculas da biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem injeção do gás de combustão

Após 10 d de cultivo de cada ensaio, a biomassa da microalga *Spirulina* foi recuperada do meio líquido por filtração em filtro prensa de placas. Em seguida, a biomassa foi extrusada e acomodada em bandejas para secagem em estufa com circulação de ar forçada a 45°C, sendo posteriormente armazenada em freezer para caracterização (Figura 11).

A concentração das principais biomoléculas, proteínas (LOWRY et al., 1951), carboidratos (DUBOIS et al., 1956) e lipídios (MARSH; WEINSTEIN, 1966), foram determinadas por métodos espectrofotométricos, enquanto umidade e cinzas foram determinadas por método gravimétrico (AOAC, 2000).

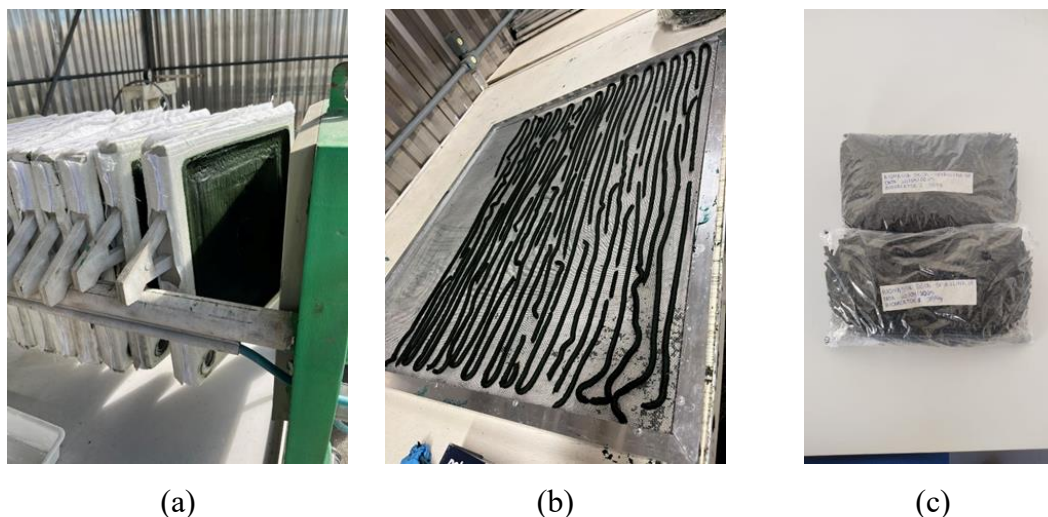


Figura 11: Processo de separação da biomassa da microalga: (a) filtração em filtro prensa; (b) extrusão da biomassa em bandejas para secagem em estufa; e (c) biomassa seca utilizada para análise das biomoléculas.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados da composição proximal da biomassa de *Spirulina* nos ensaios realizados com e sem injeção do gás de combustão.

Tabela 4: Resultados médios de composição proximal da biomassa de *Spirulina* dos cinco ensaios quando cultivada com injeção do gás de combustão como fonte de carbono.

Ensaio	Proteínas (% m.m <sup>-1</sup> )	Carboidratos (% m.m <sup>-1</sup> )	Lipídios (% m.m <sup>-1</sup> )	Cinzas (% m.m <sup>-1</sup> )	Umidade (% m.m <sup>-1</sup> )
E1	64,9 ± 2,8	7,4 ± 0,7	23,2 ± 2,1	12,4 ± <0,1	4,9 ± 0,3
E2	45,1 ± 5,5	8,0 ± 0,5	15,9 ± 1,4	12,6 ± 0,1	5,3 ± 0,2
E3	62,0 ± 12,4	7,1 ± 0,1	10,9 ± 1,5	9,4 ± 0,3	3,8 ± 0,5
E4	46,5 ± 6,4	8,6 ± 0,3	10,4 ± 1,1	10,1 ± 0,1	4,4 ± 0,1
E5	66,0 ± 4,0	8,0 ± 0,1	8,1 ± 0,6	10,6 ± 0,1	4,8 ± 0,2

Tabela 5: Resultados médios de composição proximal da biomassa de *Spirulina* dos cinco ensaios Controle (sem injeção do gás de combustão).

Ensaio	Proteínas (% m.m <sup>-1</sup> )	Carboidratos (% m.m <sup>-1</sup> )	Lipídios (% m.m <sup>-1</sup> )	Cinzas (% m.m <sup>-1</sup> )	Umidade (% m.m <sup>-1</sup> )
E1C	57,8 ± 3,6	8,4 ± 0,3	21,3 ± 1,5	10,7 ± <0,1	5,1 ± 0,2
E2C	46,5 ± 5,1	8,2 ± 0,2	16,6 ± 0,8	9,0 ± 0,2	4,9 ± 0,1
E3C	40,4 ± 1,3	7,9 ± <0,1	17,1 ± 2,6	9,0 ± 1,2	5,0 ± 0,3
E4C	65,1 ± 2,2	8,1 ± 0,4	11,8 ± 0,3	11,3 ± <0,1	5,2 ± 0,1
E5C	68,8 ± 3,2	8,2 ± 0,1	6,5 ± 0,8	10,2 ± <0,1	5,3 ± <0,3

Quando a microalga foi cultivada com a presença do gás de combustão no meio líquido (Tabela 4), a maior concentração proteica (66,0% (m.m<sup>-1</sup>)) foi observada no ensaio E5, com vazão de gás de 0,8 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e tempo de 10 s, com intervalo de 30 s.

Nos cultivos controle (Tabela 5), nos quais foi utilizado NaHCO<sub>3</sub> como fonte de carbono, o maior conteúdo proteico foi observado no ensaio E5C, atingindo 68,8%, (m.m<sup>-1</sup>). Conforme a literatura, quando a microalga *Spirulina* LEB-18 é cultivada com CO<sub>2</sub> como fonte de carbono, ocorre um aumento significativo no teor de proteínas na biomassa, atingindo valores próximos de 60% (m.m<sup>-1</sup>). Cultivo da mesma microalga foi realizado pela equipe, utilizando 10 % (v.v<sup>-1</sup>) de CO<sub>2</sub>, no qual foi observado teor de proteína de 60,1% (m.m<sup>-1</sup>) na biomassa. O uso do gás de combustão como fonte de carbono para as microalgas favorece o crescimento celular e a síntese das biomoléculas, principalmente proteínas. Com maior disponibilidade de carbono, associada à presença de nutrientes (principalmente N), a microalga direciona seu metabolismo para o crescimento celular, devido ao acúmulo de compostos de reserva, como lipídios e carboidratos.

Para os teores de carboidratos, os valores variaram entre 7,1 e 8,6%, tanto nos ensaios com injeção do gás de combustão quanto nos ensaios Controle. Os valores obtidos em todos os ensaios foram inferiores aos reportados na literatura. De acordo com a literatura, o teor de carboidratos na *Spirulina*, pode variar entre 15 e 25% (m.m<sup>-1</sup>), dependendo da espécie e das condições de cultivo, como meio, intensidade luminosa, salinidade e pH. A mesma microalga utilizada neste estudo, quando cultivada às margens da Lagoa Mangueira, no Rio Grande do Sul, apresentou teor de carboidratos de 21,4% (m.m<sup>-1</sup>).

Quanto aos teores de lipídios na biomassa, com exceção dos ensaios E<sub>5</sub> e E<sub>5C</sub>, todos os valores obtidos ficaram acima da faixa encontrada na literatura para a *Spirulina* LEB-18 (6-7%). Os maiores valores foram observados nos ensaios E<sub>1</sub> e E<sub>1C</sub>, com 23,2% (m.m<sup>-1</sup>) e 21,3% (m.m<sup>-1</sup>), respectivamente. O ensaio E<sub>1</sub> foi conduzido com injeção do gás de combustão na vazão de 0,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> e tempo de 5 s, com intervalo de 30 s. No cultivo controle (E<sub>1C</sub>), a fonte de carbono utilizada foi NaHCO<sub>3</sub>. Essa diferença pode estar associada a condições específicas de cultivo, como a disponibilidade de nutrientes, especialmente nitrogênio, a intensidade luminosa e a concentração de carbono inorgânico. Em condições de estresse nutricional, como a limitação de nitrogênio, as microalgas tendem a direcionar o metabolismo para o acúmulo de compostos de reserva, como lipídios, o que pode justificar os valores mais elevados observados nesses ensaios.

Quanto aos teores de cinzas e umidade presentes na biomassa, todos os ensaios apresentaram valores próximos aos reportados na literatura. Teores de cinzas obtidos pela equipe em outros estudos variaram entre 7 e 10% (m.m<sup>-1</sup>). Para o teor de umidade, os valores encontrados nos ensaios foram muito semelhantes. Teores de umidade encontrados na literatura para *Spirulina* cultivada com CO<sub>2</sub> como fonte de carbono encontram-se entre 6 e 8% (m.m<sup>-1</sup>). Quando cultivada com injeção de CO<sub>2</sub>, a microalga pode apresentar maior taxa de crescimento e tende a produzir biomassa com menor retenção de água após o processo de secagem.

## 2.5 - Demais atividades realizadas na Unidade de Biofixação por Microalgas

Abaixo estão descritas as demais atividades realizadas durante os meses de setembro e novembro de 2025:

### 2.5.1 Filtração em filtro prensa para redução da concentração celular dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2

Os cultivos que vêm sendo mantidos nos biorreatores 1 e 2, quando não estão em fase experimental com ou sem injeção do gás de combustão, são acompanhados diariamente quanto ao crescimento celular, pH e volume de água evaporada.

Quando os cultivos atingem uma determinada concentração celular, geralmente entre 0,8 e 1,0 g.L<sup>-1</sup>, é realizada a retirada de parte da biomassa de microalga do meio líquido, a fim de evitar o sombreamento no cultivo e, conseqüentemente, a redução da eficiência fotossintética. Essa retirada de biomassa é realizada por meio de filtração em filtro prensa, composto por um conjunto de placas (Figura 12). O meio líquido é succionado por uma bomba pneumática pertencente ao conjunto filtrante e passa pelas placas, onde a biomassa fica retida, enquanto o meio líquido retorna ao biorreator. Esse processo é realizado quantas vezes forem necessárias, até que se atinja a concentração celular desejada da microalga em cada biorreator.



Figura 12: Filtração em filtro prensa dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2.

Após a separação da microalga do meio líquido, a biomassa obtida é retirada do conjunto de placas filtrantes, extrusada em forma de “espaguete” e disposta em bandejas para secagem em estufa com temperatura controlada de 45°C por aproximadamente 48 h (Figura 13). A biomassa seca é então transportada até a Universidade Federal do Rio Grande – FURG e armazenada em freezer para análises posteriores.

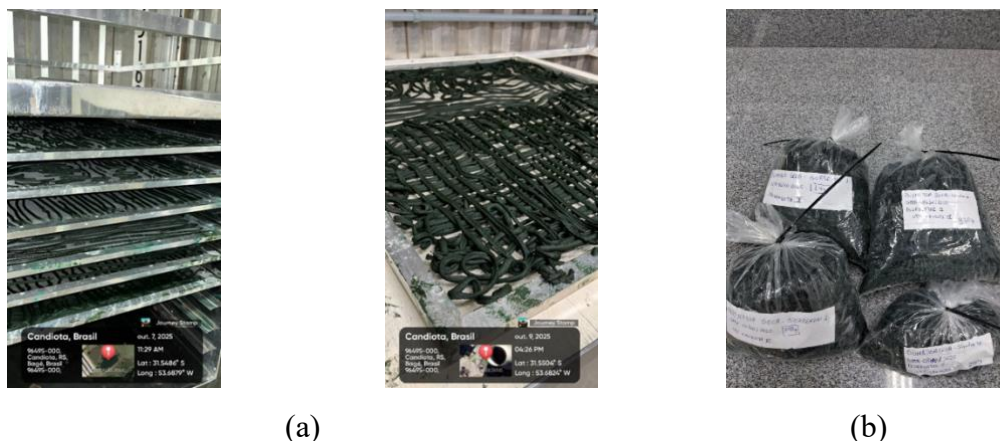


Figura 13: (a) Biomassa úmida extrusada em bandejas para secagem em estufa e (b) biomassa seca embalada.

### 2.5.2 Coleta do gás de combustão em diferentes pontos utilizando o analisador de gases adquirido pela equipe Âmbar

Foi solicitado pela equipe da FURG que a coleta do gás de combustão fosse realizada em dois pontos, por meio de um analisador de gases, para fins de comparação (Figura 14). O primeiro ponto de coleta foi no sistema de monitoramento das emissões, localizado na Fase C. O segundo ponto de coleta foi no SKID pertencente à Unidade de Biofixação, antes da entrada do gás no sistema de injeção no cultivo da microalga. Por meio das leituras realizadas no equipamento, se obteve as concentrações de CO<sub>2</sub> (%), SOx (ppm) e NOx (ppm) presentes no gás de combustão que chega à Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas. A concentração de CO<sub>2</sub> presente no gás coletado na planta e injetado no cultivo foi de 8,36%. Para os componentes SOx e NOx presentes no gás, foram observadas concentrações de 0,0 ppm e 8,8 ppm, respectivamente. A ausência de SOx (0,0 ppm) no gás que chega ao cultivo pode estar associada à sua precipitação logo após a saída do Tie-In, promovendo a reação com a umidade presente na linha e a consequente formação de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (líq.). Esse ácido formado vem sendo removido por meio de um dreno automático foi instalada tubulação, logo após o Pipe rack.

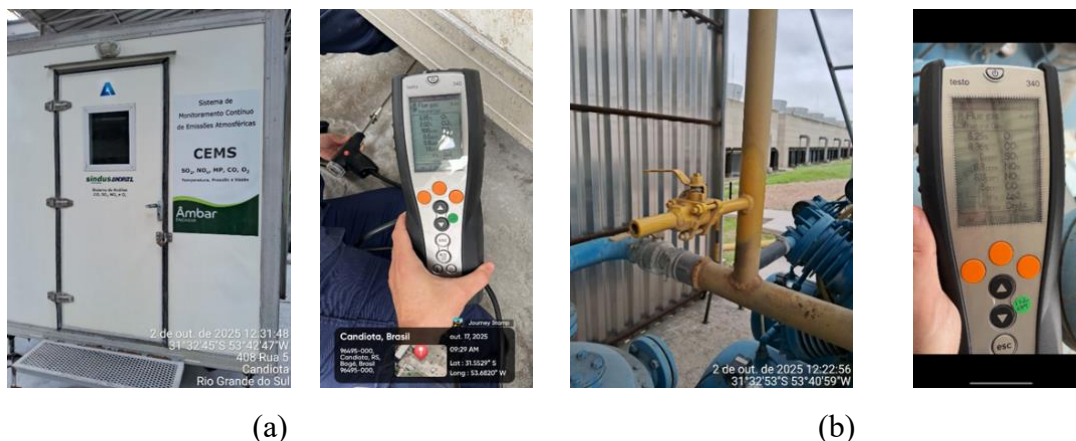


Figura 14: Pontos de coleta de amostragem do gás de combustão: (a) sistema de monitoramento das emissões na Usina Candiota III e (b) unidade de biofixação de CO<sub>2</sub> por microalgas.

### 2.5.3 Aquisição de materiais de consumo para a Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas e transporte dos nutrientes necessários aos cultivos

Alguns materiais de consumo, equipamentos e reagentes foram adquiridos pela equipe da FURG e transportados para a Unidade de Biofixação (Figura 15). No Quadro 2, estão listados os respectivos itens:

Quadro 2: Materiais transportados da FURG para a Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas – Candiota III.

Material	Quantidade
Bomba submersa com vazão de 2.000 L/h	2
Termômetro digital	2
Balde de 20 L de polipropileno	2
Bomba de sucção submersível de ferro fundido, 110 V, 60 Hz, Modelo 6E-CIA-SFS, Marca Litte Giant	1
NaHCO <sub>3</sub> – saco 25 kg	4
NaNO <sub>3</sub> – saco 25 kg	1
NaNO <sub>3</sub> – saco 6 kg	1
K <sub>2</sub> HSO <sub>4</sub> – saco 25 kg	4
CaCl <sub>2</sub> – saco 1 kg	3
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O – pote 1 kg	1



(a)



(b)

Figura 15: (a) sais transportados da FURG para a Unidade de Biofixação de CO<sub>2</sub> por Microalgas – Candiota III; (b) bomba de sucção.

#### 2.5.4 Manutenção dos cultivos conduzidos nos biorreatores 1 e 2 e limpeza dos respectivos biorreatores

Após determinado período de cultivo, torna-se necessária a limpeza dos biorreatores devido ao acúmulo de compostos orgânicos no meio líquido. Esses compostos são formados em decorrência da morte celular de pequena parte da população microalgal e podem causar a formação de espumas na superfície do cultivo, interferindo na fotossíntese da microalga e podendo causar contaminação. Dessa forma, conforme orientação da equipe da FURG, recomenda-se a realização periódica da limpeza dos biorreatores.

Para a limpeza do biorreator, o cultivo é transferido para outro biorreator de mesmo tamanho. Após a transferência, uma pequena fração do cultivo permanece acumulada no fundo do biorreator a ser limpo. Antes da drenagem do residual, é realizada a adição de hipoclorito no meio líquido, visando à desnaturação das células vivas presentes. Após essa etapa, é necessário aguardar aproximadamente 24 h para que o hipoclorito atue sobre a microalga, garantindo a ausência de células viáveis. Após esse período, o residual é descartado no tanque de resíduos da Unidade, e o biorreator é então submetido ao processo de limpeza.

Após a limpeza, água corrente é adicionada ao biorreator e mantida sob agitação por aproximadamente 24 h, para promover a evaporação do cloro residual. Em seguida, são adicionados os sais do meio de cultivo Zarrouk, conforme o volume de água. Ao final

do processo, o inóculo é adicionado ao biorreator e homogeneizado por meio da agitação pelas pás rotativas (Figura 16).



Figura 16: Processo de transferência do inóculo de microalga para o biorreator limpo com meio de cultivo.

Para o acompanhamento do cultivo, são coletadas amostras para observação da microalga em microscópio óptico, nas dependências do Centro de Elaboração de Alimentos com *Spirulina* – CEAS da FURG (Figura 17).

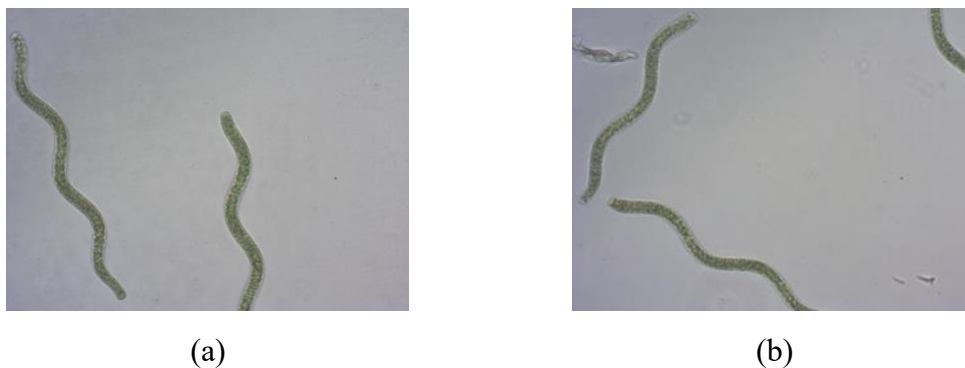


Figura 17: Observação em microscópio óptico dos cultivos da microalga *Spirulina* conduzidos nos biorreatores 1 e 2. (Aumento 50x).

### 2.5.5 Reparo de alguns equipamentos e serviços realizados na Unidade de Biofixação

Durante os meses abrangidos por este relatório, foram realizados reparos e serviços na Unidade de Biofixação, conforme listado a seguir:

- Lubrificação dos rolamentos do conjunto de pás rotativas dos biorreatores de cultivo;

- Reparo no vazamento de óleo no filtro prensa;
- Troca de lâmpadas queimadas nos containers;
- Substituição da tubulação de água que chega na Unidade de Biofixação;
- Conserto do motor ventilador localizado no Tie-In;
- Inspeção e manutenção nos compressores de ar do SKID e no vazo de armazenamento de gás de 7 m<sup>3</sup>;
- Fixação do filtro prensa no piso conforme manual de instruções do equipamento;
- Manutenção no sistema de agitação por pás rotativas do biorreator tipo *raceway* para manutenção do inóculo da microalga *Spirulina*;
- Transferência do armário em MDF que se encontrava no container 1 para o container 2;
- Limpeza semanal das calçadas da Unidade de Biofixação;
- Limpeza e organização da planta para visita do IBAMA. A visita foi realizada no dia 30/09, acompanhada pela técnica Ana, responsável pela operação da Unidade.
- Instalação de sombrite e abertura das laterais das estufas para reduzir a incidência luminosa e a temperatura no interior das estufas e meio de cultivo (Figura 18).



Figura 18: Sombrite instalado nas 2 estufas de hidroponia durante o período de maior intensidade luminosa e calor.

## 2.6 Ações semanais entregues durante o período referente ao relatório

As ações realizadas semanalmente na Unidade de Biofixação estão apresentadas no Anexo 1.

### 3. EQUIPE TÉCNICA DE ELABORAÇÃO E EXECUÇÃO

<b>NOME</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>FUNÇÃO</b>
Adriano Seizi Arruda Henrard	Doutor	Gerente
Ana Claudia Araujo Almeida	Doutoranda	Pesquisador
Bruna da Silva Vaz	Doutor	Pesquisador
Gabriel Martins da Rosa	Doutor	Pesquisador
Gabriela Barcellos Curi Leal	Doutoranda	Pesquisador
Jacinta Lutécia	Doutoranda	Pesquisador
Jorge Alberto Vieira Costa	Doutor	Coordenador
Jenyfer Conceição	Doutoranda	Pesquisador
Lucio Bruschi	Mestre	Consultor
Luiza Moraes	Doutor	Pesquisador
Michele Greque de Moraes Costa	Doutor	Pesquisador
Richard Nobre Leal	Doutorando	Pesquisador
Thaisa Duarte Santos	Doutor	Pesquisador

## **ANEXO 1 - Ações semanais**



## **RESUMO EXECUTIVO**

**Andamento das Ações Semanais**

**UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## LEGENDAS

**Em preto – Atividades finalizadas**

**Em vermelho – Pendências UTE Candiota III**

**Em azul – Pendências FURG**

**Em verde – Próximas atividades**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 01/09 a 07/09/25

- **Conserto do agitador do biorreator inóculo: remarcado para setembro;**
- **Análises de proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas das biomassas dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão: Data agendada: 24 a 26/09;**
- **Aquisição de materiais para o laboratório: baldes de 20 L; termômetro digital para os biorreatores; bombinhas submersas para agitação do inóculo; pilhas alcalinas para o pHmetro;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 01/09 a 07/09/25

- Análises de rotina (manutenção dos cultivos; leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas; adição de água evaporada) nos cultivos dos biorreatores 1, 2 e inóculo;
- Chegada das cargas de meio-fio para adequação da estrutura da Unidade de Biofixação por Microalgas;
- Retorno da geração de energia pela Usina;
- Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 01/09 a 07/09/25

- Visita técnica da equipe FURG à Unidade de Biofixação Microalgas e transporte de sais do meio Zarrouk para os cultivos;
- Cultivos com injeção de gás de combustão avaliando novos parâmetros.
- Visita à FURG da técnica Ana da equipe Âmbar para acompanhamento das atividades realizadas nos Laboratórios de: Engenharia Bioquímica – LEB e Microbiologia e Bioquímica – MiBi e Centro de Elaboração de Alimentos com Spirulina – CEAS;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 08/09 a 14/09/25

- **Conserto do motor agitador do biorreator inóculo. Programado para próxima semana (15 a 21/09);**
- **Análises de proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas das biomassas dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão: Data agendada: 24 a 26/09;**
- **Análises de rotina (manutenção dos cultivos; leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas; adição de água evaporada) nos cultivos dos biorreatores 1, 2 e inóculo;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 08/09 a 14/09/25

- Limpeza do biorreator 2 e adição de aproximadamente 7 m<sup>3</sup> de água para desclorar para preparo de meio Zarrouk;
- Inspeção das válvulas e do sistema de injeção do gás de combustão no biorreator 1 para início de novos testes;
- Visita técnica da equipe FURG (Adriano e Thays Rasia) à Unidade de Biofixação Microalgas e transporte de sais do meio Zarrouk para os cultivos e demais materiais solicitados;

100 kg de NaHCO<sub>3</sub>;      50 kg K<sub>2</sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;      25 kg NaNO<sub>3</sub>;  
3 kg CaCl<sub>2</sub>;      1 kg FeSO<sub>4</sub>.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 08/09 a 14/09/25

- **Materiais solicitados pela equipe Âmbar para FURG:**
  - 2 bombas submersas para uso no biorreator de inóculo;
  - 1 termômetro digital para medir as temperaturas dos cultivos e ambiente;
  - 2 baldes de 20 L de polipropileno, utilizados para trabalho de rotina na Unidade;
  - 2 conjuntos de 4 pilhas AAA para uso nos equipamentos.
- **Equipamento transportado da FURG para uso na Unidade de microalgas:**
  - 1 bomba de sucção submersível de ferro fundido, 110 V, 60 Hz, modelo 6E-CIA-SFS, marca Litte Giant.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 08/09 a 14/09/25

- Preparo de aproximadamente 11 m<sup>3</sup> de meio Zarrouk para adicionar no inóculo de microalga para início do ensaio com o gás de combustão. Após realizadas as manobras para a mistura do meio de cultivo com o inóculo:
  - bioreator 1:  $V = 11 \text{ m}^3$ ;  $X_{\text{celular}} = 0,48 \text{ g/L}$
  - bioreator 2:  $V = 11 \text{ m}^3$ ;  $X_{\text{celular}} = 0,49 \text{ g/L}$ .
- 11/09 – Início do ensaio com injeção de gás de combustão no cultivo da microalga *Spirulina*, com a finalidade de avaliar novas condições. O tempo do teste será de 10 d com injeção de gás no cultivo com vazão de 0,8 m<sup>3</sup>/h de gás; 5 s de injeção e 30 s de pausa.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 08/09 a 14/09/25

- Visita à FURG da técnica Ana da equipe Âmbar para acompanhamento das atividades realizadas nos Laboratórios de: Engenharia Bioquímica – LEB e Microbiologia e Bioquímica – MiBi e Centro de Elaboração de Alimentos com *Spirulina* – CEAS. A visita está agendada para os dias 24, 25 e 26/09;
- Solicitar ao TI da Usina a liberação para uso online das planilhas confeccionadas pela equipe FURG;
- Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 15/09 a 21/09/25

- **Conserto e instalação do motor agitador do biorreator inóculo.**
- **Análises de proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas das biomassas dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão: Data agendada: 24 a 26/09;**
- **Análises diárias dos ensaios com e sem injeção do gás de combustão nos cultivos: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas; determinação de carbono inorgânico e adição de água evaporada.**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 15/09 a 21/09/25

- **Solicitar ao TI da Usina a liberação para uso online das planilhas confeccionadas pela equipe FURG;**
- **Lubrificação do conjunto de rolamentos do eixo das pás rotativas;**
- **Reparo do vazamento de óleo do filtro prensa;**
- **Troca de lâmpadas queimadas do container;**
- **Chegada da tubulação em pvc para substituição da tubulação de água que chega na Unidade de Biofixação;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 15/09 a 21/09/25

- 20/09 - Encerramento dos ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão.
- Separação da biomassa do meio líquido através de filtração dos ensaios com e sem injeção do gás de combustão; secagem da biomassa em estufa de bandejas;
- Visita à FURG da técnica Ana da equipe Âmbar para acompanhamento das atividades realizadas nos Laboratórios de: Engenharia Bioquímica – LEB e Microbiologia e Bioquímica – MiBi e Centro de Elaboração de Alimentos com *Spirulina* – CEAS. A visita está agendada para os dias 24, 25 e 26/09;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 15/09 a 21/09/25

- Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência.
- Coleta pela equipe da FURG da biomassa gerada durante os ensaios com e sem injeção do gás de combustão nos cultivos da microalga *Spirulina* para realização das análises na biomassa e tratamento dos dados;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 22/09 a 28/09/25

- **Análises de proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas das biomassas dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão no Lab. Eng. Bioquímica – LEB da FURG;**
- **Análises diárias dos cultivos após os ensaios com a injeção do gás de combustão: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Solicitar ao TI da Usina a liberação para uso online das planilhas confeccionadas pela equipe FURG;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 22/09 a 28/09/25

- **Substituição da tubulação de água que chega na Unidade de Biofixação;**
- **Limpeza aos arredores dos biorreatores e estufas. Lavagem dos pisos e retiradas de folhas e demais sujeiras;**
- **Acompanhamento da técnica Ana na FURG do tratamento dos resultados de biofixação do cultivo realizado em julho com o gás de combustão;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 22/09 a 28/09/25

- Separação da biomassa do meio líquido através de filtração dos ensaios com e sem injeção do gás de combustão; secagem da biomassa em estufa de bandejas;



Filtração em filtro prensa



Biomassa extrusada  
para secagem



Biomassa seca

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 22/09 a 28/09/25

- **Visita à FURG da técnica Ana da equipe Âmbar para acompanhamento das atividades realizadas nos Laboratórios de: Engenharia Bioquímica – LEB e Microbiologia e Bioquímica – MiBi e Centro de Elaboração de Alimentos com *Spirulina* – CEAS;**



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

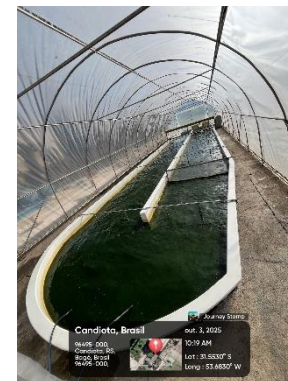
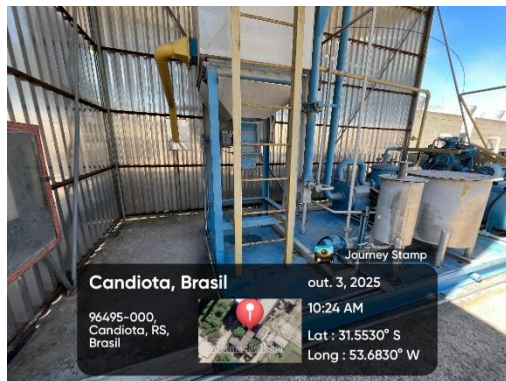
Período: 22/09 a 28/09/25

- Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência;
- Coleta pela equipe da FURG da biomassa gerada durante os ensaios com e sem injeção do gás de combustão nos cultivos da microalga *Spirulina* para realização das análises na biomassa e tratamento dos dados.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

Ações Realizadas  
Período: 29/09 a 05/10/25

- Organização da Unidade de Biofixação por Microalgas para a visita do IBAMA:



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 29/09 a 05/10/25

- Visita do IBAMA realizada no dia 30/09 na Unidade de Biofixação por Microalgas;
- **Verificar o funcionamento do filtro prensa após ajustes realizados;**
- **Fixar o filtro prensa no piso, conforme informações contidas no manual de instruções do equipamento;**
- Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 29/09 a 05/10/25

- Visita da equipe da FURG (Adriano e Jacinta) no dia 02/10 para coleta da biomassa seca de *Spirulina*, cultivada com e sem injeção do gás de combustão (cultivo realizado 11 a 20/09) e coleta de amostras dos cultivos nos 3 biorreatores para averiguação no microscópio da FURG;



Biomassa seca dos cultivos



(a)



(b)



(c)

Microalga *Spirulina* presente no biorreator 1 (a), biorreator 2 (b) e biorreator de inóculo (c) (Aumento 50x).

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 29/09 a 05/10/25

- **Aquisição de uma lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos.**
- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**
- **Aquisição do nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ), nutriente do meio Zarrouk, para continuidade dos experimentos com o gás de combustão;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 29/09 a 05/10/25

- Coleta do gás de combustão ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) pela equipe Âmbor com o analisador de gás no sistema de monitoramento das emissões atmosféricas e na chegada do gás na Unidade de Biofixação por Microalgas;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 29/09 a 05/10/25

- Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência (está em avaliação pelo coordenador);
- Tratamento dos resultados obtidos das análises das biomoléculas na biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem o gás de combustão dos cultivos realizados em julho;
- Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 29/09 a 05/10/25

- Filtração dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2 para baixar a concentração celular;
- Início de novo ensaio com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,4 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção: 10 s e 30 s sem injeção).

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- Verificação do funcionamento do filtro prensa após ajustes, realizado pela equipe de operação da Usina;
- **Fixar o filtro prensa no piso, conforme informações contidas no manual de instruções do equipamento;**
- Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas Período: 06/10 a 12/10/25

- Filtração em filtro prensa dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2 para baixar a concentração celular no meio;



Biorreator 1



Biorreator 2



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- Biomassa de *Spirulina* extrusada para secagem em estufa de bandejas e biomassa seca obtida para coleta da equipe da FURG;



Biomassas extrusadas após filtração nos 2 biorreatores

Biomassa seca

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- **Aquisição de uma lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos.**
- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**
- **Aquisição do nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ), nutriente do meio Zarrouk, para continuidade dos experimentos com o gás de combustão;**
- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- Coleta do gás de combustão ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) pela equipe Âmbor com o analisador de gás no sistema de monitoramento das emissões atmosféricas e na chegada do gás na Unidade de Biofixação por Microalgas;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- Conserto do agitador do inóculo da microalga *Spirulina* pela equipe de operação da Usina;
- **Conserto do motor ventilador localizado no Tie-In;**
- Limpeza do conjunto de placas utilizado no filtro prensa para separação da microalga do meio líquido;
- **Filtração dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2 para baixar a concentração celular para início de novos ensaios com o gás de combustão;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência (está em avaliação pelo coordenador);
- Tratamento dos resultados obtidos das análises das biomoléculas na biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem o gás de combustão dos cultivos realizados em julho;
- Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 06/10 a 12/10/25

- Início de novo ensaio com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,4 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção: 10 s e 30 s sem injeção).

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- **Fixar o filtro prensa no piso, conforme informações contidas no manual de instruções do equipamento;**
- **Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Pedido de compra da lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos.**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**
- **Aquisição do nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ) pela equipe da FURG, nutriente do meio Zarrouk, para continuidade dos experimentos com o gás de combustão;**
- **Visita da equipe da FURG para coleta da biomassa seca retirada dos biorreatores 1 e 2 e transporte de 6 Kg de  $\text{NaNO}_3$  para início dos ensaios com a microalga *Spirulina* cultivada com e sem injeção do gás de combustão;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- Coleta do gás de combustão ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) pela equipe Âmbor com o analisador de gás no sistema de monitoramento das emissões atmosféricas e na chegada do gás na Unidade de Biofixação por Microalgas;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas Período: 13/10 a 19/10/25

- Biomassa seca retirada dos biorreatores 1 e 2 após filtração em filtro prensa;



Biomassa biorreator 1



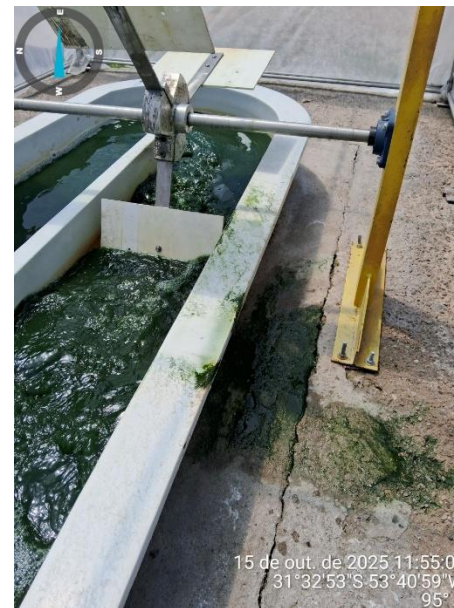
Biomassa biorreator 2

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- Necessidade de redução na rotação do agitador do inóculo da microalga *Spirulina* pela equipe de operação da Usina. A agitação atual está derramando inóculo para fora do biorreator;



**Biorreator inóculo *Spirulina***

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- **Conserto do motor ventilador localizado no Tie-In;**
- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**
- **Filtração dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2 para baixar a concentração celular para início de novos ensaios com o gás de combustão;**
- **Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência (está em avaliação pelo coordenador);**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- Tratamento dos resultados obtidos das análises das biomoléculas na biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem o gás de combustão dos cultivos realizados em julho;
- Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;
- Início de novo ensaio com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,4 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção: 10 s e 30 s sem injeção).

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

**Ações Realizadas**  
**Período: 13/10 a 19/10/25**

- **Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;**



**Sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 13/10 a 19/10/25

- Solicitar reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;



Tubulação de entrada de líquido do filtro prensa

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

- **Fixar o filtro prensa no piso, conforme informações contidas no manual de instruções do equipamento;**
- **Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Pedido de compra da lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos.**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**
- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**
- **Filtração dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2 para baixar a concentração celular para início de novos ensaios com o gás de combustão;**
- **Entrega do primeiro relatório quadrimestral referente ao projeto em vigência (está em avaliação pelo coordenador);**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

- 21/10 - Início dos ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,4 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção do gás: 10 s e 30 s sem injeção).



Biorreator 1 - Com injeção do gás



Biorreator 2 – Cultivo controle

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

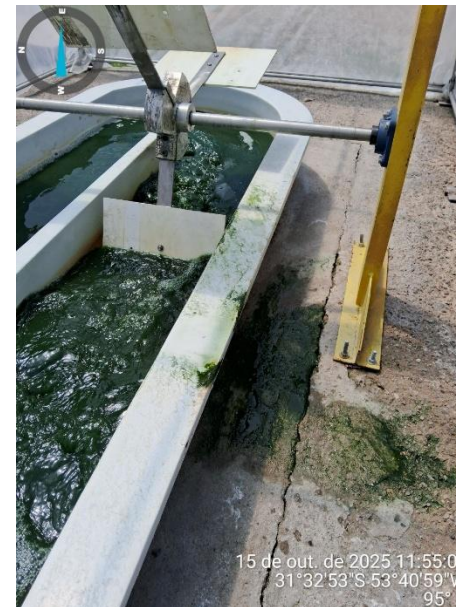
- Adição de 1 m<sup>3</sup> de meio Zarrouk em cada biorreator para nivelar o volume dos cultivos (12 m<sup>3</sup>) para o início dos testes com o gás de combustão;
- Inspeção e manutenção nos compressores de ar e no vaso de armazenamento de gás;
- Limpeza do filtro prensa e do conjunto de placas filtrantes após retirada de biomassa do meio líquido;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

- Necessidade de redução na rotação do agitador do inóculo da microalga *Spirulina* pela equipe de operação da Usina. A agitação atual está derramando inóculo para fora do biorreator;



**Biorreator inóculo *Spirulina***

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

- Tratamento dos resultados obtidos das análises das biomoléculas na biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem o gás de combustão dos cultivos realizados em julho;
- Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;
- Após visita do 5S foi solicitada a instalação de um exaustor no container que se encontra a estufa de secagem de biomassa;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

**Ações Realizadas**  
**Período: 20/10 a 26/10/25**

- **Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;**



**Sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 20/10 a 26/10/25

- Solicitar reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;



Tubulação de entrada de líquido do filtro prensa

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- **Fixação do filtro prensa no piso, conforme informações contidas no manual de instruções do equipamento;**
- **Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Pedido de compra da lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**
- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**
- **Instalação de um exaustor no container que se encontra a estufa de secagem de biomassa;**
- **Troca das telas do conjunto de bandejas utilizados na secagem da biomassa na estufa;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- 31/10 – Término dos ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,4 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção do gás: 10 s e 30 s sem injeção);



Biorreator 1 – Cultivo com injeção do gás



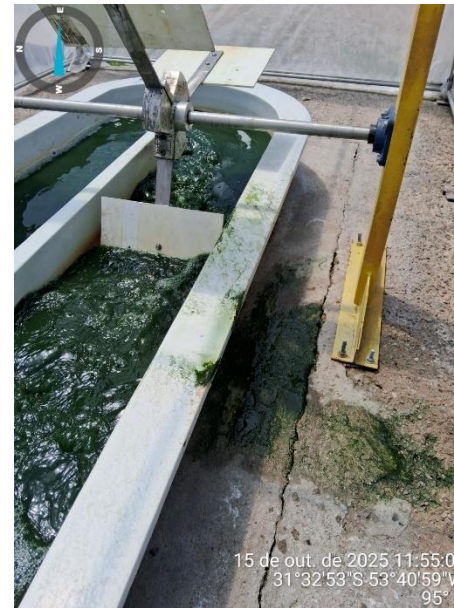
Biorreator 2 – Cultivo controle

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- Adicionado na programação da Usina o serviço de redução na rotação do agitador do inóculo de *Spirulina*. A agitação atual está derramando o inóculo para fora do biorreator;



**Biorreator inóculo *Spirulina***

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- 31/10 - Envio do primeiro relatório quadrimestral pela FURG, referente ao projeto em vigência;
- Tratamento dos resultados obtidos das análises das biomoléculas na biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem o gás de combustão dos cultivos realizados em julho;
- Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

**Ações Realizadas**  
**Período: 27/10 a 02/11/25**

- **Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;**



**Sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- Solicitar reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;



Tubulação de entrada de líquido do filtro prensa

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 27/10 a 02/11/25

- Coleta da biomassa seca dos ensaios com e sem injeção do gás de combustão realizados de 21 a 31/10 para análises nos laboratórios da FURG;
- Tratamento dos resultados obtidos nos ensaios com a microalga entre 21 a 31/10;
- Instalação de sombrite nas estufas de cultivo para reduzir a incidência luminosa e calor nos cultivos;
- Confecção de portas nas estufas de cultivo para melhor eficiência de troca do ar no interior da mesma.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- **Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Pedido de compra da lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos;**
- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- **Instalação de um exaustor no container que se encontra a estufa de secagem de biomassa;**
- **Troca das telas do conjunto de bandejas utilizados na secagem da biomassa na estufa. Rever o material utilizado na confecção. Material da tela não pode ser metálico devido ao alto teor de sais na composição do meio de cultivo;**
- **Tratamento dos resultados obtidos das análises das biomoléculas na biomassa de *Spirulina* cultivada com e sem o gás de combustão dos cultivos realizados em julho;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**
- **Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;**
- **Limpeza do conjunto de placas do sistema de filtração do filtro prensa;**
- **Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- Solicitar reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;



Tubulação de entrada de líquido do filtro prensa

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- Visita da equipe da FURG para reunião, transporte de 150 Kg de  $\text{NaHCO}_3$  e 100 Kg de  $\text{NaNO}_3$  e, coleta da biomassa ensaios com e sem injeção do gás de combustão realizados de 21 a 31/10 para análises nos laboratórios da FURG;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- Transferência do cultivo mantido no tanque de inóculo (1,2 m<sup>3</sup>) para o biorreator 2. Sistema de agitação com defeito. Foi colocado novamente as bombinhas submersas para manter o cultivo sob agitação até realização do reparo no motor redutor;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 03/11 a 09/11/25

- Tratamento dos resultados obtidos nos ensaios com a microalga com e sem injeção do gás de combustão (cultivos: 21 a 31/10);
- Instalação de sombrite nas estufas de cultivo para reduzir a incidência luminosa e calor nos cultivos;
- Confeção de portas nas estufas de cultivo para melhor eficiência de troca do ar no interior da mesma;
- Início dos ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,8 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção do gás: 10 s e 30 s sem injeção).

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- **Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Pedido de compra da lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos;**
- **Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- Instalação de um exaustor no container que se encontra a estufa de secagem de biomassa;
- Troca das telas do conjunto de bandejas utilizados na secagem da biomassa na estufa. Rever o material utilizado na confecção. Material da tela não pode ser metálico devido ao alto teor de sais na composição do meio de cultivo;
- Verificar funcionamento do filtro de mangas;
- Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- Tratamento dos resultados obtidos dos cultivos com e sem injeção do gás de combustão realizados de 11 a 20 de setembro;
- Solicitar reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;
- Preparo de 2 m<sup>3</sup> de meio de cultivo Zarrouk para adição nos biorreatores 1 e 2;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- Transferência de 500 L de cultivo de *Spirulina* do biorreator 2 para o biorreator de inóculo e adição de 300 L de meio de cultivo Zarrouk. Este processo foi realizado para manutenção do inóculo e reparo no sistema de agitação;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- Filtração dos cultivos mantidos nos biorreatores 1 e 2 para baixar as concentrações celulares e dar início aos testes com a microalga *Spirulina* com o gás de combustão;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- Instalação de sombrite e abertura das laterais das estufas de cultivo para reduzir a incidência luminosa e calor nos cultivos;

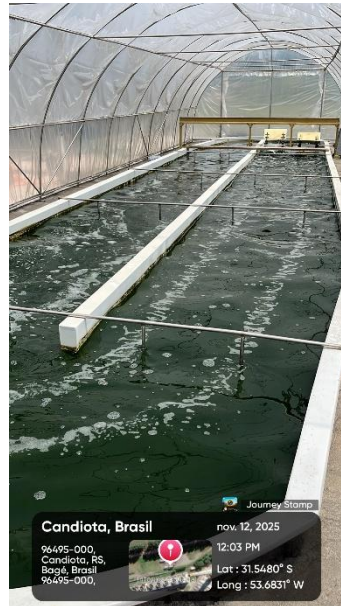


# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- 12/11 - Início dos ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,8 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção do gás: 10 s e 30 s sem injeção).



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 10/11 a 16/11/25

- Encerramento dos ensaios com a microalga *Spirulina* submetida a vazão de gás 0,8 m<sup>3</sup>/h e 10 s de injeção do gás e 30 s sem injeção;
- Filtração dos cultivos realizados e secagem da biomassa obtida;
- Análises das biomoléculas presentes nas biomassas obtidas dos ensaios com a microalga *Spirulina* quando cultivada com e sem adição do gás de combustão;
- Tratamento dos resultados obtidos nos ensaios com a microalga com e sem injeção do gás de combustão.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 17/11 a 23/11/25

- Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;
- 22/11 – Encerramento dos ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão (vazão de gás: 0,8 m<sup>3</sup>/h ; tempo de injeção do gás: 10 s e 30 s sem injeção).
- Pedido de compra da lona para cobertura do filtro prensa. Material necessário para proteção do equipamento, visto que o mesmo só deve estar desprotegido no momento do uso para evitar danos;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 17/11 a 23/11/25

- Incluído na programação a instalação de um exaustor no container que se encontra a estufa de secagem de biomassa;
- Rever o material utilizado na substituição das telas de secagem de biomassa. Material da tela não pode ser metálico devido ao alto teor de sais na composição do meio de cultivo;
- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**
- **Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 17/11 a 23/11/25

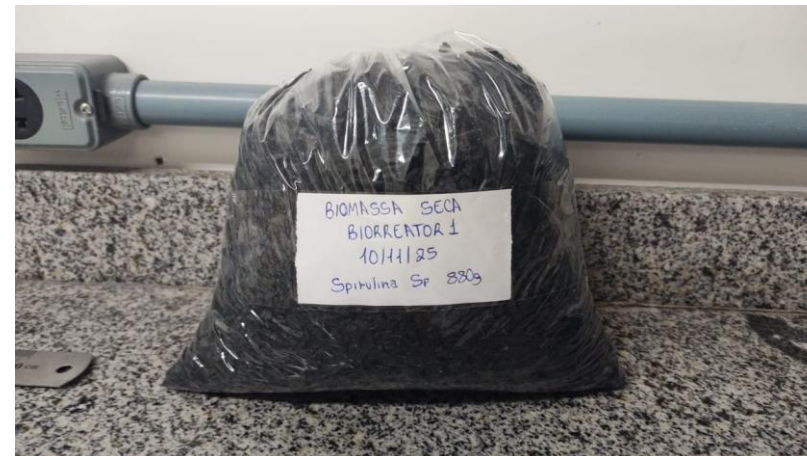
- Solicitar reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;
- Desmontar o armário branco, em MDF, que está no container 1 e montar no container 2;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 17/11 a 23/11/25

- Biomassa seca retirada do biorreator 1 para baixar a concentração celular antes do início dos ensaios com o gás de combustão;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 17/11 a 23/11/25

- Amostragem do gás de combustão que chega até a Unidade de Biofixação por Microalgas;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 17/11 a 23/11/25

- Filtração dos cultivos realizados e secagem da biomassa obtida;
- Análises das biomoléculas presentes nas biomassas obtidas dos ensaios com a microalga *Spirulina* quando cultivada com e sem adição do gás de combustão;
- Tratamento dos resultados obtidos nos 5 ensaios realizados com a microalga com e sem injeção do gás de combustão.

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- **Análises diárias de rotina dos cultivos mantidos nos 3 biorreatores: leitura de concentração celular; pH; temperaturas máximas e mínimas e adição de água evaporada;**
- **Incluído na programação a instalação de um exaustor no container que se encontra a estufa de secagem de biomassa;**
- **Rever o material utilizado na substituição das telas de secagem de biomassa. Material da tela não pode ser metálico devido ao alto teor de sais na composição do meio de cultivo;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- **Verificar funcionamento do filtro de mangas;**
- **Solicitar limpeza do sistema elétrico e hidráulico do filtro prensa;**
- **Realizada a compra da lona para proteção do filtro prensa;**

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Incluído na programação o reparo no sistema tubulação de entrada do líquido a ser filtrado no filtro prensa. Está apresentando vazamento em vários pontos, reduzindo a eficiência do processo;
- Visita da equipe técnica da FURG para reunião com a equipe Âmbar para discutir os próximos ensaios a serem realizados e coleta das biomassas secas obtidas após os cultivos da microalga *Spirulina* com e sem injeção do gás de combustão;

# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Biomassa seca obtida após os ensaios com a microalga *Spirulina* com e sem a injeção do gás de combustão;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Transferência do armário branco, em MDF, que estava no container 1 para o container 2;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Realizado o reparo no sistema de agitação do biorreator de inóculo da microalga *Spirulina*;

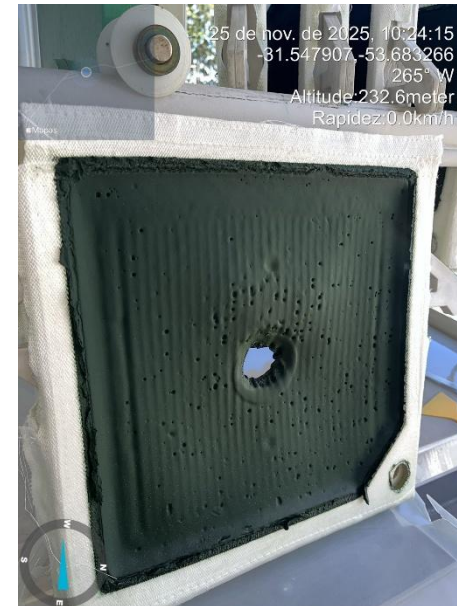


# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Filtração dos cultivos referentes aos ensaios com a microalga *Spirulina* realizados entre os dias 12 a 22/11;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Realizar a limpeza aos arredores dos biorreatores de cultivo, afim de reduzir possíveis meios de contaminação;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Realizar a abertura das estufas de cultivo da mesma forma, não deixando 1 estufa aberta e outra fechada, podendo interferir nos resultados em andamento;



# UNIDADE DE BIOFIXAÇÃO - MICROALGAS

## Ações Realizadas

Período: 24/11 a 30/11/25

- Filtração dos cultivos dos 2 biorreatores para ajustes e preparo da microalga para realização do próximo ensaio com o gás de combustão;
- Análises das biomoléculas presentes nas biomassas obtidas dos ensaios com a microalga *Spirulina* quando cultivada com e sem adição do gás de combustão;
- Tratamento dos resultados obtidos nos 5 ensaios realizados com a microalga com e sem injeção do gás de combustão.