



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO  
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**DÉBORA DOS SANTOS DE MORAES**

**Estudo comparativo da performance de crescimento de duas cepas da cianobactéria  
comercial *Limnospira platensis* (Spirulina) no Estado do Amapá**

**MACAPÁ-AP  
2025**

DÉBORA DOS SANTOS DE MORAES

**Estudo comparativo da performance de crescimento de duas cepas da cianobactéria comercial *Limnospira platensis* (Spirulina) no Estado do Amapá**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

**Orientadora:** Dra. Elane Domênica Cunha de Oliveira

**Coorientador:** Dr. Arialdo Martins da Silveira Junior

**MACAPÁ  
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

M828e Moraes, Débora dos Santos de.

Estudo comparativo da performance de crescimento de duas cepas da cianobactéria comercial *Limnospira platensis* (Spirulina) no Estado do Amapá / Débora dos Santos de Moraes. - Macapá, 2025.

1 recurso eletrônico.

54 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2025.

Orientadora: Elane Domênica Cunha de Oliveira.

Coorientador: Arialdo Martins da Silveira Júnior.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Amapá. 2. Biomassa. 3. Biotecnologia. I. Oliveira, Elane Domênica Cunha de, orientadora. II. Silveira Júnior, Arialdo Martins da, coorientador. III. Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

CDD 23. ed. – 577

---


MORAES, Débora dos Santos de. **Estudo comparativo da performance de crescimento de duas cepas da cianobactéria comercial *Limnospira platensis* (Spirulina) no Estado do Amapá.** Orientadora: Elane Domênica Cunha de Oliveira. Coorientador: Arialdo Martins da Silveira Júnior. 2025. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2025.

**DÉBORA DOS SANTOS DE MORAES**

**Estudo comparativo da performance de crescimento de duas cepas da cianobactéria comercial *Limnospira platensis* (Spirulina) no Estado do Amapá**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação:

Documento assinado digitalmente  
 **ELANE DOMENICA CUNHA DE OLIVEIRA**  
Data: 15/10/2025 00:14:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Dra. Elane Domênica Cunha de Oliveira

Documento assinado digitalmente  
 **ARIALDO MARTINS DA SILVEIRA JUNIOR**  
Data: 16/10/2025 14:11:13-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Dr. Arialdo Martins da Silveira Junior

Documento assinado digitalmente  
 **JESSICA CAROLINE EVANGELISTA VILHENA**  
Data: 16/10/2025 13:53:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Jéssica Caroline Evangelista Vilhena

Documento assinado digitalmente  
 **SILVIA MARIA MATHES FAUSTINO**  
Data: 16/10/2025 13:41:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Silvia Maria Mathes Faustino

## **DEDICO**

*Dedico este trabalho aos meus pais que acreditaram em mim e no processo, pelo incentivo e dedicação.*

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de mais de 1 ano de dedicação e curiosidade dentro do mundo da microbiologia, por meio da minha bolsa de iniciação científica PIBIC/CNPq, no Instituto de Pesquisa Científicas e Tecnológicas do estado do Amapá - IEPA. O instituto me acolheu por 3 anos durante a minha graduação, onde pude estudar e conhecer áreas distintas, conhecer pessoas que me ensinaram coisas incríveis, o conhecimento adquirido é incalculável.

Sou grata, primeiramente, a Deus, por tudo. Por me conceder a oportunidade de conhecer um pouco da ciência deste mundo, pela chance de estudar, de ingressar em laboratórios de pesquisa científica e desenvolver projetos, além de conhecer pessoas como professores, doutores e pesquisadores que me deram oportunidades, me acolheram, inspiraram, incentivaram e contribuíram para minha evolução acadêmica e pessoal.

Aos meus pais que lutam incansavelmente e diariamente para que eu possa amadurecer, enxergar a realidade e mesmo assim sonhar. À minha mãe, Talita Fernandes, que é tudo para mim, em todos os momentos, lugares e para a vida toda. Ao meu pai, Israel Assis, que tem todo o cuidado e desperta em mim o amor por estudar.

Ao meu primeiro orientador, Dr. Adriano Castelo dos Santos, que foi o primeiro a me adotar, que apostou e acreditou em mim no meu primeiro ano de graduação, e me ajudou a dar os primeiros passos, não mediu esforços em me ensinar o que eu sei hoje, desde o incentivo na pesquisa científica aos bons conselhos, direcionamentos, e ao apoio financeiro para a realização de vários projetos e eventos.

A minha querida orientadora Dra. Elane Domênica Cunha de Oliveira, que me mostrou o mundo com outros olhos, através do microscópio, pelas várias oportunidades concedidas, que são inúmeras, por todas as orientações, incentivos e principalmente por todo conhecimento transferido. E por permitir acesso total ao seu laboratório (LACIM), para realizar todas as análises do meu projeto de pesquisa, para estudar, explorar e aprender a manusear equipamentos importantes do laboratório.

Ao meu querido coorientador, Dr. Arialdo Martins da Silveira Junior, por ser gentil, paciente em todos os momentos de orientação, e especialmente por todo conhecimento que compartilhou comigo.

Aos laboratórios LACIM do IEPA, LABQSAMB e LACAL da UNIFAP, e LAB MICROBIOLOGIA da UEAP, por todo suporte laboratorial, para que análise microscópica, preparo de material e preparo de meio de cultivo fossem feitos, todo suporte técnico e científico para a realização da pesquisa.

Por fim, gratidão a várias pessoas que não mencionei, mas me apoiaram durante todo o período da graduação.

*"Quanto mais eu estudo a natureza, mais me maravilho com a obra do Criador."*

**Amelia Earhart**

## RESUMO

A cianobactéria *Limnospira platensis* (Spirulina) é amplamente reconhecida por seu elevado potencial proteico e suas diversas aplicações na indústria de alimentos, descarbonização e outros usos, tanto na indústria brasileira quanto internacional. O objetivo principal deste estudo foi comparar a performance de crescimento de duas cepas de *L. platensis*, sendo elas a cepa *L. platensis* UTEX 1926 e *L. platensis* Varrennes, em diferentes intensidades luminosas e condições de meio de cultivo. Foram realizadas análises morfológicas e morfométricas, que evidenciaram diferenças estruturais significativas, como tricomas mais longos e espirais abertas na cepa UTEX 1926, contrastando com tricomas menores, mais compactos e presença de aerótopos na cepa Varrennes. Nesse contexto, a presença de caliptra facultativa observada na cepa UTEX 1926 reforça sua proximidade com *Limnospira*, clone da cepa tipo para a espécie, registrada como PCC7345. Em relação aos diferentes tratamentos de diluição do meio Zarrouk e níveis de intensidade luminosa testados, verificou-se diferença significativa para o parâmetro produtividade máxima (P<sub>max</sub>) entre as cepas e as condições de luminosidade. Portanto, a cepa UTEX 1926 apresentou desempenho superior, alcançando a maior produtividade máxima de 95,3 org/mL/dia/org sob 10 watts, e mantendo valores elevados de 73,3 sob 20 watts. Por outro lado, a cepa Varrennes não apresentou diferenças significativas entre os níveis de intensidade luminosa, com P<sub>max</sub> de 23,6 e 12,5 para 10 e 20 watts. Não foram observadas diferenças significativas para os parâmetros taxa de crescimento específico ( $\mu$ ) e tempo de duplicação (T<sub>2</sub>). Do mesmo modo, não foram observadas diferenças significativas, entre as cepas, considerando o fator diluição do cultivo. Concluímos que a cepa UTEX 1926 apresentou melhor performance de crescimento, indicando maior potencial produtivo e destacando-se como candidata promissora para cultivos comerciais em larga escala em meio de cultivo mais diluído. A contribuição deste estudo é significativa, pois fornece subsídios para a otimização do cultivo de *L. platensis* no Amapá, promovendo a bioeconomia regional e o fortalecimento de cadeias produtivas sustentáveis.

**Palavras-chave:** Amapá, biomassa, proteína, cultivo, biotecnologia

## ABSTRAT

The cyanobacterium *Limnospira platensis* (Spirulina) is widely recognized for its high protein potential and its diverse applications in the food industry, decarbonization, and other uses, both in Brazil and internationally. The main objective of this study was to compare the growth performance of two *L. platensis* strains, *L. platensis* Utex 1926 and *L. platensis* Varrenes, under different light intensities and culture medium conditions. Morphological and morphometric analyses were performed, which revealed significant structural differences, such as longer trichomes and open spirals in the Utex 1926 strain, in contrast to smaller, more compact trichomes and the presence of aerotopes in the Varennes strain. In this context, the presence of facultative calyptra observed in the Utex 1926 strain reinforces its close relationship to *Limnospira*, the clone of the type strain for the species, registered as PCC7345. Regarding the different Zarrouk medium dilution treatments and light intensity levels tested, significant differences were observed for the maximum productivity (Pmax) parameter between the strains and light conditions. Therefore, the Utex 1926 strain showed superior performance, reaching the highest maximum productivity of 95.3 org/mL/day/org under 10 watts, and maintaining high values of 73.3 under 20 watts. On the other hand, the Varennes strain did not show significant differences between light intensity levels, with Pmax of 23.6 and 12.5 for 10 and 20 watts. No significant differences were observed for the specific growth rate ( $\mu$ ) and doubling time (T2) parameters. Likewise, no significant differences were observed between the strains considering the culture dilution factor. We concluded that the Utex 1926 strain exhibited better growth performance, indicating greater production potential and standing out as a promising candidate for large-scale commercial cultivation in more dilute culture media. This study contributes significantly, as it provides support for optimizing *L. platensis* cultivation in Amapá, promoting the regional bioeconomy and strengthening sustainable production chains.

**Keywords:** Amapá, biomass, protein, cultivation, biotechnology

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Cepas de <i>Limnospira platensis</i> que foram utilizadas no plano de trabalho: a) Cepa <i>L. platensis</i> UTEX1926 e b) Cepa <i>L. platensis</i> Varennes (francesa).....	22
<b>Figura 2</b> - Composição do meio de cultivo Zarrouk para <i>Limnospira platensis</i> .....	23
<b>Figura 3</b> - Demonstração do sistema de aeração e coleta de amostra do meio de cultivo das cepas de <i>Limnospira platensis</i> .....	24
<b>Figura 4</b> - Esquema elaborado do experimento simultâneo das diferentes diluições e intensidade luminosa.....	26
<b>Figura 5</b> - Câmara de Neubauer vista no microscópio na contagem dos organismos das cepas.....	26
<b>Figura 6</b> - Peneiras confeccionadas manualmente para colheita de biomassa.....	28
<b>Figura 7</b> - Caracterização morfológica da cepa UTEX 1926. a) Tricomas sem presença de aerótopos; b) Tricoma célula apical (presença de caliptra); c) Hormogônio (sem presença de caliptra); d) sem presença de envelope mucilaginoso; e) Bentônico e planctônico; f) Constrição celular visível; g) Ciclo de vida <i>L. platensis</i> (Hormogônio); h) divisão celular; i) Células heteropolar facultativa.....	31
<b>Figura 8</b> - Medidas microscópicas da cepa UTEX 1926. a) comprimento total dos organismos individual; b) número de espirais por tricoma; c) largura e comprimento das células; d) altura e distância das espirais; e) distância das espirais.....	32
<b>Figura 9</b> - Caracterização morfológica da cepa Varennes. a) Presença de aerótopos; b) Célula apical (sem presença de caliptra); c) Hormogônio (quebra de célula); d) sem presença de envelope mucilaginoso; e) Planctônico; f) Constrição celular visível; g) Ciclo de vida <i>L. platensis</i> (Hormogônio); h) divisão celular; i) Células isopolar.....	33
<b>Figura 10</b> - Medidas microscópicas da cepa Varennes a e b) comprimento total dos organismos; c) número de espirais por tricomas; d e e) altura e distância das espirais; f) comprimento total do organismo.....	34
<b>Figura 11</b> – Ciclo de vida <i>Limnospira platensis</i> .....	35
<b>Figura 12</b> – Comparação microscópica da dimensão e variação do tamanho dos organismos de cada cepa.....	38
<b>Figura 13</b> - Experimento simultâneo das diferentes condições de cultivo e colheita final da biomassa.....	38
<b>Figura 14</b> - Curvas de crescimento dos diferentes tratamentos cepa UTEX 1926 com indicação da fase de crescimento exponencial (fase log).....	40
<b>Figura 15</b> - Curvas de crescimento dos diferentes tratamentos cepa Varennes com indicação da fase de crescimento exponencial (fase log).....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>3 PROBLEMA E HIPÓTESE</b> .....	<b>16</b>
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
4.1 Geral.....	17
4.2 Específicos .....	17
<b>5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
5.1 Cianobactérias .....	18
5.2 Histórico da Espirulina .....	19
5.3 Reclassificação Taxonômica ( <i>Spirulina</i> , <i>Arthrospira platensis</i> e <i>Limnospira platensis</i> ) .....	19
5.4 Meios e condições de cultivos .....	20
<b>6 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
6.1 Condições do cultivo no laboratório .....	22
6.2 Caracterização morfológica e morfométrica das cepas de <i>Limnospira platensis</i> .....	23
6.3 Crescimento das cepas em diferentes condições de diluição e incidência luminosa .....	25
6.4 Determinação das taxas de crescimento .....	26
6.5 Análise da caracterização morfológica e morfométrica.....	28
6.6 Análise da performance das cepas em diferentes diluições e intensidades luminosas .....	28
<b>7 RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
7.1 Caracterização morfológica e morfométrica .....	31
7.2 Ciclo de vida das cepas de <i>Limnospira platensis</i> .....	35
7.3 Experimento das diferentes condições e determinação das taxas de crescimento.....	38
7.4 Comparação entre as cepas .....	42
<b>8 DISCUSSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>9 CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As microalgas e as cianobactérias são microrganismos que vivem em ambientes aquáticos, como lagos, rios e oceanos, apresentando grande importância por serem produtoras primárias de energia (Silva *et al.*, 2023). As microalgas possuem a capacidade de realizar fotossíntese oxigênica, um processo pelo qual utilizam a energia da luz solar para converter dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água em oxigênio (O<sub>2</sub>), e matéria orgânica (biomassa) (Mendonça *et al.*, 2012). A biomassa produzida por esses microrganismos pode ser rica em compostos biologicamente ativos, incluindo proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas e pigmentos (Borba, 2018). Por esse motivo, algumas espécies são cultivadas comercialmente. Exemplos notáveis incluem os táxons *Chlorella* sp., *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis* e *Limnospira platensis* (Spirulina) (Derner *et al.*, 2006).

A *Limnospira platensis*, objeto deste estudo, é uma cianobactéria com morfologia filamentosa em forma de espiral, a qual deu origem ao nome do gênero, até então, conhecido como *Spirulina*. Posteriormente, sua classificação mudou para *Arthrospira platensis* e, finalmente, para *Limnospira platensis* (Sinetova *et al.*, 2024). No entanto, comercialmente, ainda, são conhecidas por Spirulina ou espirulina (em português) (Sili *et al.*, 2012). Uma das características morfológicas mais destacadas do gênero *Limnospira* é a formação espiral de tricomas multicelulares com paredes transversais claramente visíveis (Nowicka-Krawczyk *et al.*, 2019).

Esta cianobactéria apresenta grande relevância no setor comercial, principalmente pelo seu alto valor proteico, tendo entre 50% e 70% de proteína na sua composição. Este valor é superior ao encontrado em carne vermelha, que corresponde à, apenas, 27% (Delrue *et al.*, 2017).

Devido às suas várias aplicações, *L. platensis* tem despertado crescente interesse científico, especialmente pela presença de compostos bioativos com potencial uso nas áreas da saúde, produção de energia e nas indústrias alimentícia, química, cosmética e farmacêutica (Chu *et al.*, 2010; Mendonça *et al.*, 2014). Em razão desse potencial multifuncional, grande parte dos estudos voltados para essa cianobactéria concentra-se na investigação de condições ideais de cultivo, com o objetivo de maximizar a produtividade de biomassa e, conseqüentemente, a obtenção de compostos de interesse.

As diferentes cepas de *L. platensis* podem apresentar variações significativas em sua produtividade, devido a fatores genéticos, ambientais e fisiológicos. A cadeia de produção para

o cultivo de microalgas no Brasil ainda é inoperante, mesmo com o potencial significativo desse recurso para diversos setores econômicos, destacando a relevância de realizar uma análise ampla para contribuições ao desenvolvimento da cadeia produtiva da espirulina na Região Amazônica (Vetorelli *et al.*, 2024).

A manipulação das condições de cultivo de *L. platensis* pode aumentar a biossíntese de compostos, permitindo o controle dessas variáveis, o que pode resultar no aumento da produtividade (Muliterno *et al.* 2005). Portanto, faz-se necessário testar os cultivos de espirulina em diferentes meios e concentrações meio de cultivo, e/ou outras variáveis para otimizar a produção dessa espécie.

O presente trabalho visa comparar a performance de crescimento de duas cepas de *L. platensis* (espirulina) sob diferentes intensidades luminosas e diluições do meio de cultivo. O mesmo poderá fornecer informações que contribuam para a produção dessa espécie na Amazônia brasileira e, conseqüentemente, ajudar a fortalecer a bioeconomia e o desenvolvimento sustentável no estado do Amapá, além de abrir perspectivas para o uso bioprospectivo da espécie, visando a identificação e aproveitamento de compostos bioativos de interesse biotecnológico e industrial.

## 2 JUSTIFICATIVA

A escolha do estudo com *L. platensis* se justifica pelo amplo potencial biotecnológico e nutricional dessa cianobactéria. Diversas pesquisas destacam suas propriedades terapêuticas, incluindo a atuação no tratamento de doenças como câncer, hipercolesterolemia e aterosclerose (Colla *et al.*, 2007). Além disso, a espécie é reconhecida pela produção de compostos fenólicos, antioxidantes, antivirais e anti-inflamatórios, o que reforça seu valor para a indústria farmacêutica e alimentícia (Piñero Estrada *et al.*, 2001; Lopes *et al.*, 2022).

O crescimento da população mundial tem intensificado a demanda por fontes alternativas de nutrientes e alimentos funcionais. Nesse cenário, a cianobactéria *L. platensis* (espirulina) se destaca como um superalimento rico em compostos de interesse, de reconhecida importância nutricional e amplamente utilizado como suplemento alimentar.

Nesse contexto, o uso de *L. platensis* apresenta grande relevância para o avanço científico e, também, para a valorização da biodiversidade, em consonância com a bioeconomia e o desenvolvimento regional (Singh *et al.*, 2017). Dessa forma, pesquisas voltadas à caracterização e ao cultivo de cepas adaptadas às condições amazônicas podem abrir caminhos para novos produtos com valor agregado, fortalecendo cadeias produtivas locais de forma ambientalmente responsável.

A Região Amazônica apresenta características ambientais favoráveis, como elevada luminosidade e temperatura ao longo de todo o ano, que podem otimizar o cultivo de *L. platensis*, aumentando sua produtividade e reduzindo custos operacionais. Entretanto, no estado do Amapá ainda não foram realizados estudos específicos sobre o desempenho de crescimento da espécie e sua tolerância à intensidade luminosa, o que representa uma lacuna científica e tecnológica. A realização desta pesquisa inaugura uma linha de investigação inédita no estado, abrindo perspectivas para o fortalecimento da bioeconomia local e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis em nutrição e biotecnologia.

O presente estudo permitirá estabelecer parâmetros para maximizar a produção de biomassa de espirulina de qualidade, subsidiando futuros cultivos em escala comercial e contribuindo para o fortalecimento da bioeconomia regional e nacional. É importante mencionar que a capacidade produtiva nacional de espirulina é insuficiente para atender à demanda interna crescente, tornando o Brasil dependente da importação desse insumo, especialmente para o setor de alimentos saudáveis.

Adicionalmente, esta pesquisa encontra-se diretamente alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, destacando-se especialmente os seguintes: ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável, ao promover alternativas alimentares de alto valor nutricional; ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, por fomentar o desenvolvimento de biotecnologias regionais e soluções inovadoras para o cultivo de microalgas; e ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis, ao buscar maior eficiência nos processos produtivos e redução de impactos ambientais. Além disso, a iniciativa contribui com os princípios da economia azul, ao valorizar o uso sustentável dos recursos aquáticos como estratégia para o desenvolvimento socioeconômico aliado à conservação ambiental.

Vale ressaltar o potencial socioeconômico e regional do estudo, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de cadeias produtivas e sustentáveis no Amapá.

### 3 PROBLEMA E HIPÓTESE

**Pergunta:** Qual cepa de *L. platensis* (Spirulina) apresenta maior taxa de crescimento sob condições de elevada incidência luminosa e maior diluição do meio de cultivo?

**Hipótese:** A cepa *L. platensis* francesa apresenta maior taxa de crescimento celular que a cepa *L. platensis* UTEX 1926, sob condições de elevada incidência luminosa e maior diluição de meio de cultivo, condições que podem otimizar sua produção no estado do Amapá. A cepa *L. platensis* francesa apresenta melhor performance de crescimento pois é originária de uma fazenda de produção comercial e está adaptada para o crescimento rápido, comparada com a cepa *L. platensis* UTEX 1926 que é originária de um cepário no qual ocorre crescimento lento e em baixa luminosidade.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Geral**

Comparar a performance de crescimento de duas cepas de *L. platensis* (Espirulina) sob diferentes intensidades de incidência luminosa e níveis de diluição do meio de cultivo.

### **4.2 Específicos**

- Realizar a caracterização morfológica e morfométrica das cepas de *Limnospira platensis*;
- Comparar o crescimento das cepas em dois níveis de intensidade luminosa;
- Comparar o crescimento das cepas em diferentes diluições do meio de cultivo Zarrouk.

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 Cianobactérias

As cianobactérias são microrganismos procariontes fotossintetizantes, pertencentes ao filo Cyanobacteria e ao domínio Bacteria (Komárek & Komárková, 2006). As cianobactérias também são conhecidas como "algas azul-esverdeadas" ou cianofíceas devido à presença de pigmentos naturais, como a ficocianina e a clorofila-a (Sant'Anna *et al.*, 2006).

Esses microrganismos desempenham um papel fundamental na biosfera, contribuindo para a fixação de carbono e nitrogênio, além de participarem da produção primária em diversos ecossistemas aquáticos e terrestres (Batista *et al.*, 2013).

Estudos fósseis revelam que as cianobactérias permaneceram morfológicamente conservadas ao longo de bilhões de anos, desempenhando um papel crucial na evolução da atmosfera terrestre, especialmente na fixação de carbono e na liberação de oxigênio. Esses microrganismos são encontrados em uma ampla variedade de ambientes, incluindo águas doces, salinas e ambientes extremos, como fontes termais e lagos salgados (Dolganyuk *et al.*, 2020).

Alguns grupos de cianobactérias desenvolveram estruturas morfológicas especializadas que lhes conferem adaptação aos diferentes ambientes em que ocorrem (Rodrigues *et al.*, 2021). Dentre essas estruturas, destacam-se os hormogônios, heterócitos, acinetos e bainhas, que desempenham funções específicas relacionadas à reprodução, fixação de nitrogênio e proteção (Sciuto; Moro, 2015). Do ponto de vista estrutural, as cianobactérias são organismos procarióticos, com células que apresentam tilacóides, pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* ficobiliproteínas e carotenoides) e, em muitas espécies, aerótopos que regulam a flutuabilidade (Komárek; Anagnostidis, 2005). Sua organização pode variar entre formas unicelulares, coloniais ou filamentosas, e todas podem se proliferar ocasionando o fenômeno chamado “floração” em corpos d’água.

As florações de cianobactérias têm grande relevância ecológica, pois contribuem para a ciclagem de nutrientes e a produtividade primária. Contudo, também podem causar impactos negativos devido à produção de cianotoxinas, que representam risco à saúde humana e animal (Paerl & Otten, 2013). Por outro lado, determinadas espécies apresentam elevado valor econômico, uma vez que sua biomassa contém alto teor proteico, pigmentos e metabólitos de interesse biotecnológico (Gantar; Svirčev, 2008; Furmaniak *et al.*, 2017).

Esses exemplos ilustram uma dinâmica estrutural complexa, onde a forma das células reflete sua capacidade de responder e se adaptar a variações ambientais, sendo esse fenômeno central para estudos em ecologia aquática, biotecnologia e ciências ambientais.

## 5.2 Histórico da *Spirulina*

A *Spirulina* foi utilizada como fonte alimentar por povos mesoamericanos, como os astecas, até o século XVI, sendo colhida no Lago Texcoco e comercializada na forma de bolos azul-esverdeados conhecidos como "Tecuitlatl" (Sinetova *et al.*, 2024). Embora o uso tradicional do "Tecuitlatl" tenha desaparecido após a conquista, relatos históricos evidenciam que as populações dos Astecas e populações africanas da Região do Lago Chade, separadas por cerca de 10.000 quilômetros de distância, exploraram de forma independente o potencial nutricional da *Spirulina*, representando um dos raros exemplos do uso tradicional de biomassa microbiana como alimento humano (Ciferri, 1983).

Atualmente, seu valor nutricional é amplamente reconhecido, tendo sido oficialmente aprovada pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Food and Drug Administration (FDA) como um alimento de interesse estratégico no combate à desnutrição e segurança alimentar (Uebel *et al.*, 2017; Capelli; Cysewski, 2010). Dentre seus constituintes bioativos, destaca-se a ficocianina, pigmento natural que tem despertado atenção devido à sua importância nutricional e ao seu potencial biotecnológico (Santos *et al.*, 2024). Embora algumas cianobactérias sejam produtoras de cianotoxinas, tornando-as impróprias para o consumo humano, análises genômicas de diferentes cepas de *Limnospira platensis* demonstraram que as espécies do gênero *Limnospira* não possuem genes relacionados à produção de toxinas, portanto não têm toxicidade (Pichart *et al.*, 2024).

No Brasil, os estudos envolvendo esta cianobactéria ainda são limitados, sendo que a maioria das pesquisas utiliza cepas oriundas de coleções internacionais, como a *Limnospira platensis* UTEX 1926, mantida pela Universidade do Texas (Bezerra *et al.*, 2008).

## 5.3 Reclassificação Taxonômica (*Spirulina*, *Arthrospira platensis* e *Limnospira platensis*)

Os gêneros *Arthrospira*, *Limnospira*, e *Spirulina* são cianobactérias pertencentes à ordem Oscillatoriales e à família Microcoleaceae (Komárek, 2005). Embora historicamente muitas espécies tenham sido classificadas sob o gênero *Spirulina*, avanços em estudos

morfológicos e filogenéticos levaram à reavaliação dessa taxonomia. Com base em diferenças morfológicas significativas, algumas dessas espécies de *Spirulina* foram posteriormente reclassificadas nos gêneros *Arthrospira* e, mais recentemente, em *Limnospira* (Nowicka-krawczyk *et al.*, 2019). Essas distinções refletem uma revisão sistemática fundamentada em análises morfológicas, moleculares detalhadas e na taxonomia.

Análises filogenéticas recentes levaram à reclassificação das espécies do gênero *Limnospira*, reunindo *L. fusiformis* e *L. indica* sob a espécie *Limnospira maxima*, espécie-tipo do gênero. Com isso, *Limnospira* passou a incluir apenas *L. platensis* e *L. maxima*, ambas amplamente cultivadas e comercializadas, sem genes promotores de toxinas (Pinchart *et al.*, 2024).

O gênero *Limnospira* compreende duas espécies reconhecidas, sendo a cepa de referência a *L. platensis* a cepa PCC 7345, pertencente à coleção de cultivo do Instituto Pasteur. Esta mesma cepa possui uma cópia na coleção UTEX da Universidade do Texas, identificada como UTEX 1926, mesma cepa utilizada neste estudo (Sinetova *et al.*, 2024).

Considerando a relevância dessas cianobactérias como recurso biológico de amplo potencial de aplicação, torna-se fundamental que, após o isolamento e a manutenção das cepas, seja realizada sua identificação taxonômica, bem como a caracterização dos isolados (Galhano *et al.*, 2011).

#### **5.4 Meios e condições de cultivos**

O cultivo de cianobactérias requer meios de cultura adequados que forneçam os nutrientes necessários para seu crescimento e metabolismo (Li *z et al.*, 2022). Dentre os importantes parâmetros e condições de cultivo estão as fontes de carbono, fonte de nitrogênio, fonte luminosa, agitação para circulação de células, temperatura e pH (Borba, 2018).

A composição do meio de cultivo pode influenciar diretamente a produtividade e a composição bioquímica das cianobactérias (Tarko *et al.*, 2012). Estudos indicam que variações na concentração de nutrientes, luminosidade e temperatura podem afetar significativamente a taxa de crescimento e o teor de metabólitos de interesse, como a ficocianina e os ácidos graxos essenciais (Damasceno *et al.*, 2017).

A intensidade luminosa e o fotoperíodo também afetam diretamente a taxa fotossintética e a morfologia celular, sendo que excesso de radiação pode levar ao estresse oxidativo, enquanto

baixa intensidade reduz a eficiência do crescimento (Oliveira *et al.*, 2012). A temperatura atua na regulação metabólica, com muitas espécies apresentando crescimento ótimo entre 30 - 35 °C, embora haja tolerância variável conforme a cepa (Richmond, 2004). O pH e a disponibilidade de nutrientes inorgânicos, especialmente nitrogênio e fósforo, são fatores críticos para a divisão celular e para a síntese de proteínas e pigmentos (Borges *et al.*, 2019).

A diversidade genética entre cepas isoladas em diferentes regiões e condições ambientais também influencia características fisiológicas, como taxa de crescimento, composição bioquímica e adaptação a variações de temperatura, luminosidade e nutrientes, resultando em distintas produtividades (Alfadhly *et al.*, 2022).

Segundo Muliterno *et al.* (2005) o meio Zarrouk é um dos mais amplamente utilizados para o cultivo dessas espécies, pois apresenta uma composição rica em carbonatos, nitratos e micronutrientes essenciais. Entre os micronutrientes presentes nesse meio destacam-se o ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), o cloreto de manganês tetra-hidratado ( $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ), o sulfato de zinco heptahidratado ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), o molibdato de sódio ( $Na_2MoO_4$ ) e o sulfato de cobre pentahidratado ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) (Madkour *et al.*, 2012). Esses elementos exercem funções essenciais nos processos metabólicos das cepas, incluindo a fotossíntese, a síntese de proteínas e a manutenção da integridade celular, sendo fundamentais para o crescimento, a produtividade e a viabilidade das cepas cultivadas no meio Zarrouk.

O cultivo de cianobactérias em larga escala pode ser realizado em sistemas abertos ou fechados, cada um com suas vantagens e limitações. Sistemas abertos, como as lagoas do tipo *raceways*, são amplamente utilizados devido ao seu baixo custo de instalação e operação (Jerney *et al.*, 2018). Para fins industriais, os sistemas de cultivo podem ser conduzidos em fotobiorreatores fechados ou em tanques abertos, dependendo da aplicação desejada (Sampaio *et al.*, 2016).

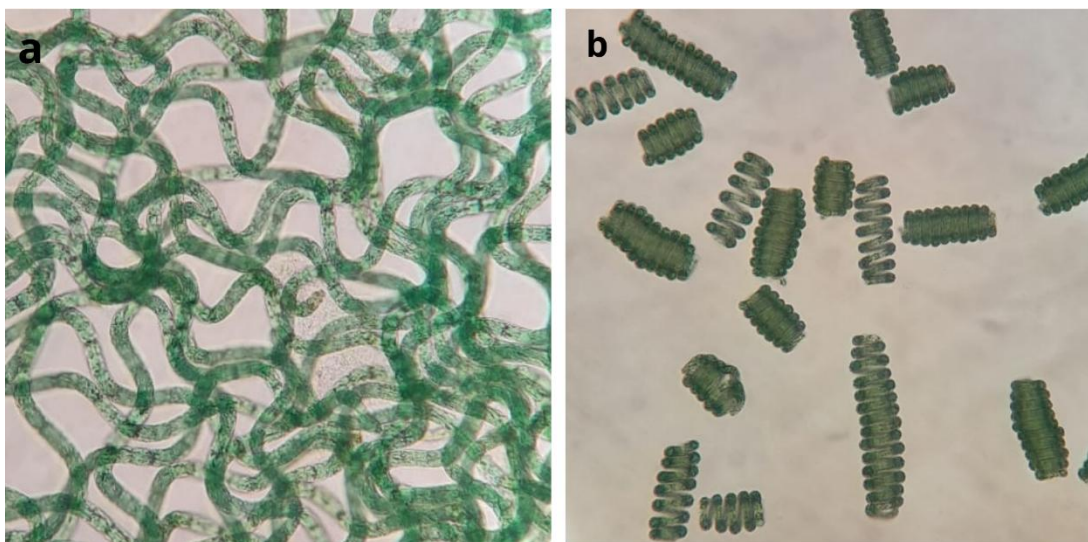
O cultivo em larga escala tem sido objeto de pesquisas para otimizar os processos produtivos, minimizar a contaminação e maximizar a produtividade da biomassa.

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Condições do cultivo no laboratório

Neste estudo foram utilizadas duas cepas da cianobactéria *L. platensis* (Figura 1). A cepa UTEX 1926, que foi adquirida do laboratório de cultivo de microalgas da Universidade do Texas, e cepa Varennes, que foi adquirida de uma fazenda de produção em Varennes-sur-Loire, na França.

**Figura 1-** Cepas de *Limnospira platensis* que foram utilizadas no plano de trabalho: a) Cepa *L. platensis* UTEX 1926 e b) Cepa *L. platensis* Varennes (francesa).



Fonte: Autor, 2025

As duas cepas são mantidas e cultivadas no laboratório de Taxonomia e Ecologia de Cianobactérias e Microalgas (LACIM) no Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA) sob condições ambientais controladas, em estantes equipadas, com temperatura constante de 24 °C, iluminação artificial específica e contínua de 9 watts, para o crescimento de microalgas e cianobactérias. A aeração contínua é realizada por meio de compressores para aquário que injetam ar com auxílio de pipetas e tubos de silicone.

Os cultivos das duas cepas são realizados e mantidos em meio Zarrouk (Figura 2). Este meio é amplamente utilizado para o cultivo de *L. platensis*.

**Figura 2** - Composição do meio de cultivo Zarrouk para *Limnospira platensis*.

<b>Soluções de trabalho</b>	<b>Quantidades</b>
1 KNO <sub>3</sub>	15,0 g em 200 ml
2 NaCl	33,0 g em 200 ml
3 MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1,50 g em 200 ml
4 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,50 g em 200 ml
5 CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1,50 g em 100 ml
6 Na <sub>2</sub> EDTA	0,60 g em 100 ml
7 FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0,49 g em 100 ml
8 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,142 g em 100 ml
9 Solução mista	*

<b>*Solução mista</b>	<b>Quantidades</b>
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0,049 g
MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0,144 g
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0,882 g
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0,0157 g
MoO <sub>3</sub>	0,071 g
Água destilada	100ml

A - Dissolver em 600 ml de cultura 15,0 g de NaHCO<sub>3</sub> e 2,0 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>5</sub>

B - Acrescentar 10,0 ml das soluções 1, 2, 3, 4 e 5.

C - Completar o volume a 1.000 ml.

Fonte: Retirado de Barros, 2010.

## 6.2 Caracterização morfológica e morfométrica das cepas de *Limnospira platensis*

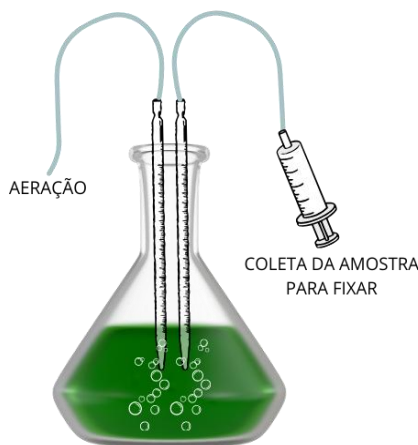
Os cultivos para a etapa de caracterização morfológica e morfométrica foram realizados em Erlenmeyer de 2 L, com temperatura constante de 24 °C, iluminação artificial contínua de 9 watts, e aeração contínua.

Foram testados em frascos Erlenmeyer de 2 L, cada um contendo 1,6 L de cultivo, sendo 50% (720 ml) de água destilada, 50% (720 ml) do meio de cultivo Zarrouk e 10% de inóculo inicial (160 ml) para cada cepa.

Em cada frasco Erlenmeyer, foram instaladas duas pipetas: uma destinada à manutenção da aeração constante, fundamental à homogeneização do cultivo, e outra adaptada para a inserção de uma seringa estéril, facilitando a coleta de amostras para o monitoramento

microscópico das culturas (Figura 3). Esse sistema permitiu a coleta periódica sem comprometer a integridade do cultivo.

**Figura 3** - Demonstração do sistema de aeração e coleta de amostra do meio de cultivo das cepas de *Limnospira platensis*.



Fonte: Autor, 2025

As amostras para análise morfológica e morfométrica das duas cepas foram coletadas e fixadas com *transeau*. As coletas para análises foram realizadas diariamente num período contínuo de 15 dias, sem intervalos, permitindo o monitoramento detalhado das distintas fases do ciclo de vida e do desenvolvimento das cepas.

A avaliação morfológica das cepas foi realizada considerando parâmetros morfológicos e morfométricos, com base em Santos *et al.* (2023). Dentre as características morfológicas analisadas, as principais observações foram: a presença de aerótopos, envelope mucilaginoso, caliptra, hábito bentônico ou planctônico, constrição, células isopolares ou heteropolares. Quanto às características morfométricas, foram mensurados o comprimento total do organismo; largura das células; comprimento das células; número de espirais por tricoma; a altura das espirais e a distância entre elas.

A caracterização morfológica das cepas foi realizada em microscópio óptico comum, e as medidas celulares e dos filamentos foram registradas pelo microscópio invertido com aquisição de imagens Axiovert A1 da Zeiss, no Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental da Universidade Federal do Amapá.

### 6.3 Crescimento das cepas em diferentes condições de diluição e incidência luminosa

Os cultivos das duas cepas de *L. platensis* foram submetidos a dois níveis distintos de intensidade luminosa 10w (751 lux) e 20w (1.666 lux) e diferentes diluições do meio Zarrouk (50 e 75%), com o objetivo de avaliar os efeitos da luz e do meio de cultivo sobre o crescimento celular.

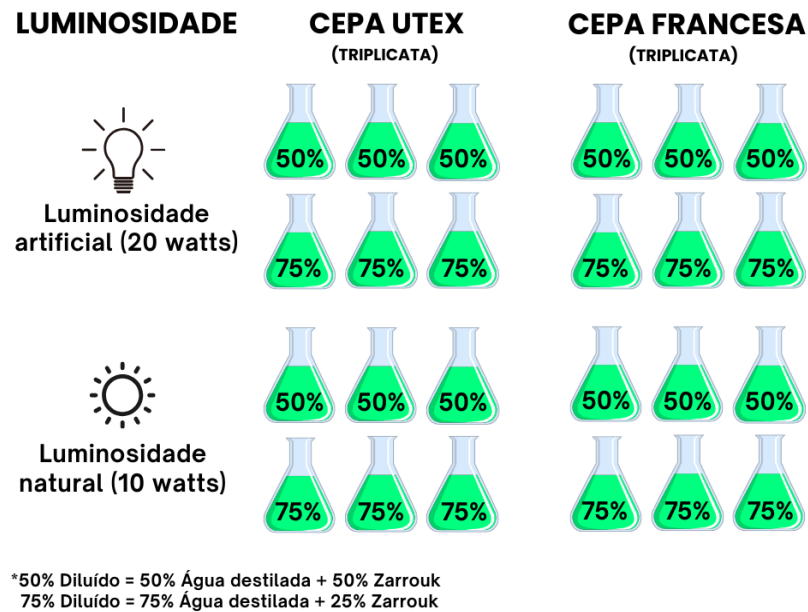
Para testar as diferentes diluições do meio e níveis de intensidade luminosa, o experimento foi conduzido de forma simultânea, com cada combinação experimental realizada em triplicata. A duração total do cultivo foi de 30 dias. Os cultivos foram conduzidos em frascos do tipo Erlenmeyer com capacidade de 2 litros, contendo um volume total de 1.300 mL de meio inoculado por unidade experimental.

As diluições do meio de cultivo Zarrouk foram feitas em duas condições. A diluição de 75% foi composta por 25% de meio, 75% de água destilada, e 10% de inóculo (130mL). Já a diluição de 50% foi composta por 50% de meio, 50% de água destilada, e 10% de inóculo (130mL).

Para a variável luminosidade, foram testados dois níveis de incidência luminosa (10 e 20 watts), a primeira simulando a luz solar natural e a segunda simulando as condições de luminosidade artificial mais fortes. Para a simulação dos níveis de intensidade luminosa natural, utilizou-se luxímetro digital, com a aferição durante 5 dias consecutivos em janela com bastante entrada de luz. A iluminação na sala de cultivo laboratorial do IEPA foi ininterrupta durante o experimento de 30 dias, com fotoperíodo de 24h.

Para uma melhor compreensão, elaborou-se um esquema com o objetivo de representar visualmente o delineamento experimental, contemplando as diferentes intensidades luminosas e as variações de diluição do meio de cultivo Zarrouk (Figura 4).

**Figura 4** - Esquema elaborado do experimento simultâneo das diferentes diluições e intensidade luminosa.

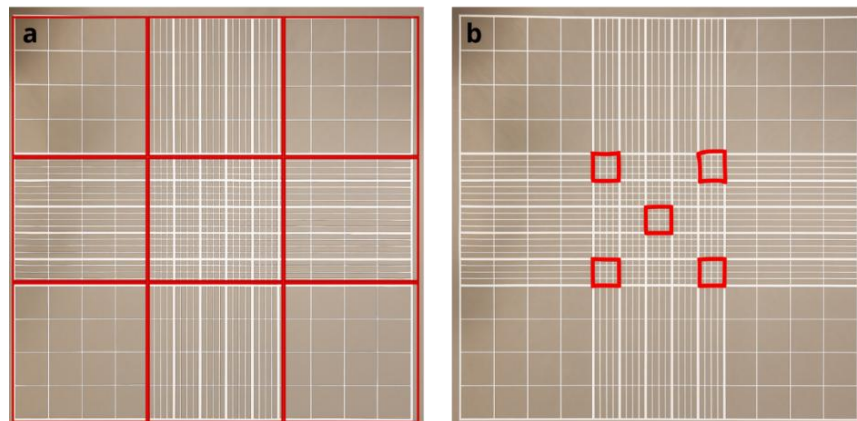


Fonte: Autor, 2025

#### 6.4 Determinação das taxas de crescimento

O crescimento das cepas foi avaliado por meio de método direto. A estimativa da densidade algal foi realizada por microscopia, utilizando uma Câmara de Neubauer, eficaz para a contagem de algas com diâmetros entre 2 e 30 (Rocha, 2003). A contagem das microalgas ocorreu em cultivo durante 30 dias consecutivos, sendo realizada a contagem a cada 48 horas. Para a contagem, foram utilizados dois métodos diferentes (Figura 5), conforme o comprimento médio de cada cepa (UTEX=522,1  $\mu\text{m}$ ; Varennes=52,2  $\mu\text{m}$ ).

**Figura 5** - Câmara de Neubauer vista no microscópio na contagem dos organismos das cepas.



Fonte: Autor, 2025

Para a cepa UTEX 1926, a contagem dos organismos foi realizada por meio da contagem direta dos nove quadrantes maiores da câmara (Figura 5a), no qual foi aplicado a seguinte fórmula para obter a densidade de organismos por mililitro (org/mL):

$$\text{Densidade (org/mL)} = \text{contagem de organismos} \times 10^4/9$$

Em que:

Contagem de organismos= é o número total de organismos encontrados nos quadrantes  $10^4$  = fator de multiplicação para transformar o volume contado de  $\text{cm}^3$  para organismos por mL

9= corresponde ao número de quadrantes grandes contados

Para a cepa francesa, a contagem foi restrita aos cinco quadrantes menores localizados no interior do quadrante central maior da câmara (Figura 5b), sendo aplicado a seguinte fórmula para obter a densidade de organismos por mililitro (org/mL):

$$\text{Densidade (org/mL)} = \text{contagem de organismos} \times 50.000$$

Em que:

Contagem de organismos= é o número total de organismos encontrados nos cinco quadrantes pequenos no quadrante grande central

50.000 = fator de multiplicação para transformar o volume contado de  $\text{cm}^3$  para organismos por mL

Ao final do experimento, a biomassa foi colhida com o auxílio de peneiras com malhas de 10 e 20  $\mu\text{m}$  (Figura 6), confeccionadas manualmente no Laboratório (LACIM) para futuras análises.

**Figura 6** - Peneiras confeccionadas manualmente para colheita de biomassa.



Fonte: Autor, 2025

### **6.5 Análise da caracterização morfológica e morfométrica**

A análise da caracterização morfológica das duas cepas de *L. platensis* foi realizada por meio de observações microscópicas e pela obtenção de fotomicrografias. As imagens adquiridas foram utilizadas para a descrição detalhada das características diagnósticas de cada cepa, possibilitando a elaboração de pranchas ilustrativas contendo os principais caracteres observados.

Para a caracterização morfométrica das cepas, os valores obtidos foram submetidos ao cálculo de estatísticas descritivas, incluindo média, valor mínimo e valor máximo, a fim de descrever a amplitude de variação morfométrica entre os organismos analisados, com o auxílio do Excel.

### **6.6 Análise da performance das cepas em diferentes diluições e intensidades luminosas**

Os dados das contagens celulares de cada tratamento foram tabulados e organizados em planilhas no Microsoft Excel para realização da análise e aplicação da regressão linear, visando a determinação das curvas de crescimento.

As análises conduzidas possibilitaram monitorar as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento das microalgas, incluindo as fases de latência, crescimento exponencial, crescimento estacionário e declínio.

Para modelar o crescimento ao longo do tempo e comparação da densidade algal entre as cepas e as diferentes concentrações, empregou-se a regressão linear, possibilitando a estimativa dos seguintes parâmetros: Taxa de Crescimento Específico ( $\mu$ ); Tempo de Duplicação (T2); Produtividade Máxima (Pmax) e Fase log (Mazumdar *et al.*, 2018).

### 1) Taxa de Crescimento Específico

A taxa de crescimento específica descreve a velocidade de crescimento da biomassa por unidade de tempo (dia), durante a fase exponencial do crescimento, com a seguinte fórmula:

$$\mu = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1}$$

### 3) Tempo de Duplicação

O tempo de duplicação (T2) é o período necessário (em dias) para que uma população celular (ou organismo no caso do atual estudo) dobre em número ou biomassa. Ele pode ser calculado a partir da taxa específica de crescimento ( $\mu$ ), pela fórmula:

$$T_d = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

### 4) Produtividade Máxima:

A análise da produtividade máxima mostra a capacidade de multiplicação dos organismos, indicando quantos podem ser gerados a partir de um organismo por mL em um dia, o que corresponde ao ponto de maior inclinação da curva de crescimento (fase log), no qual a biomassa aumenta mais rapidamente, sua fórmula é:

$$P_{max} = \frac{N_{final} - N_{inicial}}{T_{final} - T_{inicial}}$$

Primeiramente, avaliou-se a normalidade da distribuição dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk, para identificar se os dados atendiam ao pressuposto de normalidade.

Considerando que as cepas apresentaram densidades celulares iniciais diferentes, os valores de produtividade máxima (Pmax) foram normalizados em função da densidade celular inicial (N inicial), resultando no parâmetro  $P_{max\_norm}$ . Essa normalização foi necessária para

possibilitar comparações estatísticas adequadas entre os tratamentos, evitando o viés causado pelas diferenças no inóculo inicial.

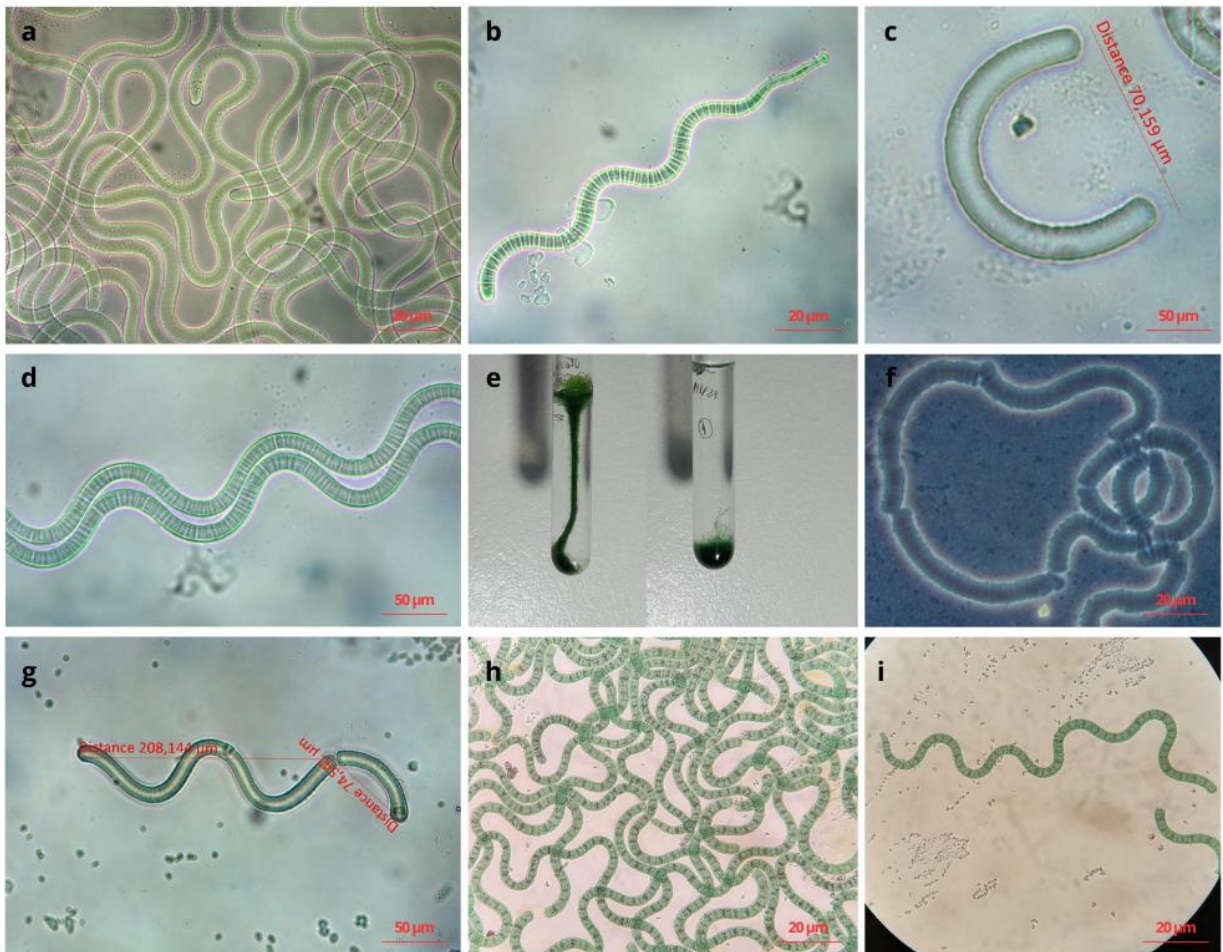
Foram realizadas análises de variância (ANOVA one-way, two-way e three-way) para avaliar diferenças significativas entre os tratamentos, considerando os fatores cepa, luminosidade e volume, bem como suas interações. Quando constatadas diferenças significativas, foram aplicados testes posteriores (pós-hoc), como o teste de Tukey, para identificar quais grupos diferiram entre si. Todas as análises estatísticas, testes de pressupostos e geração de gráficos foram conduzidos no ambiente R software (R Core Team, 2025), utilizando-se os pacotes tidyverse, car e emmeans.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Caracterização morfológica e morfométrica

A caracterização morfológica das duas cepas de *L. platensis* mostrou variações estruturais relevantes entre os organismos. A cepa *L. platensis* UTEX 1926 apresentou tricomas com constrictões, as quais aparecem claramente nos septos celulares (Figuras 7d-f). Os tricomas também apresentaram formação espiralada mais aberta (Figura 7b-d) e presença facultativa de caliptra nas células apicais (Figura 7b-c). A cepa apresentou hábito bentônico facultativo em cultivo. Não foram observados aerótopos (Figura 7a), nem envelope mucilaginoso (Figura 7d).

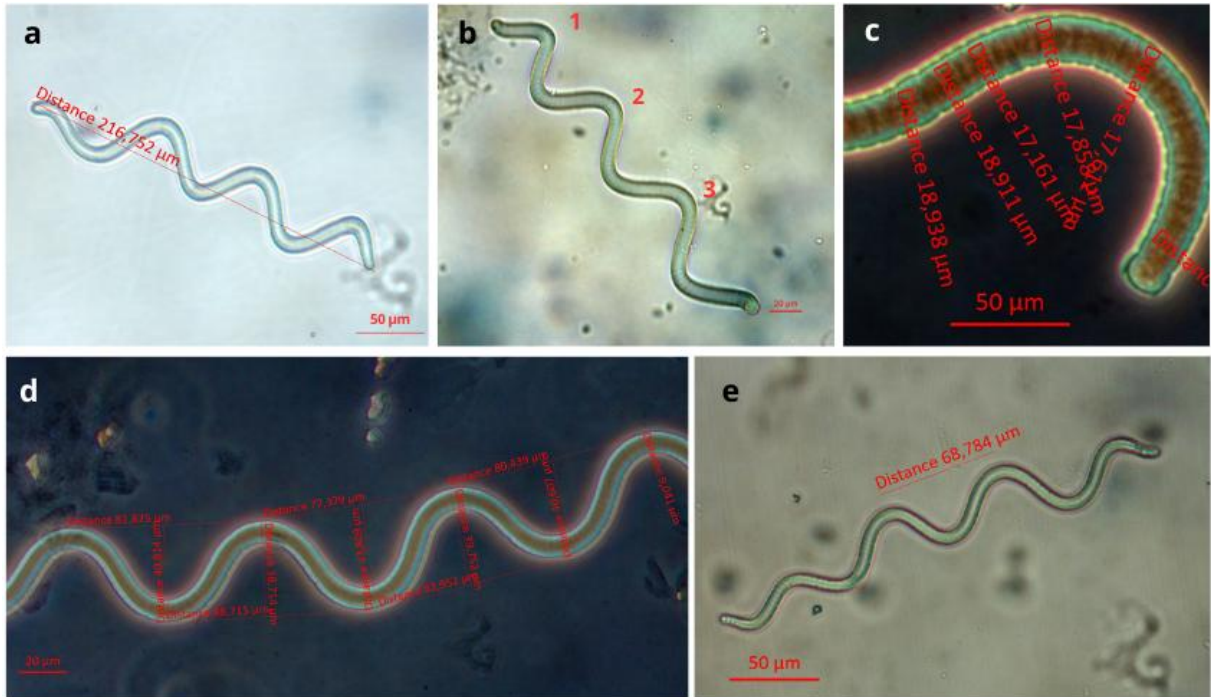
**Figura 7** - Caracterização morfológica da cepa *Limnospira platensis* UTEX 1926. a) Tricomas sem presença de aerótopos; b) Tricoma célula apical (presença de caliptra); c) Hormogônio (sem presença de caliptra); d) Tricoma sem presença de envelope mucilaginoso; e) Hábito bentônico e planctônico; f) Constrictão celular visível; g) Ciclo de vida de *L. platensis* (Hormogônio); h) Observação das divisões das células- septos; i) Célula heteropolar facultativa.



Fonte: Autor, 2025

Na caracterização morfométrica da cepa UTEX 1926 (Figura 8), o comprimento total dos tricomas apresentou média de 522,0  $\mu\text{m}$ , largura celular 11,4  $\mu\text{m}$  e o comprimento celular de 4,34  $\mu\text{m}$ . A média de espirais por tricoma foi de 6, com distância média entre as espirais de 97,9  $\mu\text{m}$  e altura média das espirais de 52,2  $\mu\text{m}$ .

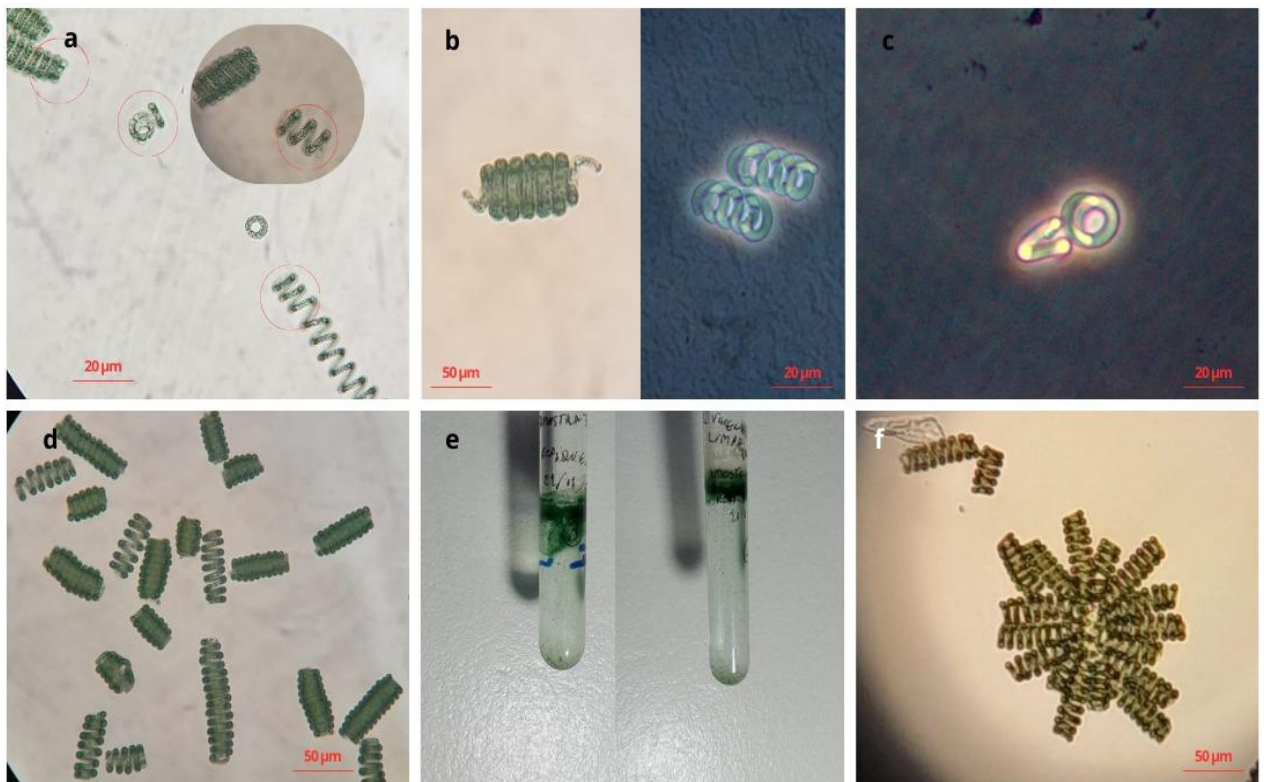
**Figura 8** - Medidas da cepa *Limnospira platensis* UTEX 1926. a) comprimento total dos organismos individual; b) número de espirais por tricoma; c) largura e comprimento das células; d) altura e distância das espirais; e) distância das espirais.



Fonte: Autor, 2025

A cepa Varennes apresentou tricomas mais espiralados, ou seja, espirais mais fechadas, sem constrição visível (figura 9c). A cepa apresentou aerótopos (Figura 9a), e células isopolares, com extremidades iguais ou semelhantes (Figura 9b-d). Não foi observado envelope mucilaginoso (Figura 9d-f), nem caliptra nas células apicais (Figura 9b-f). A cepa apresentou hábito planctônico em cultivo (figuras 9e).

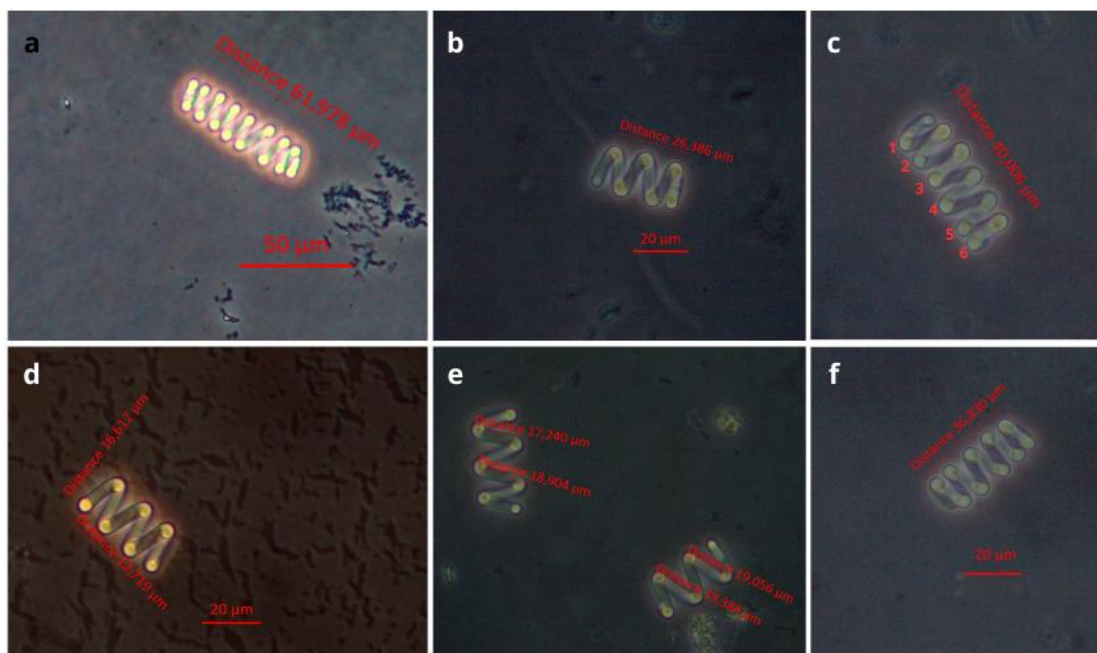
**Figura 9** - Caracterização morfológica da cepa *Limnospira platensis* Varennes. a) Presença de aerótopos; b) Célula apical (sem presença de caliptra); c) Hormogônio (quebra de célula); d) sem presença de envelope mucilaginoso; e) Hábito planctônico; f) Constrição celular visível;



Fonte: Autor, 2025

Na caracterização morfométrica da cepa Varennes (Figura 10), o comprimento total dos tricomas apresentou média de 29,8 µm, largura celular de 3,9 µm e o comprimento celular de 2,54 µm. A média de espirais por tricoma foi de 3, com distância média entre espirais de 9,2 µm e altura média das espirais de 15,5 µm.

**Figura 10** - Medidas microscópicas da cepa Varennes a e b) comprimento total dos organismos; c) número de espirais por tricomas; d e e) altura e distância das espirais; f) comprimento total do organismo.



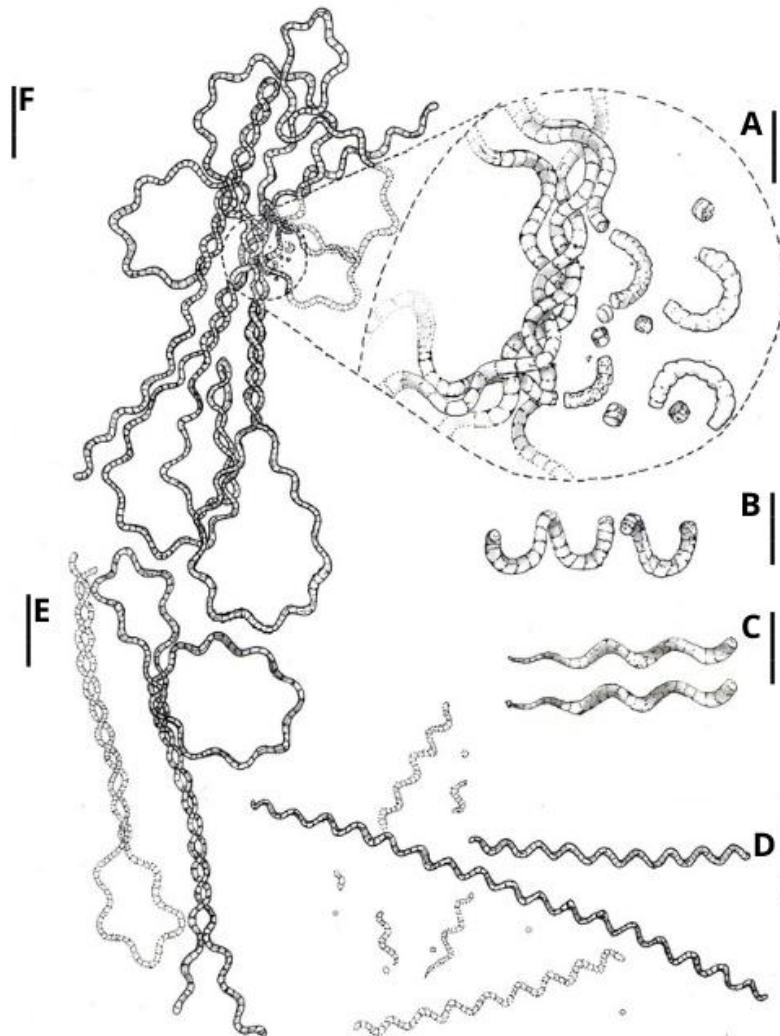
Fonte: Autor, 2025

## 7.2 Ciclo de vida das cepas de *Limnospira platensis*

O ciclo de vida de *L. platensis* Utex 1926 foi acompanhado ao longo de 15 dias, permitindo a observação e registro ilustrado das diferentes fases do seu desenvolvimento (Figura 11).

O ciclo de vida da *L. platensis* inicia-se com a fragmentação de tricomas maiores, frequentemente, associada à presença de células mortas (Figura 11a). A partir desse processo ocorre a formação de hormogônios, os quais representam a fase exata de multiplicação e aumento do número de indivíduos. Os hormogônios podem originar-se tanto da quebra e dispersão de células individuais quanto da fragmentação de tricomas maiores, sendo ambas as formas consideradas equivalentes nesse estágio (Santos; Sant'Anna *et al*, 2010).

**Figura 11** – Ciclo de vida *Limnospira platensis*. a) quebra dos tricomas, b) hormogônios e formação de espirais, c) caliptra facultativa, d) tricomas mais desenvolvidos, e - f) tricomas grandes e aglomerados (fase log).



Fonte: Ilustrado por Mariellen Negrão, 2025.

Na segunda fase do ciclo de desenvolvimento, ocorre o crescimento dos hormogônios (Figura 11b), momento em que se inicia a organização das primeiras espirais, geralmente com uma a duas voltas. Na terceira fase, observa-se o aumento progressivo do comprimento dos tricomas e do número de espirais, sendo possível identificar a presença facultativa da caliptra, ou seja, os organismos podem ou não desenvolver ou formar caliptra na célula apical (figura 11c).

A quarta fase (Figura 11d) caracteriza-se pela formação de tricomas com 6 a 12 ou mais espirais, apresentando organismos em diferentes estágios de desenvolvimento, com variações de tamanho. Por fim, na última fase, inicia-se o ciclo novamente (Figuras 11e-f), os tricomas atingem elevado grau de desenvolvimento, exibindo 24 ou mais espirais, com dimensões consideravelmente superiores em relação às fases anteriores.

A caracterização morfométrica para avaliar o ciclo de vida permitiu também a observação da variação da dimensão dos organismos em todas as suas fases de desenvolvimento. Para tal foi calculado a média, o mínimo e máximo de cada parâmetro, conforme pode ser observado nas Tabela 1 e 2.

A cepa UTEX 1926, apresentou variação do comprimento total com média de 341,8 a 697,6  $\mu\text{m}$ , largura celular média de 7,3 a 27,8  $\mu\text{m}$ , comprimento celular de 1,9 a 12,4  $\mu\text{m}$ . A média de espirais por tricoma variou de 4 a 10, a altura das espirais variou de 38,5  $\mu\text{m}$  a 85,8 $\mu\text{m}$ , e a distância das espirais variou de 61 a 154,6  $\mu\text{m}$ , conforme tabela 1.

**Tabela 1** - Caracterização morfométrica da cepa UTEX 1926 (média, mínimo e máximo).

UTEX 1926	Comprimento da célula ( $\mu\text{m}$ )	Largura da célula ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento total ( $\mu\text{m}$ )	Espirais por tricoma	Distância das espirais ( $\mu\text{m}$ )	Altura das espirais ( $\mu\text{m}$ )
Dia 1	12,4 (6,2 - 21,6)	27,8 (24,0 - 35,5)	568,3 (83,7 - 983,2)	7,5 (2 - 15)	146,6 (67,1 - 264,4)	78,5 (36,5 - 133,5)
Dia 2	3,4 (1,6 - 6,9)	7,3 (4,5 - 13,2)	456,9 (98,9 - 1172,4)	6,3 (1 - 17)	71 (59,6 - 80,6)	41,1 (31,9 - 51,0)
Dia 3	2,7 (1,5 - 4,9)	7,4 (5,7 - 9,5)	655,5 (105,0 - 2156,7)	7,7 (1 - 16)	61 (17,8 - 87,4)	40 (29,7 - 62,4)
Dia 4	2,8 (1,8 - 3,8)	9 (7,0 - 10,8)	469,6 (31,8 - 1487,4)	4,7 (1 - 13)	71,2 (59,1 - 100)	38,5 (22,6 - 55,5)
Dia 5	2,9 (1,5 - 4,9)	8,4 (7,0 - 10,5)	402,4 (101,0 - 885,6)	5,6 (2 - 11)	64,3 (50,9 - 80,1)	38,7 (31,2 - 48,9)
Dia 6	3,4 (1,2 - 2,9)	10,4 (2,5 - 15,6)	463,9 (75,5 - 1475,5)	4, (1 - 14)	113 (73,3 - 239,6)	58,6 (34,5 - 106,6)
Dia 7	3,9 (2,3 - 6,5)	10,3 (6,9 - 13,4)	341,8 (103,5 - 661,9)	3,2 (1 - 6)	104,7 (73,0 - 191,7)	60,1 (40,2 - 109,8)
Dia 8	4,1 (2,6 - 7,3)	13,4 (9,3 - 23,9)	527,2 (135,4 - 1478,9)	5,5 (1 - 17)	144,5 (58,4 - 230,4)	85,8 (44,7 - 122,3)
Dia 9	2,9 (2,0 - 5,0)	8,8 (7,8 - 10,5)	636,0 (137,6 - 1512,8)	7,9 (1 - 20)	82,8 (34,4 - 104,6)	40,6 (34,4 - 49,2)
Dia 10	3,5 (1,6 - 3,0)	8,5 (7,3 - 9,4)	390,1 (79,9 - 975,3)	5,5 (1 - 13)	116,5 (57,7 - 195,7)	63 (33,2 - 107,0)
Dia 11	1,9 (1,0 - 3,0)	8,3 (5,7 - 10,0)	697,6 (258,2 - 1402,3)	10,3(3 - 24)	74,3 (63,4 - 101,9)	41,4 (34,4 - 48,9)
Dia 12	3,5 (1,2 - 6,5)	9,3 (7,6 - 11,7)	560,6 (193,0 - 1222,5)	6,9 (2 - 16)	87,5 (44,8 - 115,4)	34,7 (25,4 - 44,8)
Dia 13	3,4 (2,1 - 4,8)	8,1 (6,4 - 10,6)	578,9 (218,3 - 1280,9)	5,8 (2 - 12)	71,5 (37,9 - 91,3)	40,5 (34,3 - 47,4)
Dia 14	7,1 (4,0 - 10,0)	18,5 (17,1 - 20,2)	579,8 (173,1 - 1032,3)	7 (3 - 12)	105,4 (59,6 - 169,3)	55,8 (31,9 - 101,4)

<b>Dia 15</b>	6,5 (4,0 - 10,6)	16,2 (12,9 - 22,2)	501,9 (108,7 - 1083,1)	4,9 (1 - 12)	154,6 (84 - 259,5)	64,2 (36,9 - 105,3)
---------------	------------------	--------------------	------------------------	--------------	--------------------	---------------------

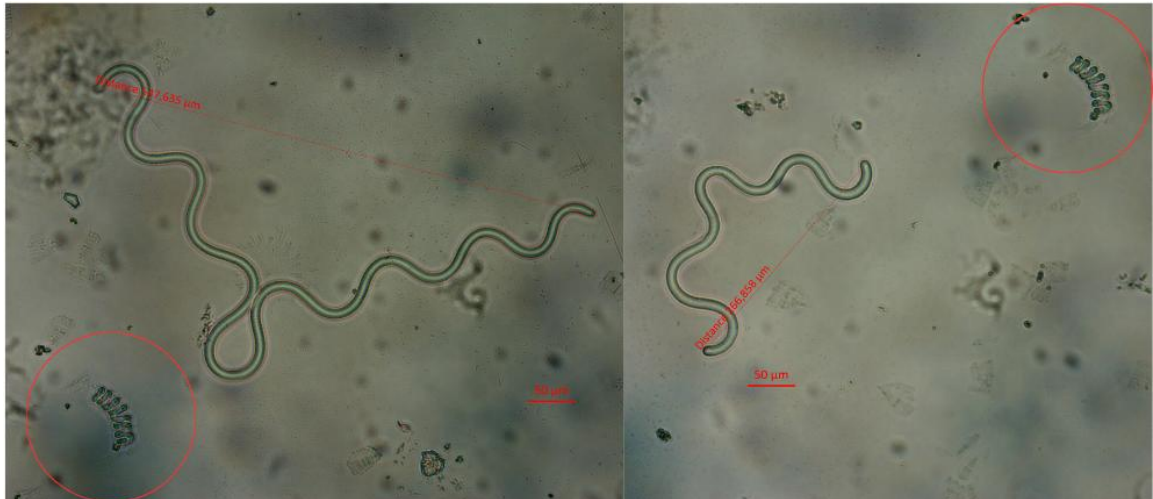
Para a cepa Varennes, o comprimento total variou com média de 22,1 a 39,7  $\mu\text{m}$ , a largura celular de 3,9 a 4,0  $\mu\text{m}$ , o comprimento celular de 2,3 a 2,7  $\mu\text{m}$ . A média de espirais por tricoma variou de 3 a 4. A altura das espirais variou de 6,5  $\mu\text{m}$  a 17,4  $\mu\text{m}$ , e a distância das espirais variou de 7,6 a 15,7  $\mu\text{m}$ , conforme tabela 2.

**Tabela 2** - Caracterização morfométrica da cepa *L. platensis* Varennes (média, mínimo e máximo).

<b>Varennes</b>	<b>Comprimento da célula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Largura da célula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Comprimento total (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espirais por tricoma</b>	<b>Distância das espirais (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Altura das espirais (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>Dia 1</b>	0,0	0,0	31,4 (18,5 - 49,5)	3,7 (2 - 7)	15,7 (11,6 - 19,5)	6,5 (3,9 - 14,5)
<b>Dia 2</b>	0,0	0,0	34,7 (17,6 - 61,9)	3,7 (1 - 8)	7,6 (3,9 - 13,4)	16,7 (13,9 - 19,9)
<b>Dia 3</b>	0,0	0,0	39,4 (23,9 - 63,4)	2,5 (1 - 5)	8,3 (3,3 - 16,2)	14,4 (8,3 - 18,6)
<b>Dia 4</b>	0,0	0,0	39,7 (24,4 - 86,5)	3,4 (2 - 8)	10,0 (4,5 - 15,5)	17,9 (11,5 - 39,5)
<b>Dia 5</b>	0,0	0,0	30,3 (13,6 - 47,3)	3,0 (2 - 5)	8,9 (5,3 - 14,4)	15,6 (16,6 - 18,2)
<b>Dia 6</b>	0,0	0,0	22,1 (13,0 - 37,3)	2,9 (2 - 5)	8,8 (3,3 - 14,4)	15,2 (13,5 - 17,5)
<b>Dia 7</b>	0,0	0,0	30,8 (18,3 - 51,4)	2,8 (2 - 4)	10,1 (4,3 - 16,6)	17,0 (14,0 - 20,0)
<b>Dia 8</b>	0,0	0,0	30,9 (18,0 - 43,7)	3,1 (2 - 6)	9,8 (4,6 - 17,8)	16,9 (13,4 - 20,8)
<b>Dia 9</b>	0,0	0,0	32,6 (21,7 - 67,7)	3,3 (1 - 7)	9,5 (5,6 - 15,0)	16,8 (14,6 - 19,7)
<b>Dia 10</b>	0,0	0,0	26,1 (11,3 - 40,6)	3,0 (2 - 5)	7,8 (4,5 - 14,2)	14,9 (7,3 - 19,0)
<b>Dia 11</b>	0,0	0,0	26,7 (15,4 - 51,7)	3,3 (2 - 7)	8,4 (3,1 - 14,5)	16,1 (13,3 - 19,5)
<b>Dia 12</b>	0,0	0,0	25,1 (11,4 - 48,7)	3,1 (2 - 6)	8,3 (4,4 - 12,9)	16,2 (13,2 - 23,9)
<b>Dia 13</b>	0,0	0,0	23,0 (12,0 - 35,2)	3,2 (2 - 8)	8,9 (1,9 - 17,3)	17,4 (10,6 - 33,0)
<b>Dia 14</b>	2,3 (1 - 4)	3,9 (3,2 - 4,6)	28,0 (14,4 - 41,2)	3,9 (2 - 6)	8,4 (4,6 - 12,9)	14,7 (13,4 - 17,2)
<b>Dia 15</b>	2,7 (1,5 - 5)	4,0 (2,8 - 5,3)	26,5 (16,4 - 43,7)	3,5 (1 - 5)	7,4 (4,1 - 12,8)	15,6 (13,5 - 17,8)

Através da morfometria, observou-se que existe diferença na dimensão individual nos tamanhos dos organismos de cada cepa (Figura12). O comprimento total máximo para a cepa UTEX 1926 foi de 2156,7  $\mu\text{m}$ , quanto para a cepa Varennes o comprimento total máximo foi de 86,5. Os valores mínimos de 31,8  $\mu\text{m}$  para a UTEX 1926 e 11,3  $\mu\text{m}$  para a Varennes, refletem diferenças expressivas no tamanho dos tricomas e na integridade dos filamentos, indicando plasticidade morfométrica independente do estágio de desenvolvimento de cada cepa.

**Figura 12** – Cepa *L. platensis* UTEX 1926 (filamento maior) e cepa *L. platensis* Varennes (filamento menor no círculo vermelho).



Fonte: Autor, 2025

### 7.3 Experimento das diferentes condições e determinação das taxas de crescimento

Ao término do cultivo simultânea das cepas UTEX 1926 e Varennes, a biomassa foi colhida e armazenada para análises posteriores (Figura 13c-e). Durante a colheita, observou-se a presença de pigmentação característica, destacando-se a ficocianina, pigmento azul (Figura 13f).

**Figura 13** - Experimento simultâneo das diferentes condições de cultivo e colheita final da biomassa.



Fonte: Autor, 2025

Os parâmetros taxa de crescimento específico ( $\mu$ ), o tempo de duplicação (T2), a produtividade máxima (Pmax) e o intervalo correspondente à fase logarítmica de crescimento (dias) foram utilizados para comparar a performance das duas cepas. A maior produtividade máxima registrada foi da cepa Utex 1926 no tratamento de 50% de diluição e 10 watts (Pmax = 95,3). Este resultado significa que, na fase exponencial de crescimento desta cepa, cada organismo pode gerar até 95,3 novos organismos por mL em um dia. No entanto, este mesmo tratamento apresentou taxa de crescimento específico mais baixa ( $\mu = 0,10 \text{ dia}^{-1}$ ) com um T2 = 6,8 dias (Tabela 3).

**Tabela 3-** Média dos parâmetros de crescimento para as cepas Utex 1926 e Varennes nos diferentes tratamentos.

TRATAMENTOS	$\mu$	T2	Pmax	Fase log (dias)
Utex (50% 10w)	0,10	6,8	95,3	28 - exp
Utex (50% 20w)	0,09	7,9	73,3	24 - 28
Utex (75% 10w)	0,22	3,2	94,7	4 - 8; 24 - exp
Utex (75% 20w)	0,14	5,0	71,0	2 - 8; 14 - 20
Varennes (50% 10w)	0,13	5,4	23,6	14 - 24
Varennes (50% 20w)	0,11	6,0	12,5	14 - 22
Varennes (75% 10w)	0,12	5,7	18,0	14 - 24
Varennes(75% 20w)	0,09	7,4	12,1	2 - 24

Legenda:  $\mu$ = taxa de crescimento específico (dia<sup>-1</sup>); T2= tempo de duplicação (dia<sup>-1</sup>); Pmax= Produtividade máxima (org/mL/dia/org); Log= Fase exponencial (dias em que foi detectada a fase log durante o experimento).

A cepa Utex, no tratamento de 75% de diluição e 10 watts, apresentou o menor tempo de duplicação (T2 = 3,2 dias) e a maior taxa de crescimento específico ( $\mu = 0,22 \text{ dia}^{-1}$ ), indicando rápido crescimento celular. Esse tratamento também apresentou valores elevados de produtividade máxima (Pmax = 94,7).

Nos tratamentos com 20 watts, a cepa Utex apresentou menor produtividade máxima (Pmax = 73,3 e 71,0) e taxas de crescimento específico variando entre  $\mu = 0,09$  e  $0,14 \text{ dia}^{-1}$ . Além disso, o tempo de duplicação foi mais longo (T2 = 7,9 e 5,0 dias) em comparação aos tratamentos com 10 watts. Esses resultados indicam que a maior intensidade luminosa (20 watts) não favoreceu o desempenho da cepa.

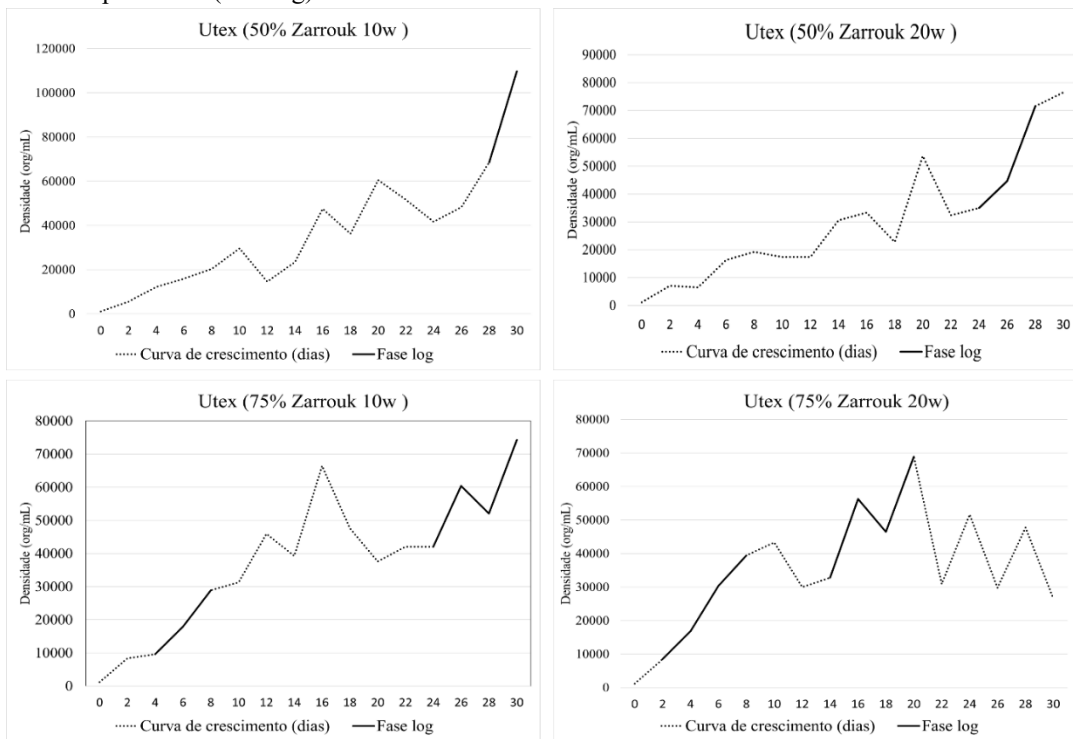
Os parâmetros de crescimento da cepa Varennes, apresentaram valores significativamente menores ( $p < 0,05$ ). O tratamento de 50% de meio diluído e 10 watts, foi o que apresentou maior produtividade máxima para esta cepa (Pmax= 23,6), com maior taxa de crescimento específico ( $\mu = 0,13 \text{ dia}^{-1}$ ) e (T2= 5,4 dias).

O tratamento de 75% de meio diluído e 10 watts mostrou o segundo maior valor de produtividade para esta cepa (Pmax= 18,0), com taxa  $\mu = 0,12 \text{ dia}^{-1}$  e tempo de duplicação de T2 = 5,7 dias.

Nos tratamentos de 20 watts, a cepa Varennes apresentou menores valores de produtividade máxima ( $P_{max} = 12,1$  e  $12,5$ ), a taxa de crescimento específico teve variação de  $\mu = 0,11$  e  $0,09 \text{ dia}^{-1}$ , além de tempos de duplicação mais longos ( $T_2 = 6,0$  e  $7,4$  dias) em comparação ao tratamento de 10 watts.

Para observar o crescimento exponencial das cepas foram plotados gráficos na forma de curvas de crescimento ao longo de 30 dias, nas quais pode-se observar a o crescimento exponencial (fase log) para cada cepa. No tratamento de 50% diluído e 10 watts da cepa Utex, observou-se crescimento gradual ao longo dos primeiros 20 dias, seguido de um aumento expressivo da densidade celular próximo ao final do experimento, alcançando valores superiores a  $100.000 \text{ org/mL}$  (Figura 14). A fase exponencial para esta cepa foi mais evidente entre os dias 28 e final do experimento, este tratamento manteve o crescimento exponencial após os 30 dias.

**Figura 14** - Curvas de crescimento dos diferentes tratamentos cepa UTEX 1926 com indicação da fase de crescimento exponencial (fase log).



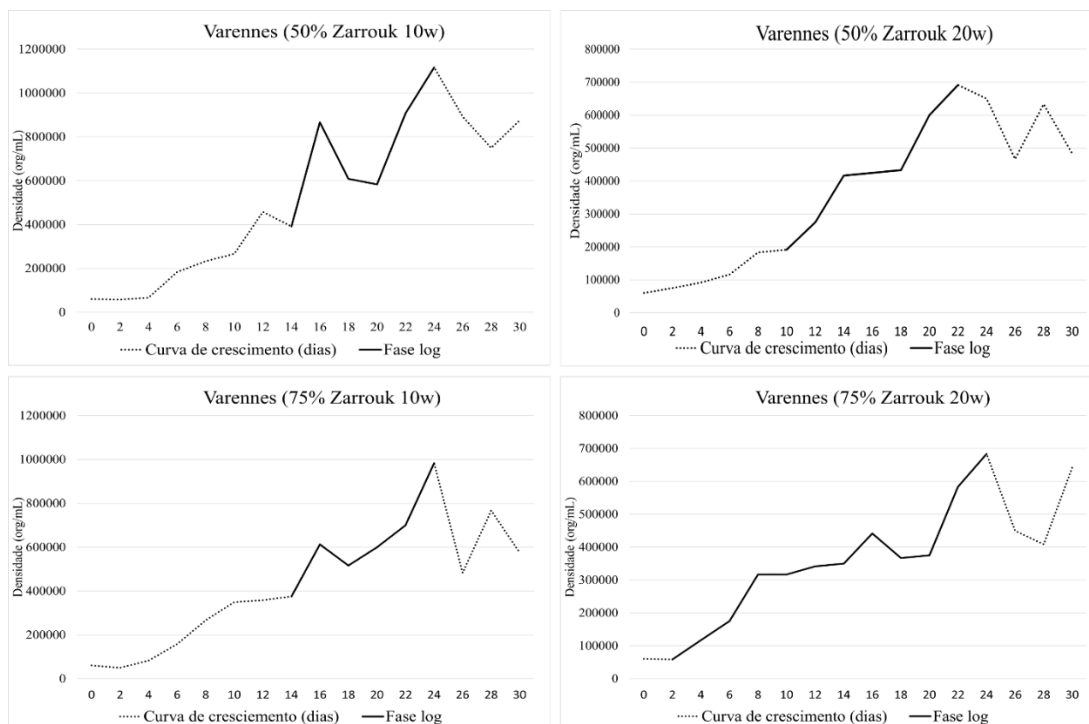
Para o tratamento de 50% diluído e 20 watts da cepa Utex, a densidade celular apresentou crescimento mais lento, mas contínuo, atingindo aproximadamente  $80.000 \text{ org/mL}$  no 30º dia. A fase logarítmica para esta cepa ocorreu entre os dias 24 e 28, indicando atraso no estabelecimento do crescimento exponencial em comparação ao tratamento com 10 watts.

A curva de crescimento da cepa Varennes, nos tratamentos de 75% de diluição e 10 watts, apresentou rápido aumento da densidade celular nos primeiros dias, com duas fases logarítmicas bem definidas: a primeira entre os dias 4 e 8, e a segunda entre 24 e o final do cultivo. O pico de densidade atingiu cerca de 73.000 org/mL.

Por fim, no tratamento de 75% de diluição e 20 watts da cepa Varennes, verificou-se crescimento mais irregular, com oscilações na densidade celular a partir do 14º dia. A fase logarítmica inicial ocorreu entre os dias 2 e 8, seguida de uma nova fase entre os dias 14 e 20. O valor máximo observado foi próximo a 70.000 org/mL, mas com forte instabilidade no final do cultivo.

A cepa Varennes apresentou comportamento e fase log diferentes em comparação com a cepa Utex. No tratamento com 50% do meio diluído e 10 watts, observou-se um crescimento inicial lento até o 10º dia, seguido de um aumento expressivo da densidade celular, alcançando valores próximos a 100.000 org/mL por volta do 24º dia. No entanto, após esse pico, a densidade reduziu, indicando possível entrada na fase estacionária (Figura 15).

**Figura 15** - Curvas de crescimento dos diferentes tratamentos cepa Varennes com indicação da fase de crescimento exponencial (fase log).



O tratamento com o meio 50% diluído e 20 watts, a curva mostrou um padrão de crescimento contínuo, com a fase logarítmica se estendendo até o 22º dia, atingindo densidade máxima em torno de 700.000 org/mL, seguida de oscilações que sugerem alternância entre fases estacionária e declínio.

Nos cultivos com 75% do meio diluído e 10 watts, a cepa Varennes exibiu crescimento consistente, alcançando densidades próximas a 100.00 org/mL no 24º dia, com fase log entre o 10º e o 22º dia. Contudo, a curva também apresentou oscilações posteriores, sugerindo instabilidade após o pico de crescimento.

Já no tratamento de 75% diluído e 20 watts, o crescimento foi mais moderado, atingindo um máximo de aproximadamente 700.000 org/mL no 24º dia. Nesse tratamento, a fase log foi mais definida e prolongada, demonstrando que essa combinação favoreceu maior estabilidade do crescimento, embora sem atingir densidades tão elevadas quanto em 10W.

#### 7.4 Comparação entre as cepas

A análise de ANOVA mostrou diferenças significativas entre as cepas Utex 1926 e Varennes, e entre as intensidades luminosas de 10 e 20 watts. Para os demais parâmetros ( $\mu$  e T2) não houve diferenças significativas (Tabela 4).

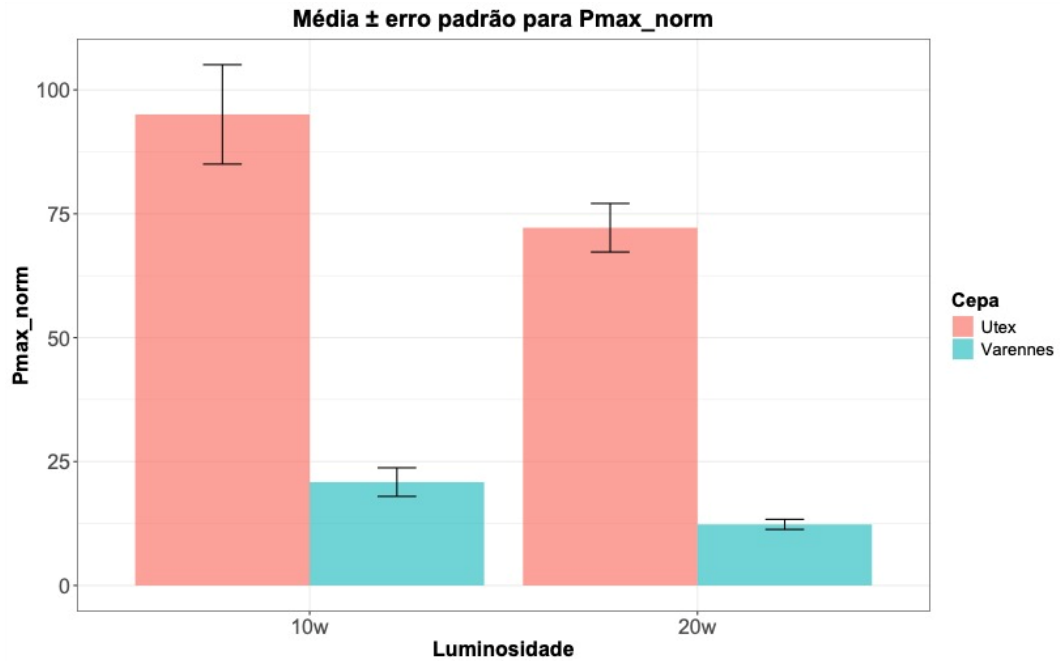
**Tabela 4-** Resultados teste ANOVA entre os diferentes tratamentos (valores de p).

<b>Parâmetros</b>	<b>(<math>\mu</math>)</b>	<b>(T2)</b>	<b>(Pmax)</b>
Cepa	0,24	0,08	1,52 e-08 *
Diluição	0,41	0,84	0,73
Intensidade luminosa	0,41	0,47	0,02*
Cepa x diluição	0,85	0,67	0,9
Cepa x intensidade luminosa	1,00	0,46	0,28
Diluição x intensidade luminosa	0,37	0,27	0,88
Cepa x diluição x intensidade luminosa	0,78	0,69	0,79

**\*Valores com diferenças significativas**

A análise do parâmetro produtividade máxima revelou diferenças significativas entre as cepas e intensidades luminosas testadas (Gráfico 1). A cepa Utex apresentou valores significativamente superiores em comparação com a cepa Varennes ( $p < 0,05$ ), independentemente da intensidade luminosa testada e diluição do meio de cultivo.

**Gráfico 1** - Comparação da produtividade máxima entre as cepas *L. platensis* Utex 1926 e *L. platensis* Varennes sob diferentes intensidades luminosas (10 W e 20 W).



A cepa Utex nos tratamentos 10 watts, apresentaram valores superiores em relação tratamento de 20 watts. Sob 10 watts, a Utex alcançou a maior produtividade máxima média (~95,0), enquanto sob 20 watts houve redução, mas ainda mantendo valores elevados (~72,1). Já a cepa Varennes não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os níveis de intensidade luminosa. Para os tratamentos de 10 watts a produtividade média foi de ~20,8 e ainda menores sob 20 watts (~12,3). Esses resultados indicam que a cepa Utex possui maior potencial produtivo e melhor aproveitamento da luminosidade em condições de menor intensidade, enquanto a cepa Varennes apresenta desempenho limitado, independentemente, da intensidade luminosa. Assim, a Utex destaca-se como a cepa que apresentou melhor adaptação as diferentes variações dos tratamentos.

## 8 DISCUSSÃO

### Caracterização morfológica e morfométrica

A comparação entre as cepas de *L. platensis* revelou diferenças morfológicas relevantes, como por exemplo o comprimento total dos organismos da cepa Varennes é em média equivalente à altura das espirais observadas na cepa UTEX 1926, destacando a grande diferença nas dimensões entre as duas cepas (Figura 12). Além disso, a cepa UTEX se destacou pelo comportamento bentônico e pelas espirais mais abertas, enquanto a cepa Varennes evidenciou hábito planctônico, espirais mais compactas, semelhantes a uma mola e grande quantidade de aerótopos. A ausência de aerótopos na cepa UTEX está relacionada ao seu hábito bentônico, enquanto a presença dessas vesículas gasosas justifica o hábito planctônico da cepa Varennes, uma vez estas estruturas são ligadas à flutuação, ou talvez possam acumular ar entre as espirais que são mais fechadas, similares a molas.

Na caracterização morfométrica, ambas as cepas demonstraram plasticidade nas medidas ao longo dos dias de cultivo, variação que pode estar relacionada ao crescimento natural que ocorre ao longo do ciclo de vida. A fase inicial desse ciclo é marcada pela fragmentação e multiplicação celular, momento em que há maior ocorrência de células mortas e consequente formação de hormogônios, responsáveis pelo aumento no número de indivíduos. Esse comportamento também foi descrito para *Arthrospira platensis* em estudos anteriores (Santos; Sant'Anna, 2010; Malone *et al.*, 2010).

Vale ressaltar que o ciclo de vida da *L. platensis*, representado em ilustração neste estudo, foi registrado a partir de observações microscópicas, possibilitando uma atualização da descrição específica para essa cepa. Nos trabalhos clássicos de Ciferri (1985) e Balloni (1980), o ciclo de vida do gênero *Arthrospira*, único registro da descrição do ciclo de vida desse organismo, é caracterizado pela fragmentação do tricoma em diferentes partes, ocorrendo em pontos de células especializadas, denominadas necrídios. No entanto, em nossas análises não foi registrada a presença de necrídios durante o ciclo de desenvolvimento da *L. platensis* cepa UTEX 1926, o que reforça a importância desse registro específico do ciclo de vida para essa espécie, evidenciando possíveis diferenças morfológicas e fisiológicas entre os gêneros *Arthrospira*, *Limnospira* e outros gêneros.

Outro aspecto relevante observado foi a presença de caliptra, considerada uma característica de *L. platensis*. Entretanto, na cepa UTEX 1926, a presença dessa estrutura mostrou-se facultativa, uma vez que não houve formação de caliptra nos hormogônios. Esse

achado sugere que a caliptra pode não se desenvolver em todos os estágios do ciclo ou em todos os fragmentos, podendo estar associada a condições específicas de cultivo, ao tipo celular ou a fases distintas do crescimento.

De acordo com Nowicka-krawczyk *et al.* (2018), *A. platensis* foi descrita como um organismo bentônico no Uruguai, apresentando caliptras raras, pequenas e pouco perceptíveis, geralmente arredondadas e provavelmente sem aerótopos. Nesse contexto, a presença de caliptra facultativa observada na cepa UTEX 1926 reforça sua proximidade com *Limnospira* de acordo com Santos *et al.* (2023). Além disso, é importante mencionar que a cepa UTEX 1926 é um clone da cepa de referência para a espécie *L. platensis* que está depositada na Coleção de Cianobactérias do Instituto Pasteur na França com o registro PCC7345. Tal variação morfológica pode indicar plasticidade adaptativa e reforça a importância da melhor compreensão da biologia e do ciclo de vida da *Limnospira*.

A cepa Varennes apresentou características morfológicas distintas em relação à cepa UTEX 1926, reconhecida na literatura como *L. platensis*. Enquanto a UTEX confirma as características da espécie, a cepa Varennes exibiu dimensões celulares entre 3 e 4 µm de largura e presença de aerótopos, traços geralmente associados ao gênero *Arthrospira* (Sinetova *et al.*, 2024). Contudo, a presença dessas características não é suficiente para confirmar sua classificação como *Arthrospira*, visto que variações morfológicas podem ocorrer em função de condições ambientais ou até de diversidade intraespecífica.

Vale ressaltar que esta cepa é originária de uma fazenda de produção na França, onde sua identificação não é descrita. Assim, torna-se necessário realizar estudos complementares, especialmente de natureza molecular e filogenética, para esclarecer se a cepa Varennes é um caso de diversidade fenotípica dentro de *L. platensis*, ou se é uma possível variação próxima ao gênero *Arthrospira*.

### **Cultivo em diferentes diluições e intensidade luminosa**

A comparação dos parâmetros de crescimento das cepas UTEX 1926 e Varennes sob diferentes diluições do meio Zarrouk e intensidades luminosas evidenciou diferenças significativas no desempenho produtivo entre elas. A cepa UTEX apresentou melhor desempenho, especialmente sob intensidade luminosa de 10 watts, enquanto a cepa Varennes não apresentou variações relevantes em função da luminosidade.

Visto que houve diferença significativa na produtividade máxima entre as cepas, com a Utex 1926 atingindo Pmax 95,3 para Utex, e 23,6 para Varennes, evidenciou-se o maior potencial produtivo a cepa Utex 1926. A luminosidade influenciou especialmente a Utex, na qual 10 watts favoreceram maiores taxas de crescimento e produtividade, enquanto 20 W resultou em crescimento irregular e valores reduzidos de Pmax. Isso expressa a diferença significativa de produtividade entre as cepas para os diferentes níveis de intensidade luminosa.

A influência da luminosidade foi particularmente relevante para o cultivo da cepa Utex 1926. Os tratamentos com 10 watts favoreceram maiores taxas de crescimento e produtividade em relação a 20 watts. A influência da luz no cultivo da Utex corrobora estudos que demonstram que intensidades menores tendem a favorecer a fotossíntese e o crescimento, enquanto níveis excessivos podem gerar estresse foto-oxidativo e reduzir a produtividade da biomassa (Muliterno *et al.*, 2005). Este efeito oxidativo foi registrado nos tratamentos de 20 watts, no qual os organismos cultivados apresentaram característica de cor amarelada, cor relacionadas a foto-oxidação (FOX, 1999, p. 54). A alteração do pigmento pode comprometer a integridade do organismo, reduzindo ou até eliminando a função da antena na captura de fótons e, conseqüentemente, a atividade fotossintética. (Jung *et al.*, 2023).

Os diferentes tratamentos de diluição do meio de cultivo não apresentaram diferença significativa entre si. Visto isso, a cepa Utex 1926, com diluição de 75% favoreceu um crescimento rápido, evidenciado por duas fases logarítmicas bem definidas, especialmente quando cultivada sob intensidade luminosa de 10 watts. Isso demonstra que formulações mais concentradas não são necessariamente vantajosas para esta espécie. No estudo de Delrue *et al.* (2017), o meio Zarrouk modificado diluído a 20% apresentou as maiores taxas de crescimento e produtividade média até o 21º dia, embora com declínio mais precoce no peso seco após o dia 20, enquanto a 50% mostrou desempenho semelhante, mas mais estável ao longo do tempo. Isso corrobora e indica que a redução da concentração do meio pode manter a produtividade e, ao mesmo tempo, reduzir custos de cultivo. Estes resultados são de grande relevância, mostrando que a produtividade da *L. platensis* pode ser otimizada utilizando meio de cultivo mais diluído. No entanto, recomendamos que seja realizada análise qualitativa complementar para verificar se a qualidade da biomassa é semelhante entre as diluições de 50% e 75%.

Vale ressaltar que, o experimento de todos os tratamentos foi mantido em temperatura contante de 24°C, fator ambiental que pode influenciar na produção da biomassa das cepas. No estudo de Santos *et al.* (2024), avaliando diferentes intensidades luminosas e temperaturas, observou-se que a 25 °C ocorreu o maior rendimento celular, cerca de duas vezes superior ao

obtido a 30 °C e 17 vezes maior que a 35 °C. Esses resultados indicam que temperaturas mais elevadas limitam o crescimento, além de evidenciarem que a intensidade luminosa influencia diretamente a produtividade da biomassa de *Limnospira platensis*. Fatores ambientais e climáticos apresentam grande influência na produção de biomassa, proteína, lipídios, intensidades luminosas e temperatura irregular podem ter efeito negativo na produção de biomassa (Colla *et al.*, 2007). A temperatura constante de aproximadamente 24 °C, luminosidade natural regular entre 10 e 15 watts, condições testadas no cultivo das cepas neste estudo, mostraram-se relevantes para a maximização da produtividade de biomassa de *L. platensis*. Ressalta-se que a intensidade de 10 watts simulou a luz natural, sugerindo que tais condições podem ser consideradas ideais. Além disso, essas características ambientais são típicas da região Amazônica, especialmente no Amapá (VILHENA, 2018, p. 36).

Nas curvas de crescimento analisadas, observou-se que a cepa Varennes entrou em fase de declínio em três dos tratamentos testados. Em contrapartida, a cepa UTEX 1926 apresentou crescimento contínuo durante a fase exponencial, sem atingir claramente a fase de declínio, o que indica que o período de 30 dias não foi suficiente para atingir todo o ciclo de crescimento dessa cepa. Resultados semelhantes foram relatados por Madkour *et al.* (2012), que observaram curvas de crescimento com comportamento constante entre diferentes concentrações de meio de cultivo de custo reduzido, atingindo picos de biomassa entre o 27º e o 33º dia. Dessa forma, pode-se inferir que a cepa *L. platensis* UTEX 1926 tende a alcançar o pico de biomassa após o período experimental aqui adotado (30 dias), enquanto a cepa Varennes demonstra limitações fisiológicas que aceleram a entrada na fase estacionária e de declínio.

## 9 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a cepa *L. platensis* Utex 1926 apresentou melhor performance de crescimento e produtividade máxima, significativamente superior em relação à cepa Varennes. A relevância desta investigação reside na geração de informações que contribuem para a consolidação do conhecimento sobre *L. platensis*, organismo de grande valor industrial e ambiental. Em síntese, a cepa Utex 1926 apresentou desempenho superior em todos os parâmetros avaliados ( $\mu$ , T2, Pmax), indicando maior potencial produtivo e destacando-se como candidata promissora para cultivos comerciais em larga escala.

Os resultados oferecem subsídios para a otimização de condições de cultivo em aplicações biotecnológicas, nutricionais e sustentáveis, servindo como base para futuras pesquisas que busquem ampliar o uso deste recurso em diferentes setores. Além disso, o estudo destaca a relevância do cultivo de *L. platensis* no contexto da sustentabilidade e tendência verde, uma vez que não exige o uso do solo e degradação ambiental e apresenta baixo custo, favorecendo a otimização da produtividade da biomassa.

Este estudo reforça a importância da caracterização morfológica, morfométrica, e do acompanhamento do crescimento de cepas de *L. platensis* como ferramentas essenciais para compreender a variabilidade entre diferentes cepas e suas implicações no cultivo. Apesar das variações morfológicas e de crescimento observadas entre as duas cepas sob diferentes condições de diluição do meio e intensidade luminosa, torna-se necessária a realização de estudos mais aprofundados voltados à formulação e caracterização da biomassa produzida. Essas análises poderão elucidar o perfil proteico e bioquímico de cada cepa, possibilitando a definição de aplicações específicas, como suplementos nutricionais, alimentos funcionais, biocombustíveis ou formulações para aquicultura, ampliando seu uso bioprospectivo.

## REFERÊNCIAS

- ALFADHLY, N. K.; ALHELFI, N.; ALTEMIMI, A. B.; VERMA, D. K.; CACCIOLA, F. **Tendencies affecting the growth and cultivation of genus *Spirulina*: an investigative review on current trends.** *Plants*, v. 11, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11223063>.
- BARROS, K. K. S. **Produção de biomassa de *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*) para alimentação humana.** 2010. 52–53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- BATISTA, A.; GOUVEIA, L.; BANDARRA, N.; FRANCO, J.; RAYMUNDO, A. **Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products.** *Algal Research*, v. 2, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2013.10.016>.
- BEZERRA, R. P.; MATSUDO, M. C.; CONVERTI, A.; SATO, S.; CARVALHO, J. C. M. **Influência de tempo de alimentação de cloreto de amônio e intensidade de luz sobre o cultivo de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*).** *Biotechnology and Bioengineering*, v. 100, n. 2, p. 297-305, 2008. <http://doi.org/10.1002/bit.21771>.
- BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; BUCH, B.; HEREMAN, T.; ARRUDA-NETO, J.; MOURA, A.; ZOCCHI, S. **Effects of light intensity and temperature on *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) with straight and coiled trichomes: Growth rate and morphology.** *Brazilian journal of biology. Revista brasileira de biologia*. V. 72, p.343-51, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000200016>
- BORBA, V. I. D. A.; FERREIRA, C. L. S. **Cianobactéria *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*: biotecnologia e aplicações.** Centro de Pós-graduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz, p. 1–23, 2018.
- BORGES-CAMPOS, V.; BARBARINO, E.; LOURENÇO, S. **Growth and chemical composition of ten species of marine microalgae in batch cultures.** *Ciência Rural*. v. 40, p. 309-317, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000009>
- CAPELLI, B.; CYSEWSKI, G. R. **Potential health benefits of spirulina microalgae.** *Nutrafoods*, v. 9, p. 19–26, 2010. <https://doi.org/10.1007/BF03223332>.
- CHU, W.-L.; LIM, Y.-W.; RADHAKRISHNAN, A. K.; LIM, P.-E. **Protective effect of aqueous extract from *Spirulina platensis* against cell death induced by free radicals.** *BMC Complementary and Alternative Medicine*, v. 10, n. 53, p. 1472–6882, 2010. DOI: [10.1186/1472-6882-10-53](https://doi.org/10.1186/1472-6882-10-53)
- CIFFERRI, O. ***Spirulina*, the edible microorganism.** *Microbiological Reviews*, v. 47, n. 4, p. 551-578, 1983. <https://doi.org/10.1128/mr.47.4.551-578.1983>.
- COLLA, L. R.; C. R.; C. C.; J. A. **Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes.** *Bioresource technology*. 98. 1489-93, 2007. DOI: [10.1016/j.biortech.2005.09.030](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.030)
- COSTA, J. A. V.; FREITAS, B. C. B.; ROSA, G. M.; MORAES, L.; MORAIS, M. G.; MITCHELL, B. G. **Operational and economic aspects of *Spirulina*-based biorefinery.** *Bioresource Technology*, v. 292, p. 121946, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121946>.

DAMASCENO, I. A. de M.; LIMA, P. K. D.; CASTIGLIONI, G. L.; MONTEIRO, S.; BATISTA, H.; SOUZA, A. R. M. **Barra de cereal enriquecida com biomassa de *Spirulina platensis***. *Agrarian*, v. 10, n. 37, p. 278–287, 2017. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i37.7026>.

DAVID J. NEWMAN E GORDON M. CRAGG. **Produtos naturais como fontes de novos medicamentos ao longo das quase quatro décadas de 01/1981 a 09/201**. *Revista de Produtos Naturais* **2020** 83 (3), 770-803 DOI: 10.1021/acs.jnatprod.9b01285

DEL RUE, F.; ALAUX, E.; MOUDJAOU, L.; GAINARD, C.; FLEURY, G.; PERILHOU, A.; RICHAUD, P.; PETITJEAN, M.; SASSI, J.-F. **Otimização do crescimento de *Arthrospira platensis* (*Spirulina*): da escala laboratorial à escala piloto**. *Fermentation*, v. 3, n. 4, p. 59, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation3040059>.

DERNER, R.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S.; FETT, R. **Microalgas, produtos e aplicações**. *Ciência Rural*, v. 36, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000600050>.

DOLGANYUK, V.; BELOVA, D.; BABICH, O.; PROSEKOV, A.; IVANOVA, S.; KATSEROV, D.; PATYUKOV, N.; SUKHIKH, S. **Microalgae: a promising source of valuable bioproducts**. *Biomolecules*, v. 10, n. 8, p. 1–24, 2020.

FOX, Ripley D. **La spiruline: Technique, pratique et promesse**. 1. Ed. *Edisud*, 1999.

GALHANO, V.; DE FIGUEIREDO, D. R.; ALVES, A.; CORREIA, A.; PEREIRA, M. J.; GOMES-LARANJO, J.; PEIXOTO, F. **Morphological, biochemical and molecular characteri-from Portuguese freshwater habitats**. *Hydrobiologia*. 663(1), 187-203. Doi: 10.1007/s10750-010-0572-5

GANTAR, M.; SVIRČEV, Z. **Microalgae and cyanobacteria: food for thought**. *Journal of Phycology*, v. 44, p. 260–268, 2008.

JUNG, C. HG.; WALDECK, P.; PETRICK, I.; AKINWUNMI, M.; BRAUNE, S.; JUNG, F.; KUEPPER, JAN. **Light-induced changes in the morphology and fluorescence of *Arthrospira platensis***. *Journal of Cellular Biotechnology*. 9. 1-7, 2023. doi: [10.3233/JCB-239001](https://doi.org/10.3233/JCB-239001)

KOMÁREK, J., & KOMÁRKOVÁ, J. **Diversidade de cianobactérias semelhantes a *Aphanizomenon***. *Ficologia Tcheca*, 6 (1), 1-32. 2006.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprokaryota: Oscillatoriales**. In: BÜDEL, B. et al. (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. München: Elsevier, 2005.

LI, Z.; LIU, Y.; ZHOU, T.; CAO, L.; CAI, Y.; WANG, Y.; CUI, X.; YAN, H.; RUAN, R.; ZHANG, Q. **Effects of Culture Conditions on the Performance of *Arthrospira platensis* and Its Production of Exopolysaccharides**. *Foods*. v. 8, 11(14), 2020. doi: 10.3390/foods11142020.

LOPES, G.; SILVA, M.; VASCONCELOS, V. **The pharmacological potential of Cyanobacteria**. London: Academic Press, p. 356, 2022.

MADKOUR, F. F.; KAMIL, A. E.; NASR, H. S. **Production and nutritive value of *Spirulina platensis* in Zarrouk medium.** *ScienceDirect*. v. 38, p. 51-57, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.09.003>

MAZUMDAR, N.; NOVIS, P.; VISNOVSKY, G.; GOSTOMSKI, P. **Effect of nutrients on the growth of a new alpine strain of *Haematococcus* (Chlorophyceae) from New Zealand: Effect of nutrients on *Haematococcus*.** *Phycological Research*. 67, 2018.  
DOI: [10.1111/pre.12344](https://doi.org/10.1111/pre.12344).

MENDONÇA, T. A.; DRUZIAN, J. I.; NUNES, I. L. **Prospecção tecnológica da utilização da *Spirulina platensis*.** *Cadernos de Prospecção*, v. 5, n. 1, p. 44, 2014.  
<https://doi.org/10.9771/cp.v5i1.11480>.

MULITERNO, A.; MOSELE, P. C.; COSTA, J. A. V.; HEMKEMEIER, M.; BERTOLIN, T. E.; COLLA, L. M. **Cultivo mixotrófico da microalga *Spirulina platensis* em batelada alimentada.** *Ciência & Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1132–1138, 2005.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000600005>.

NOWICKA-KRAWCZYK, P.; MÜHLSTEINOVÁ, R.; HAUER, T. **Caracterização detalhada das espécies tipo *Arthrospira* separando táxons cultivados comercialmente no novo gênero *Limnospira* (Cyanobacteria).** *Scientific Reports*, v. 9, p. 694, 2019.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-36831-0>.

**ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS.** Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Nações Unidas Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 04 abr. 2025.

PAERL, H. W.; OTTEN, T. G. **Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls.** *Microbial Ecology*, v. 65, p. 995–1010, 2013.

PINCHART, P. E.; MARTER, P.; BRINKMANN, H.; QUILICHINI, Y.; MYSARA, M.; PETERSEN, J.; PASQUALINI, V.; MASTROLEO, F. **The genus *Limnospira* contains only two species, both unable to produce microcystins: *L. maxima* and *L. platensis*.** *iScience*, 2024.

PIÑERO ESTRADA, J.E.; BERMEJO, B. P.; VILLAR DEL FRESNO, A.M. **Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract.** *Farmaco* 56(5-7), 497-500, 2001. PMID:11482785. [http://doi.org/10.1016/S0014-827X\(01\)01084-9](http://doi.org/10.1016/S0014-827X(01)01084-9).

RICHMOND, A. **Manual de Cultura de Microalgas : Biotecnologia e Ficologia Aplicada.** Oxford: Blackwell Science, 2004.

ROCHA, Lúcia. Produção de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) para alimentação de organismos aquáticos. São Carlos: São Paulo, 2003.

RODRIGUES, E. C.; DE-CARLI, B.; VICENTIN, A.; POMPEO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Cianobactérias e cianotoxinas em ambientes aquáticos: uma breve revisão sobre os principais métodos de detecção, remoção e impactos sobre a saúde.** Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, v. 31, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18764/1981-6421e2021.5>. Acesso em: 15 set. 2025.

- SAMPAIO, U.; SIQUEIRA, K.; STARLING, C.; ARAÚJO, F. **Aspectos gerais de cultivo, métodos de secagem e características da cianobactéria *Spirulina platensis***. *Revista Processos Químicos*, v. 10, p. 133-143, 2016.
- SANTOS, K. R.; HENTSCHKE, G. S.; FERRARI, G.; ANDREOTE, A. P. D.; FIORE, M. F.; VASCONCELOS, V.; SANTANNA, C. L. **Molecular, morphological and ecological studies of *Limnospira platensis* (Cyanobacteria), from saline and alkaline lakes, Pantanal Biome, Brazil**. *Frontiers in Environmental Science*, v. 11, e1204787, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1204787>.
- SANTOS, K. R.; HENTSCHKE, G. S.; SAKAMOTO, A. Y.; CARVALHO, L. R.; SANT'ANNA, C. L. **Investigação ecofisiológica das cianobactérias *Anabaenopsis elenkinii* e *Limnospira platensis*: espécies predominantes em lagos salinos/alcalinos do Pantanal**. *Acta Limnológica Brasiliensis*, 2024. (no prelo).
- SANTOS, K.R.S.; & SANT'ANNA, C.L. **Cianobactérias de diferentes tipos de lagoas (“salina”, “salitrada” e “baía”) representativas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil**. *Revista Brasileira de Botânica* 33: 61-83, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042010000100007>
- SCIUTO, K. & MORO, I. **Cyanobacteria: the bright and dark sides of a charming group**. *Biodiversity and Conservation*. v. 24, p. 711-738, 2015. DOI: [10.1007/s10531-015-0898-4](https://doi.org/10.1007/s10531-015-0898-4)
- SILI, C.; TORZILLO, G.; VONSHAK, A. **Arthrospira (Spirulina)**. In *Ecology of Cyanobacteria II*. Springer: Dordrecht, The Netherlands. pp. 677-705, 2012. DOI: [10.1007/978-94-007-3855-3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3)
- SILVA, G.; CARVALHO, R.; SILVA, F.; MAGALHÃES, C.; ROLIM, H.; NUNES, L. ***Spirulina* em foco: características, propriedades e aplicações**. *Revista Processos Químicos*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.6652311121>. Acesso em: 11 abr. 2025.
- SINETOVA, M. A.; KUPRIYANOVA, E. V.; LOS, D. A. ***Spirulina/Arthrospira/Limnospira* – Three names of the single organism**. *Foods*, v. 13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13172762>.
- SINGH S.; KATE B. N. **Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview**. *Crit Rev Biotechnol*. v. 25(3) p.73-95, 2005. DOI: [10.1080/07388550500248498](https://doi.org/10.1080/07388550500248498)
- SOARES, R. **Toxicologia de cianotoxinas: microcistinas as estrelas do tema**. *Oecologia Brasiliensis*. v. 13, p. 259-271, 2009. DOI: [10.4257/oeco.2009.1302.04](https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1302.04)
- SOUTO, A. R.; SCHERER, A.; COSTA, A.; FILHO, A. C.; GUEDES, C. L. B.; ANDRADE, D. S.; ANGELO, E. A.; LIMA, F. A. F.; MACHINESKI, D. S.; BARBOSA, G. M. C.; SILVA, H. R.; GATTI, I. C. A.; CARDOSO, J. D.; MATOS, M. A.; MIYAWA, M.; SILVA, M. R. L.; GOMES, P. C. **Microalgas de águas continentais: potencialidades e desafios do cultivo**. 1. ed. Paraná: Editora LAPAR, 2014.
- TARKO, T.; DUDA, A.; KOBUS, M. **Influence of Growth Medium Composition on Synthesis of Bioactive Compounds and Antioxidant Properties of Selected Strains of *Arthrospira* Cyanobacteria**. *Czech Journal of Food Sciences*. V. 30, p. 258-267, 2012. DOI: [10.17221/46/2011-CJFS](https://doi.org/10.17221/46/2011-CJFS)

UEBEL, L. D. S. **Planta industrial para produção de *Spirulina*: variáveis físico-químicas, respostas biológicas e aplicação de normas de garantia da qualidade**. Rio Grande: FURG, 2017. 24 p. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/8543>.

VETORELLI, M. P.; KIMPARA, J. M.; RODRIGUES, L. A.; BACCHI, M. D.; RODRIGUES, L. A.; VALENTI, W. C. **Economic feasibility of small-scale spirulina farming in Brazil**. *ResearchGate*, 2024. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1171200>.

VILHENA, J. E. S.; SILVA, R. B. L.; FREITAS, J. L. *Climatologia do Amapá: Quase um século de história*. Macapá: Gramma Livraria e Editora, 2018.

## Apêndice

Figura 1 – Comparação da taxa de crescimento específico ( $\mu$ ) entre cepas *Limnospira platensis* UTEX 1926 e Varennes sob diferentes intensidades luminosas (10 W e 20 W).

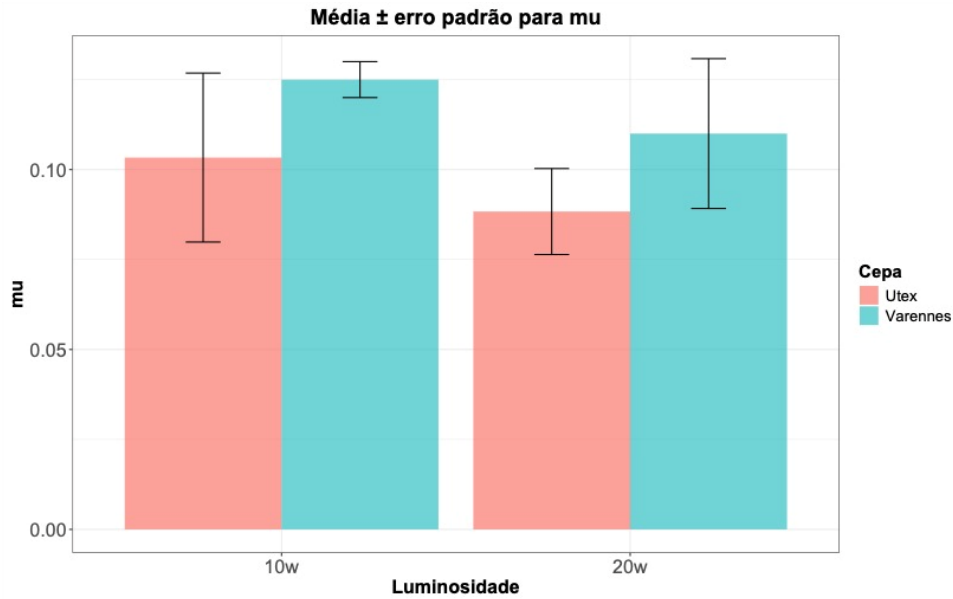


Figura 2 – Comparação do tempo de duplicação celular ( $T_2$ ) entre as cepas *Limnospira platensis* UTEX 1926 e Varennes sob diferentes intensidades luminosas (10 W e 20 W).

