

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Instituto de Biologia

Ciências Biológicas - Bacharelado



Trabalho de Conclusão de Curso

Cultivo de Cianofíceas e aplicação na biorremediação de águas residuais dos laboratórios da Química

Priscila Oliveira de Souza

Pelotas, 2011

PRISCILA OLIVEIRA DE SOUZA

**CULTIVO DE CIANOFÍCEAS E APLICAÇÃO NA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS
RESIDUAIS DOS LABORATÓRIOS DA QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à disciplina de Estágio
Supervisionado IV do Curso de
Bacharelado em Ciências Biológicas
da Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Ciências

Orientador: Claudio Martin Pereira de Pereira

Co-orientadora: Márcia Foster Mesko

Pelotas, 2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Claudio Martin Pereira de Pereira (Orientador)

Prof^a. Dr^a. Marinês Garcia (Examinadora)

Prof. Dr. Pedro José Sanches Filho (Examinador)

Prof^a. Dr^a. Roselia Maria Spanevello (Examinadora suplente)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais e minha irmã pela cooperação e apoio durante toda a minha vida, além dos exemplos de coragem e perseverança, sem os quais não seria possível eu ter chegado onde estou e com a disciplina e aplicação que dedico aos estudos.

Ao meu namorado Leandro, pelo companheirismo e atenção dedicados, além do incentivo que me deu no fortalecimento dos meus estudos e estimulando a aprendizagem de novas ciências que podem ser aplicadas nas formas mais simples dos estudos, apesar da aparente complexidade.

Ao meu orientador, Claudio Pereira, pela oportunidade de integrar o Laboratório de Heterociclos Bioativos e Bioprospecção, que no período que entrei encontrava-se em estudos iniciais sobre a utilização de microalgas, às quais acompanhei a chegada das primeiras cepas; e à minha co-orientadora, Márcia Mesko, pelo tempo dedicado para as discussões das etapas a serem desenvolvidas ao longo do trabalho.

Às químicas Dalila Venzke e Cristiane Hobuss, que me acompanharam durante os meus dois anos de estágio, e me deram a idéia de trabalhar com o tema desenvolvido no presente TCC.

Aos demais colegas de laboratório pelo auxílio durante o desenvolvimento das pesquisas: Marcos Ziemann, Vanderléia Senhor, Camila Nunes, Marina Ritter, Isabel Cândia, José Campos Júnior, Carla Hartwig e Marcelo Crizel.

À professora Marinês, a qual me auxiliou nas metodologias a serem utilizadas durante as análises das microalgas, assim como na identificação.

Ao professor Pedro Sanches pela disponibilidade e ajuda nas análises no Instituto Federal Sul-Rio-grandense (IF-Sul), assim como ao Natanael Pires e ao Glauco Betemps pelo acompanhamento no processamento das mesmas.

Ao professor Dr. Érico M. M. Flores de Moraes coordenador do Laboratório de Espectrometria Atômica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e à Rochele Picoloto que realizou as determinações de metais por ICP-OES e ICP-MS presentes nas amostras.

Dedico o meu trabalho...

Aos meus pais, Harlan e Shirley, que me apoiaram e não mediram esforços para que eu continuasse os meus estudos, ingressando na vida acadêmica apesar da distância que permaneceríamos, tornando possível a conclusão do meu curso com aproveitamento dos longos anos acadêmicos.

À minha irmã Hallana, pelo carinho e questionamentos sobre a Biologia, contribuindo para o meu aprimoramento.

E ao meu namorado Leandro, pelo apoio e dedicação, incentivando-me a desenvolver minhas pesquisas e auxiliando em minhas difíceis decisões.

*“Pesquisar é ver o que outros viram,
e pensar o que nenhum outro
pensou.”*

Albert Szent-Gyorgyi

Resumo

SOUZA, Priscila Oliveira de. **Cultivo de Cianofíceas e aplicação na biorremediação de águas residuais dos laboratórios da Química**. 2011. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pelotas.

O emprego de microalgas na biorremediação de águas contaminadas por metais é uma prática atualmente crescente, visto que é um material biológico de baixo custo, de fácil acesso e uma alternativa que representa menores riscos de contaminação secundária ao ambiente. Devido às propriedades da parede celular das algas de interação eletrostática, trocas iônicas, formação e complexidade de compostos quelantes, elas apresentam capacidade de bioissorção. Dessa forma, o cultivo de cianofíceas nas águas residuais dos laboratórios de Química da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) poderá resultar no processo de biorremediação de metais tóxicos. O objetivo do presente trabalho foi reduzir a quantidade dos metais presentes nestas águas residuais empregando as microalgas. Foi realizada a cultura de microalgas dulciaquícolas, pertencentes à divisão Cyanophyta, paralelamente sendo realizados testes de densidade celular e de gravimetria, com a finalidade de acompanhar o crescimento no meio de cultivo puro e com os resíduos. Em seguida, procedeu-se a avaliação da concentração letal dos metais para a microalga, utilizando inclusive diferentes concentrações das soluções dos sais de nitrato de chumbo e dicromato de potássio, a fim de determinar a melhor concentração para o experimento. Após, um período de cultivo, foi analisada a concentração final de metais no meio e na biomassa microalgal, constatando-se o acúmulo equivalente a 30% de cromo e 65% de chumbo na biomassa algal cultivada com os resíduos inorgânicos metálicos, assim como a redução de $63,8\mu\text{gL}^{-1}$ para $56,2\mu\text{gL}^{-1}$ para cromo no meio, correspondendo a aproximadamente 12% da concentração inicial e para o chumbo de $418\mu\text{gL}^{-1}$ para $239\mu\text{gL}^{-1}$, correspondendo a 43% da concentração inicial, comprovando assim a ocorrência da biorremediação. Desta forma, pode-se avaliar que a microalga pertencente à Divisão Cyanophyta apresentou-se como uma alternativa viável para a biorremediação dos resíduos gerados nos Laboratórios de Química da Universidade Federal de Pelotas.

Palavras-chave: Algas. Bioissorção. Contaminação. Metais. Resíduos.

Abstract

SOUZA, Priscila Oliveira de. **Cultivation of Cyanobacteria and application in wastewater's bioremediation from the Chemistry's laboratories**. 2011. 66p. Completion of Course Work – Bachelor in Biological Sciences. Federal University of Pelotas.

The use of microalgae in bioremediation of contaminated water by metals is a growing practice today, as a biological material is low cost, easy access and an alternative that represents a lower risk of secondary contamination to the environment. Due to the properties of the cell wall of algae electrostatic interaction, ion exchange, training and complexity of chelating compounds, they have the ability to biosorption. Thus, the cultivation of microalgae in wastewater of Chemistry's laboratories, Federal University of Pelotas (UFPel) may result in the process of bioremediation of heavy metals. The objective of this study was to reduce the amount of metals present in these wastewater using microalgae. The culture of freshwater microalgae was realized, belonging to the division Cyanophyta, parallel tests were performed in cell density and gravity, in order to control the growth in the pure and waste culture medium. Then were evaluate the lethal concentration of metals to microalgae in order to determine the optimal concentration for the experiment. After a cultivation period, the final concentration of metals in the medium and microalgal biomass was analyzed, though there is the accumulation equivalent to 30% chromium and 65% lead in the algal biomass grown with inorganic metal wastes, as well as decrease of $63,8\mu\text{gL}^{-1}$ to $56,2\mu\text{gL}^{-1}$ to chromium in the middle corresponding to approximately 12% of the initial concentration and $418\mu\text{gL}^{-1}$ to $239\mu\text{gL}^{-1}$ to lead, corresponding to 43% of the initial concentration, thus proving the occurrence of bioremediation. Thus, can be evaluated the microalgae belonging to Division Cyanophyta presented itself as a viable alternative for the bioremediation of waste generated in the Laboratories of Chemistry, Federal University of Pelotas.

Keywords: Algae. Biosorption. Contamination. Metals. Waste.

Lista de Figuras

Figura 1	Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e resíduos.....	41
Figura 2	Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de nitrato de chumbo.....	42
Figura 3	Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de dicromato de potássio.....	42
Figura 4	Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e resíduos.....	45
Figura 5	Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de nitrato de chumbo.....	46
Figura 6	Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de dicromato de potássio.....	46
Figura 7	Padrão de crescimento dos cultivos controle, nitrato de chumbo $2,51\text{mgL}^{-1}$ e dicromato de potássio $0,66\text{mgL}^{-1}$ e com os resíduo laboratorial concentrado.....	49

Lista de Tabelas

Tabela 1	Concentração dos metais nos resíduos dos laboratórios das aulas práticas de Química Geral (QG) e Físico-Química (FQ).....	36
Tabela 2	Concentrações dos metais que foram utilizadas dos resíduos da Química Geral.....	37
Tabela 3	Número de células de <i>Phormidium</i> sp. em contagem total da câmara de Neubauer.....	39
Tabela 4	Densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo.....	39
Tabela 5	Porcentagem de células vivas mediante teste de viabilidade celular.....	40
Tabela 6	Concentrações dos metais nas diluições dos resíduos.....	43
Tabela 7	Densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo.....	44
Tabela 8	Porcentagem de células vivas mediante teste de viabilidade celular.....	45
Tabela 9	Média e desvio padrão da densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo.....	48
Tabela 10	Porcentagem média das células vivas das triplicatas de cultivo mediante teste de viabilidade celular.....	48
Tabela 11	Determinação de Cr e Pb (μgL^{-1}) nos meios de cultivo.....	50
Tabela 12	Concentração de Cr e Pb (μgg^{-1}) nas cianofíceas.....	50

Lista de Abreviaturas e Siglas

AgNO₃ – Nitrato de prata

Al(NO₃)₃ – Nitrato de alumínio

Al(SO₄)₃ – Sulfato de alumínio

AlCl₃ – Cloreto de alumínio

As₂O₃ – Óxido arsenioso

(AsO₃)³⁻ – Arsenito

Ba – Bário

BaCl₂ – Cloreto de bário

Ba(OH)₂ – Hidróxido de bário

BGN – Braun-Grunow

Bi(NO₃)₂ – Nitrato de bismuto II

Bi(NO₃)₃ – Nitrato de bismuto III

Ca – Cálcio

CaCl₂ – Cloreto de cálcio

CaCl₂·2H₂O – Cloreto de cálcio dihidratado

Ca(OH)₂ – Hidróxido de cálcio

CdCl₂ – Cloreto de cádmio

Co – Cobalto

CoCl₂ – Cloreto de cobalto

Co(NO₃)₂ – Nitrato de cobalto

Co(NO₃)₂.6H₂O – Nitrato de cobalto hexahidratado

CoCl₂ – Cloreto de cobalto

CoSO₄ – Sulfato de cobalto

Cr – Cromo

Cr(NO₃)₃ – Nitrato crômico

CrCl₃ – Cloreto crômico

CrSO₄ – Sulfato cromoso

Cu – Cobre

Cu(NO₃)₂ – Nitrato cúprico

CuCl₂ – Cloreto de cobre

CuNO₃ – Nitrato cuproso

CuSO₄ – Sulfato de cúprico

DL – Dose letal

Fe – Ferro

Fe(NO₃)₂ – Nitrato ferroso

FeCl₂ – Cloreto ferroso

FeCl₃ – Cloreto férrico

FeSO₄ – Sulfato ferroso

FQ – Físico Química

H₂SO₄ – Ácido sulfúrico

H₃BO₃ – Ácido bórico

HCl – Ácido clorídrico

Hg(NO₃)₂ – Nitrato mercúrico

Hg₂(NO₃)₂ – Nitrato mercurioso

HgCl₂ – Cloreto mercúrico

IF-Sul – Instituto Federal Sul-Riograndense

ICP-MS – Espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado

ICP-OES – Espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado

K₂Cr₂O₇ – Dicromato de potássio

K₂HPO₄ – Fosfato ácido de potássio

K₃[Fe(CN)₆] – Ferricianato de potássio

K₄[Fe(CN)₆] – Ferrocianeto de potássio

KMnO₄ – Permanganato de potássio

KNa₂EDTA – Ácido etilenodiamino tetra-acético dissódico de potássio

Li – Lítio

Mg – Magnésio

MgCl₂ – Cloreto de Magnésio

MgSO₄.7H₂O – Sulfato de magnésio heptahidratado

Mn – Manganês

MnCl₂ – Cloreto manganoso

MnCl₂.4H₂O – Cloreto manganoso tetrahidratado

MnO₂ – Óxido manganoso

MnSO₄ – Sulfato manganoso

Na – Sódio

Na₂CO₃ – Carbonato de sódio

Na₂CrO₄ – Cromato de sódio

Na₂MoO₄.2H₂O – Molibdato de sódio diidratado

NaNO₃ – Nitrato de sódio

NaOH – Hidróxido de sódio

NH₄-N – Nitrogênio amoniacal

Ni – Níquel

Ni(NO₃)₂ – Nitrato níqueloso

NiCl₂ – Cloreto níqueloso

NiCl₃ – Cloreto níquelico

NiSO₄ – Sulfato níqueloso

Pb – Chumbo

Pb(CH₃COO)₂ – Acetato plumboso

Pb(NO₃)₂ – Nitrato plumboso

Pb²⁺ – Íon chumbo

PbO₂ – Óxido plúmbico

PO₄-P – Fósforo inorgânico

QG – Química Geral

SbCl₂ – Cloreto de antimônio

SbCl₃ – Cloreto antimonioso

SnCl₂ – Cloreto estanhoso

Sr – Estrôncio

SrCl₂ – Cloreto de estrôncio

Sr(OH)₂ – Hidróxido de estrôncio

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

V₂SO₄ – Sulfato de vanádio

Zn – Zinco

ZnCl₂ – Cloreto de zinco

ZnSO₄ – Sulfato de zinco

ZnSO₄.7H₂O – Sulfato de zinco heptahidratado

Sumário

Resumo.....	6
Abstract.....	7
Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	9
Lista de Abreviaturas e Siglas	10
1 Introdução	18
2 Objetivos.....	20
2.1 Objetivo geral.....	20
2.2 Objetivos específicos	20
3 Revisão de Literatura.....	21
3.1 Liberação de resíduos líquidos	21
3.2 Metais Tóxicos	23
3.3 Cianofíceas	24
3.4 Aplicação das microalgas na biorremediação	26
4 Materiais e Métodos.....	31
4.1 Cultura de microalgas	31
4.2 Determinação da concentração de metais no meio	32

4.3	Entrevista com os professores da Química.....	32
4.4	Determinação da DL	33
4.5	Viabilidade celular	33
4.6	Análise do crescimento celular	33
4.7	Biomassa seca.....	34
4.8	Determinação da concentração de metais presentes no meio pós-cultivo	34
4.9	Análise e tratamento da biomassa microalgal.....	35
5	Resultados e discussão.....	36
6	Conclusão.....	52
	Referências.....	53
	Apêndice A	58
	Apêndice B	60
	Apêndice C	61
	Apêndice D	62
	Apêndice E	64

1 Introdução

Durante as últimas duas décadas, grande enfoque tem sido direcionado ao gerenciamento da poluição ambiental causada por materiais perigosos como, por exemplo, os metais tóxicos. Esses metais presentes, mesmo em níveis traços, são tóxicos e prejudiciais tanto para a flora quanto para a fauna, como peixes e fitoplâncton (YÜCE et al., 2010). Segundo VALLS & LORENZO (2002), alguns metais em baixas concentrações participam em diferentes rotas metabólicas, nas quais são considerados essenciais. Todavia, estes metais quando em altas concentrações são tóxicos para muitos organismos vivos; enquanto outros metais sempre apresentam um efeito tóxico mesmo em baixas concentrações. Em particular, o chumbo (Pb) e o cromo (Cr) tem despertado um especial interesse devido aos danos que esses podem acarretar decorrente da bioacumulação desses elementos químicos em organismos vivos.

Dentro dessa temática, existem inúmeras formas de lidar com a contaminação de água por metais pesados, tais como: métodos físico-químicos, como uma precipitação-filtração, troca de íons, osmose reversa e reações de oxidação-redução (LOURIE et al., 2010). No entanto, esses métodos físico-químicos podem conduzir a uma contaminação secundária da água decorrente do uso de químicos. Além disso, podem não ser eficientes e, inclusive, caros quando aplicados em águas residuais que apresentem baixo conteúdo de metais. Considerando esses argumentos, atualmente a busca por alternativas tecnológicas tem enfatizado o uso de materiais biológicos, como bactérias, fungos, musgos e algas, os quais se enquadrariam numa concepção de materiais de fácil acesso e de custo reduzido (LOURIE et al., 2010).

O termo “atenuação natural” pode ser apropriado para descrever todos os processos usados a fim de reduzir o nível de contaminantes que ocorrem, incluindo processos abióticos e bióticos, em que a biodegradação é o mecanismo primário para reduzir os contaminantes biodegradáveis (NYER, 1998). Conforme Nyer (1998), o termo “biorremediação” se refere a todas as reações bioquímicas de atenuação natural. Visto que oferece baixo risco para os locais contaminados, esse método é considerado adequado e uma alternativa com uma taxa favorável de custo-benefício para o tratamento (KORDA et al., 1997; CRÁPEZ et al., 2002).

O princípio da biorremediação se baseia na utilização principalmente de populações microbianas e briófitas que apresentem a habilidade para modificar ou decompor certos poluentes. Nesse aspecto visando explorar a diversidade genética e a versatilidade metabólica destes organismos para a transformação dos contaminantes em produtos finais menos tóxicos, os quais são integrados nos ciclos biogeoquímicos naturais (ALEXANDER, 1994).

Portanto, a utilização de microalgas é uma metodologia viável para a aplicação na biorremediação, visto que não serão utilizados métodos físico-químicos que acabam gerando problemas secundários de contaminação. Tais problemas secundários são caracterizados como possíveis e recorrentes alterações ambientais após a utilização de técnicas físicas e químicas deliberadamente, como o excesso de reagentes químicos empregados para a recuperação ambiental, especialmente em ambientes aquáticos. Além disso, as microalgas se enquadram na concepção de materiais de fácil acesso e baixo custo. Como hipótese inicial do trabalho, o cultivo das microalgas nas águas residuais dos laboratórios de Química da Universidade Federal de Pelotas resultará no processo de biorremediação, havendo biossorção dos metais presentes, dessa forma reduzindo a contaminação nas águas residuais dos laboratórios e possibilitando corroborar com o objetivo do presente trabalho.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

- Reduzir a quantidade dos metais tóxicos, cromo e chumbo, presentes nos resíduos produzidos nas aulas práticas de Química Geral e Físico-Química utilizando as microalgas como meio de remediação.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a quantidade dos metais tóxicos cromo e chumbo presentes nos resíduos inorgânicos metálicos dos laboratórios de aulas práticas de Química Geral e Físico-Química;
- Determinar a dose letal (DL) de cromo e chumbo para a microalga;
- Constatar a translocação dos componentes metálicos.

3 Revisão de Literatura

3.1 Liberação de resíduos líquidos

Os resíduos químicos de maneira geral são gerados em maior escala pelas unidades industriais, tanto em relação ao volume quanto periculosidade, havendo maior concentração no estado de São Paulo, uma vez que é considerada a região mais industrializada no Brasil (AMARAL et al., 2001). Com base nesse fato, a ABETRE (Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos) apresenta um dado alarmante referente ao ano de 2007, segundo o qual 6 milhões de toneladas de resíduos industriais foram gerados no referido ano, destes 26% são considerados perigosos, e pequena parcela desse total recebem tratamento adequado (AMADO JÚNIOR, 2011). Cabe ressaltar que os centros de formação de recursos humanos, tais como os laboratórios de universidades, escolas e institutos de pesquisa, também geram resíduos perigosos, mas que representam apenas 1% do total daqueles produzidos em um país desenvolvido, como os Estados Unidos. Estes resíduos, diferentemente das indústrias, caracterizam-se por apresentarem volume reduzido e elevada diversidade, dificultando a padronização das formas de tratamento e disposição (ASHBROOK & REINHARDT, 1985; KAUFMAN, 1990; SCHNEIDER & WISKAMP, 1994; JARDIM, 1998).

Segundo Afonso et al. (2003), o gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de pesquisa no Brasil, tornou-se um assunto amplamente discutido na década de 90, principalmente entre as grandes instituições geradoras, incluindo as universidades. Dessa forma, em virtude da ausência de um órgão fiscalizador, o descarte inadequado levou muitas universidades a poluir o ambiente, promovendo o

desperdício de material e arcando com o mau gerenciamento dos produtos sintetizados ou manipulados.

As universidades desempenham importante papel ao avaliarem os impactos ambientais provocados por outras unidades geradoras de resíduos fora de seus limites físicos. Assim, a falta de tratamento de seus próprios rejeitos pode comprometer a credibilidade das universidades perante a sociedade e os órgãos públicos competentes (JARDIM, 1998). Dessa forma, um programa de gerenciamento de resíduos nestas unidades apresenta o benefício em relação ao treinamento dos estudantes, formação profissional de técnicos de laboratórios e professores, capacitando-os a trabalharem dentro de normas apropriadas de gerenciamento de produtos químicos (GERBASE et al., 2005).

Os resíduos produzidos pelos laboratórios de ensino podem ser facilmente caracterizados, inventariados e gerenciados, apresentando finalidades didáticas (AFONSO et al., 2003). Conforme Amaral et al. (2001), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, adotaram um sistema de tratamento dos resíduos dos laboratórios de graduação, onde o produto recuperado é reutilizado nos experimentos. Cabe ressaltar que o valor ambiental e econômico refletidos pelo gerenciamento de resíduos químicos, caracteriza-o como tecnologia limpa, de acordo com os conceitos de “química limpa” e os padrões internacionais exigidos pela legislação ambiental (BENDASSOLLI et al., 2003).

Alguns aspectos devem ser levados em consideração, os quais facilitam e ajudam no gerenciamento dos resíduos (JARDIM, 1998; CUNHA, 2001):

- 1) prevenir a geração dos mesmos, modificando ou substituindo o experimento por outro menos impactante;

- 2) minimizar a proporção de resíduos perigosos que são inevitavelmente gerados, através da utilização de volumes pequenos; o trabalho em microescala, além de gerar pouco resíduo, pode ainda diminuir os custos com reagentes a curto e longo prazo, embora algum investimento com vidraria de tamanho pequeno deva ser realizado (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995; BAADER, 2001; UNIVERSITY OF DELAWARE);

3) segregar e concentrar correntes de resíduos de modo a tornar viável e economicamente possível a atividade gerenciadora. A segregação dos resíduos facilita muito o trabalho, independentemente se o destino final é a incineração, o reuso ou a reciclagem (AMARAL et al., 2001; BAADER, 2001). Se existe uma separação dos resíduos por classes ou tipos, é possível tratá-los através de reações entre si (ARMOUR, 1998). Por exemplo, um resíduo contendo sulfeto pode ser usado para tratamento de um outro contendo metais pesados; assim não é consumido nenhum reagente para precipitar os metais e nenhum oxidante para tratar os sulfetos;

4) reciclar o componente material ou energético do resíduo. Embora exista um custo maior, pois é necessária a adição de reagentes ou o consumo energético, muitas vezes tal processo é bastante interessante. Um exemplo clássico é a reutilização de solventes orgânicos após tratamento e destilação dos mesmos;

5) tratar o resíduo da forma mais adequada possível, estocando pelo menor tempo possível;

6) dispor o resíduo de maneira segura.

3.2 Metais Tóxicos

Dentre os metais tóxicos, o chumbo é um contaminante predominante em ambientes aquáticos, que é facilmente acumulado pelos organismos, além de ser extremamente danoso mesmo em baixas concentrações. O chumbo pode causar problemas nos sistemas nervoso e reprodutivo, e nos rins, especialmente em crianças (NRIAGU, 1988). Nas células vegetais, íons de metais tóxicos (como Pb^{2+}) são capazes de ligarem-se às membranas dos tilacóides, resultando numa alteração na sua ultraestrutura, a qual possivelmente deteriorará as funções rotineiras dos tilacóides (HENG et al., 2004).

O cromo III, por sua vez, é um elemento bioativo que, apesar da presença em pequenas quantidades no organismo, realiza importantes funções, particularmente no metabolismo da glicose. Porém, quando em concentrações

elevadas, principalmente em estado de oxidação diferente de 3, é potencialmente perigoso à saúde e ao equilíbrio ambiental (NRIAGU & NIEBOER, 1988).

Considerando que esses metais são bioacumulativos, podendo desencadear sérios problemas fisiológicos nos organismos vivos, há uma crescente exigência da sociedade e dos órgãos públicos, a fim de reduzir essa contaminação aos níveis toleráveis pelos organismos sujeitos ao contato com tais contaminantes e, conseqüentemente, uma tendência em se aprovar uma legislação ambiental cada vez mais rigorosa (SAQUETO, 2006).

As atuais regulações da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (APA) e da Organização de Saúde Ambiental (OSA) consideram o chumbo um poluente importante e perigoso, definindo as concentrações máximas permissíveis de chumbo em águas para consumo e águas residuais em 0,01 e 0,43mgL⁻¹, respectivamente, enquanto para o cromo total a concentração máxima permissível em águas para consumo é de 0,1 mgL⁻¹ (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2003; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2005; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009).

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução número 357, de 17 de março de 2005, os valores máximos que podem ser encontrados em água doce dos seguintes parâmetros inorgânicos são 0,05mgL⁻¹ de cromo total e 0,01mgL⁻¹ de chumbo total.

3.3 Cianofíceas

Segundo OSSWALD (2002), durante os séculos XIX-XX foi desenvolvido um sistema taxonômico baseado no Código Internacional de Nomenclatura Botânica, classificando esses organismos como Cianofíceas (Cyanophyceae). No entanto, devido ao fato de serem organismos procariotas, a classificação foi ajustada sendo utilizado o Código Internacional de Nomenclatura Bacteriano, resultando na denominação Cianobactérias.

As cianobactérias, também conhecidas como algas verde-azuladas ou Cianofíceas, são organismos procarióticos que apresentam grande variedade fenotípica, sendo encontradas diversas formas e arranjos, como as unicelulares (cocóides e bacilos) e filamentosas (ramificadas ou não), apresentando inclusive algumas características do grupo Algae, tais como: parede celular, pigmentos e capacidade de realizar a fotossíntese oxigênica (WHITON & POTTS, 2000; CHORUS, 2001). Além disso, são microorganismos que necessitam apenas de água, CO₂, alguns minerais, como por exemplo potássio, cálcio e magnésio, e luz (MUR et al., 1999).

Conforme alguns autores, a capacidade de viver em todos os tipos de habitat é decorrência da sua longa história evolutiva, existindo inclusive registros fósseis de cianobactérias com 3,5 bilhões de anos (SCHOPF, 1993; WHITTON & POTTS, 2000). Segundo Vidotti & Rollemberg (2004), as algas são organismos ecologicamente importantes, visto que são espécies representativas do nível trófico inferior, servindo como fonte de alimento fundamental para outras espécies aquáticas e ocupando uma posição única entre os produtores primários. Nesse aspecto, as algas são consideradas um elo importante na cadeia alimentar e essenciais à "economia" dos ambientes aquáticos como alimento.

A diversidade de organismos marinhos está correlacionada, de uma certa forma, com a diversidade das comunidades algais, diversidade esta que aumenta a estabilidade destes ecossistemas na medida em que um maior número de espécies funcionalmente equivalentes, com diferentes capacidades de tolerância a fatores ambientais, pode apresentar uma melhor resistência a alterações do meio marinho, inclusive aquelas causadas por atividades antrópicas (CHAPIN III et al., 1997). As cianofíceas, em particular, habitam vários ambientes, desde que haja umidade, e atuam como "espécies pioneiras" por sua pequena exigência nutricional, capacidade de realizar fotossíntese e aproveitar o nitrogênio atmosférico (VIDOTTI & ROLLEMBERG, 2004)

Pesquisas realizadas têm demonstrado a capacidade que determinadas espécies de algas apresentam em retirar elementos químicos do meio aquoso, sugerindo a utilização de algumas espécies na recuperação de sistemas aquáticos,

em especial quanto à presença de íons metálicos e de alguns compostos orgânicos (VIDOTTI & ROLLEMBERG, 2004). Recentemente, foi demonstrada ótima capacidade de sorção de dois exopolissacarídeos (EPS) produzidos por cianobactérias para íons metálicos carregados positivamente (DE PHILIPPIS et al., 2003, 2007; PAPERI et al., 2006).

A utilização das algas como organismos testes baseia-se no seu ciclo de vida curto, facilitando os estudos de exposição com várias gerações, além das altas taxas de crescimento, da facilidade em manter culturas e da capacidade de crescer em meios sintéticos bem definidos.

Historicamente, os bioensaios com algas tem origem no trabalho do Prof. Martinus Beijerinck (1890), primeiro a obter uma cultura pura de algas, sendo fundamental para os métodos de bioensaios. Os testes com algas permitem identificar materiais que afetam o crescimento, avaliar a disponibilidade biológica de nutrientes e determinar curvas dose-resposta para as substâncias limitantes do crescimento (VIDOTTI & ROLLEMBERG, 2004).

3.4 Aplicação das microalgas na biorremediação

Conforme Vidotti & Rollemborg (2004) a bioacumulação por algas desempenha três funções de suma importância ecológica:

- nos organismos, a bioacumulação é refletida pela mudança na concentração do contaminante no seu sítio de ação. Dessa forma, a extensão com que ocorre a bioacumulação em um organismo (a qual é avaliada através da determinação do nível do contaminante presente no mesmo) pode ser utilizada como um parâmetro útil em uma avaliação ecotoxicológica dos sistemas naturais;
- ao ocorrer a acumulação de um elemento contaminante por um determinado organismo, este contaminante torna-se presente no sistema aquático em menor concentração, no entanto deve-se considerar a capacidade das algas de conversão dessa substância tóxica em outra que se enquadraria na rota metabólica, não resultando em efeitos para outros organismos da cadeia alimentar. Portanto, para os

demais organismos (como os peixes e invertebrados) a ocorrência da bioacumulação pelas algas resulta em maior resistência ao impacto tóxico. Nesta condição, as algas podem ser consideradas "espécies protetoras" no ambiente aquático, pois contribuem para diminuir a fração do contaminante "disponível" para os demais organismos. Cabe salientar que a toxicidade de uma substância está relacionada a vários fatores, como organismos expostos, concentração da substância no meio e tempo de exposição. Dessa forma, uma substância tóxica em determinadas condições, pode não ser em condições distintas e, por esta razão, fala-se de substância potencialmente tóxica;

- a bioacumulação de compostos orgânicos persistentes ou de metais pode ser um fator importante no transporte físico da substância potencialmente tóxica e na acumulação na cadeia alimentar pelos organismos consumidores superiores — onde inclui-se o homem (MAHAN et al., 1989). A biomagnificação é outro aspecto relevante nos estudos ecotoxicológicos visto que é um processo em que as espécies potencialmente tóxicas são introduzidas nos organismos superiores, resultando na sua acumulação.

A biorremediação vem evoluindo como uma tecnologia efetiva para o tratamento e a remoção de contaminantes de natureza inorgânica (GARNHAM et al., 1993; LEUSCH et al., 1995; CHU et al., 1997; GUPTA et al., 2001; LEFEBVRE et al., 2007) ou orgânica (GROUDEVA et al., 2001; POLLUMAA et al., 2001). A utilização de filamentos de cianobactérias para a avaliação de águas contaminadas com poluentes orgânicos, por exemplo, demonstrou a habilidade natural destes microrganismos na degradação de pesticidas alifáticos clorados e de outros poluentes (KURITZ & WOLK, 1995).

A avaliação do processo de biorremediação segue alguns critérios: inicialmente é necessário considerar a eficiência da remoção dos elementos metálicos; outro aspecto é a possibilidade de recuperar o metal de forma economicamente viável e ecologicamente aceitável, sem resíduos indesejáveis; concluindo-se, que para o bom desempenho de todo o processo de remediação do sistema aquático, ele deve ser rápido (KAPOOR & VIRARAGHAVAN, 1998; YAN & VIRARAGHAVAN, 2001).

Atualmente, o emprego das microalgas na biorremediação de efluentes coloridos tem atraído muito interesse devido seu papel central na fixação do dióxido de carbono, visto que essa coloração afeta a estética, transparência da água, solubilidade do gás em corpos de água e pode ser tóxica para a fauna e flora aquática (VANDEVIVERE et al., 1998). Segundo Lim et al. (2010), o sistema de lagoas com altas taxas de algas utilizando a microalga *Chlorella vulgaris* Beijerinck demonstrou-se um bom sistema para a biorremediação de efluentes têxteis, podendo remover até 50% da coloração, além de reduzir poluentes como demanda química de oxigênio (DQO), $\text{NH}_4\text{-N}$ e $\text{PO}_4\text{-P}$. Além disso, a biomassa não viável da *Spirogyra* sp. tem sido utilizada como biossorvente na remoção do corante reativo (Synazol) dos efluentes têxteis, demonstrando remoção máxima de 85% (Khalaf, 2008).

Chu e Hashim (2004) utilizaram a biomassa não-viável de *C. vulgaris* na remoção de cobre, uma vez que a mesma não é afetada pela toxicidade dos íons metálicos, além de apresentar frequentemente uma melhor capacidade de ligação de metais que células vivas. Uma análise da distribuição celular demonstrou que grandes quantidades dos metais adsorvidos foram achados nos compartimentos intracelulares da microalga, indicando transporte ativo dos metais para o interior das células.

Monteiro et al. (2009) isolaram uma nova cepa selvagem de *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing de um local previamente contaminado por metais pesados no norte de Portugal, a qual se demonstrou capaz de absorver e adsorver na superfície celular zinco eficientemente, tendo um ótimo potencial para a biorremediação.

No Brasil, Navarrete et al. (2009) avaliaram o potencial de destoxicação do solo de “landfarming” da Refinaria de Paulínia (REPLAN/PETROBRAS), São Paulo, inoculado com comunidades de algas alóctones, predominando *Anabaena*, *Chroococcus*, *Scytonema* e *Lyngbya* (Cyanophyceae), *Klebsormidium*, *Mougeotia* e *Oedogonium* (Chlorophyceae) e *Navicula* (Bacillariophyceae). Eles constataram redução na concentração dos metais pesados cádmio, cobre, chumbo e zinco nas amostras de solo tratado com as algas, podendo estar relacionado com o desempenho das diferentes espécies em captar e acumular íons metálicos.

O material biológico é capaz de realizar dois mecanismos de absorção. A absorção passiva (biossorção) é definida como o acúmulo e concentração dos poluentes da solução aquosa na biomassa do material biológico, metabolicamente independente e pode ser afetado por alterações no pH e pela presença no meio de outros íons, os quais podem precipitar os metais pesados como sais insolúveis. Enquanto a absorção ativa é metabolicamente dependente e mais efetiva que a biossorção, quando em concentrações reduzidas de metais pesados. Dessa forma, o consumo de íons metálicos pode ser utilizado para o crescimento algal e/ou acúmulo intracelular dos metais pesados. Além disso, os metais pesados podem ser excretados na forma de metabólitos secundários (BAI; ABRAHAM, 2003; BAJPAI et al., 2004).

A capacidade de biossorção das algas é atribuída principalmente às propriedades da sua parede celular, onde a interação eletrostática, trocas iônicas, formação e complexidade dos compostos quelantes desempenham um importante papel (DAVIS et al., 2003). Segundo Vidotti & Rollemberg (2004), a captação de íons metálicos pelas algas é decorrente da ligação dos íons aos diferentes grupos funcionais das células dos organismos. Tanto organismos vivos, quanto mortos tem a capacidade de captar íons metálicos em solução, contudo não havendo atividade biológica para as células mortas, a captação ocorre independentemente do metabolismo, havendo apenas a etapa inicial, a qual envolve processos de superfície. Os principais sítios de captação encontram-se na parede celular, dentre os quais se incluem amina, amida, imidazol, hidróxido, carboxilato, fosfato, tiol, tioéter, entre outros (CRIST, 1981; CID, 1995).

Ao realizar uma busca na base de dados da *Web of Knowledge* foi possível visualizar um número crescente de pesquisas relacionadas a microalgas e biorremediação (*microalgae* e *bioremediation*). Até o ano de 1995, havia sido publicado apenas 1 periódico sobre o referido assunto, enquanto nos últimos 5 anos foram publicados 34 artigos científicos com as palavras-chaves microalgas e biorremediação. Conforme se pode observar no gráfico demonstrativo, houve um incremento significativo de pesquisas relacionadas a microalgas com aplicação na biossorção de poluentes. Em particular, o volume de pesquisas nessa área ainda

apresentará um crescimento acentuado devido às vantagens ambientais da utilização destes microrganismos como agentes biorremediadores.

4 Materiais e Métodos

4.1 Cultura de microalgas

Foi utilizada uma associação de microalgas dulciaquícolas pertencentes à divisão Cyanophyta, às ordens Chroococcales e Oscillatoriales, estando identificada a última como *Phormidium* sp., fornecida pela Universidade Federal do Rio Grande – FURG, sendo de origem do Laboratório de Biotecnologia, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

As cianofíceas foram submetidas ao cultivo tradicional no meio Braun–Grunow (BGN) (RIPKA et al., 1979) na concentração inicial , o qual é constituído pelos seguintes componentes: $0,03\text{gL}^{-1}$ K_2HPO_4 ; $0,075\text{gL}^{-1}$ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $0,036\text{gL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $0,006\text{gL}^{-1}$ Citrato de ferro e amônio; $0,001\text{gL}^{-1}$ KNa_2EDTA ; $0,006\text{gL}^{-1}$ Ácido cítrico; $0,02\text{gL}^{-1}$ Na_2CO_3 ; $1,5\text{gL}^{-1}$ NaNO_3 ; $0,00286\text{gL}^{-1}$ H_3BO_3 ; $0,00181\text{gL}^{-1}$ $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $0,00222\text{gL}^{-1}$ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $0,0039\text{gL}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $0,00079\text{gL}^{-1}$ CuSO_4 ; $0,000454\text{gL}^{-1}$ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. O meio foi autoclavado antes de ser usado e o pH foi ajustado para 7,8 com uma solução de $0,1\text{molL}^{-1}$ de NaOH.

A partir do cultivo das cianofíceas na concentração $1,05\text{gL}^{-1}$ retirou-se 200mL os quais mantiveram-se em cultivo com o meio BGN, na condição de controle do experimento. As algas também foram cultivadas no meio BGN juntamente com os resíduos inorgânicos metálicos dos laboratórios a fim de serem avaliadas quanto ao crescimento, sendo associados 100mL do cultivo da cianofícea e 100mL do resíduo. Em paralelo, foi realizado um acompanhamento do crescimento das algas no meio BGN com adição das soluções de cromo e chumbo em cultivos separados com concentrações diferentes, as quais foram adicionadas na mesma proporção 100mL da solução dos sais e 100mL do cultivo da cianofícea, determinando assim a dose

letal desses metais para a microalga (ver Apêndice E.1) A microalga foi condicionada em uma sala climatizada (25°C), em um ciclo dia-noite de 10h/14h, cultivada em Erlenmeyer de 250mL sob agitação constante.

4.2 Determinação da concentração de metais no meio

A determinação dos metais presentes nos Resíduos Inorgânicos Metálicos dos laboratórios das aulas práticas de Química Geral e Físico-Química foi realizada no Laboratório de Análise de Contaminantes Ambientais – LACA, da Central Analítica do Instituto Federal Sul-Rio-grandense – IF-Sul. Os resíduos para a análise foram diluídos em água ultrapura do tipo Milli-Q (Millipore®) na proporção de 5x, 10x, 50x e 100x, além do resíduo concentrado.

A partir de uma solução estoque de 1000mgL^{-1} , preparou-se 5mL de solução trabalho de 50mgL^{-1} , utilizando-se como Branco a água ultrapura. O espectrômetro de absorção atômica AAnalyst 200 da PekinElmer precisely foi utilizado para as análises, sendo o capilar lavado com ácido nítrico (HNO_3) 5%. Foram preparados quatro padrões de metais pesados em balões volumétricos de 50mL, sendo as concentrações de chumbo e cromo de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1mgL^{-1} , enquanto que para o zinco e o cobre 0,5; 1; 2; 5 e 10mgL^{-1} . Para a análise no equipamento utilizou-se os seguintes valores do comprimento de onda: 359,35 para o cromo; 217,00 para o chumbo; 213,86 para o zinco e 327,40 para o cobre.

4.3 Entrevista com os professores da Química

Após realizar a análise dos resíduos laboratoriais e selecionado para trabalhar o resíduo das aulas práticas de Química Geral, foi realizada uma entrevista com os professores da Química que ministravam disciplinas no laboratório 210 do departamento de Química Analítica e Inorgânica da UFPel no segundo semestre do ano de 2010, visto que os resíduos utilizados ao longo de todo o processo experimental foram colhidos ao fim do referido semestre. Durante tal entrevista, procurou-se obter dados tais como a disciplina ministrada pelos professores, assim como as práticas realizadas que geravam resíduos descartados no recipiente destinado aos Resíduos Inorgânicos Metálicos (ver Apêndice D).

4.4 Determinação da DL

Para avaliar a DL foram utilizadas soluções de nitrato de chumbo II $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]$ adicionada no meio nas concentrações de 0,44; 0,94; 2,51 e $5,03\text{mgL}^{-1}$ de chumbo e de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) nas seguintes doses 0,033; 0,165; 0,660 e $1,65\text{mgL}^{-1}$ de cromo, a fim de determinar a melhor concentração para o experimento, acompanhamento realizado pelo teste de gravimetria e densidade celular. Além disso, tal crescimento das microalgas foi avaliado na solução contendo diferentes diluições do resíduo, pois alguns constituintes presentes que não foram determinados poderiam interferir na avaliação da mesma. As concentrações dos metais foram determinadas com base nos resultados obtidos da espectrometria de absorção atômica do IF-Sul (ver Apêndice E.2), a fim de determinar a dose letal (tóxica) para a microalga ajustados ao pH 7. Essa ecotoxicidade é constatada a partir do teste de viabilidade celular.

4.5 Viabilidade celular

Foi realizado um tratamento com o corante iodeto de propídio, que penetra em células mortas, emitindo um vermelho fluorescente. Alíquotas contendo $0,5 \times 10^6$ células mL^{-1} da cianobactéria foram tratadas com o iodeto a uma concentração final de $3\mu\text{g mL}^{-1}$ por 15min (GONZÁLEZ-BARREIRO et al., 2006). As amostras foram observadas no microscópio óptico (Olympus, CX41) utilizando-se o filtro de excitação azul (Blue Glass), a fim de observar o contraste das células coradas.

4.6 Análise do crescimento celular

A densidade celular (número de células mL^{-1}) foi determinada por contagem em um microscópio óptico (Olympus, CX41) em câmara de Neubauer, a fim de acompanhar o crescimento da microalga no cultivo, utilizando-se para melhor visualização das células uma gota do corante lugol acético, preparado conforme Lourenço (2006). Estabeleceu-se o método de contagem de cinco quadrados em diagonal da área central (E) da câmara de Neubauer. Assim, segundo Lourenço (2006), a determinação da densidade de células é realizada pelo fator de multiplicação 50.000 ($1/5$ E), considerando que na câmara de Neubauer cada quadrado grande tem $1,0\text{mm}^2$ e recebe uma “coluna” cuja altura é de 0,1mm. Desta

forma, o volume total sobre cada quadrado é determinado por: $1,0\text{mm}^2 \times 0,1\text{mm} = 0,1\text{mm}^3$ ou 10^{-4} .

4.7 Biomassa seca

A biomassa seca foi avaliada por meio do teste de gravimetria (APHA, 2005), no qual utiliza-se uma membrana HA em ésteres de celulose (nitrato 75-80% e acetato), $0,45\mu\text{m}$ e 47mm , a qual é mantida por uma hora em uma estufa (60°C), para remoção da umidade. Após a secagem, as membranas foram submetidas a pesagens consecutivas para a determinação do peso médio. A membrana foi acoplada a um filtro, sendo adicionados 20mL do cultivo, e conectado a uma bomba de vácuo, a fim de acelerar o processo de filtração, retendo apenas a biomassa da microalga na membrana, retornando para a estufa até secagem (ver Apêndice E.3). Posteriormente, nova pesagem é realizada e determinada a biomassa algal por diferença com o peso inicial da membrana.

4.8 Determinação da concentração de metais presentes no meio pós-cultivo

Após duas semanas de cultivo, considerando a realização de triplicatas do experimento, foi avaliada a atual concentração dos componentes metálicos após o meio ser filtrado, retendo-se a biomassa algal em um papel filtro quantitativo, concentrações avaliadas anteriormente, por espectrometria de absorção atômica, a fim de constatar a ocorrência da biorremediação. Tal constatação é baseada nos valores da concentração metálica obtidos no espectrômetro, havendo a redução é um indício do consumo pela microalga. Essa análise posterior foi realizada no Laboratório de Espectrometria Atômica da Universidade Federal de Santa Maria/RS por ICP-MS (Espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado) da PerkinElmer modelo Elan DRC II e ICP-OES (Espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado) da PerkinElmer optima 4300 DV, equipamentos que apresentam melhor sensibilidade para a análise.

4.9 Análise e tratamento da biomassa microalgal

A biomassa microalgal retida no papel filtro quantitativo após filtragem foi avaliada após a lavagem da parede celular com água ultrapura e $0,1\text{molL}^{-1}$ de ácido clorídrico (HCl) (BLANCO et al., 1999), evitando-se dados decorrentes dos metais presentes no meio e que se depositaram, com o objetivo de saber se houve translocação dos componentes.

5 Resultados e discussão

A concentração dos metais tóxicos nos resíduos dos laboratórios das aulas práticas de Química Geral (QG) e Físico-Química (FQ) foi determinada por espectrometria de absorção atômica. Os resultados estão apresentados na tab.1.

Tabela 1. Concentração dos metais nos resíduos dos laboratórios das aulas práticas de Química Geral (QG) e Físico-Química (FQ)

Metais	QG	RSD (%)	FQ	RSD (%)
Pb	1,455mgL ⁻¹	1,3	0,480mgL ⁻¹	5,2
Cr	0,317mgL ⁻¹	5,1	0,252mgL ⁻¹	2,7
Zn	102,25mgL ⁻¹	0,7	97,34mgL ⁻¹	0,1
Cu	1,635mgL ⁻¹	2,1	284,51mgL ⁻¹	1,0

Após avaliação dessas concentrações, os Resíduos Inorgânicos Metálicos do laboratório de Química Geral foram utilizados para o estudo proposto, uma vez que apresentavam maiores concentrações dos principais metais do estudo (chumbo e cromo). As concentrações utilizadas para a avaliação da ecotoxicidade, tanto para o resíduo concentrado quanto para o 2x diluído (em água ultrapura) são apresentados na tab.2.

Tabela 2. Concentrações dos metais que foram utilizadas dos resíduos da Química Geral

Metais	Resíduo concentrado	Resíduo 2x
Pb	1,455mgL ⁻¹	0,7275mgL ⁻¹
Cr	0,317mgL ⁻¹	0,1585mgL ⁻¹
Zn	102,25mgL ⁻¹	51,125mgL ⁻¹
Cu	1,635mgL ⁻¹	0,8175mgL ⁻¹

O crescimento da cianofícea foi acompanhado (tab.3, ver Apêndice A) durante 240h paralelamente em cultivos com soluções de nitrato de chumbo II – Pb(NO₃)₂ – nas concentrações de 0,44; 0,94; 2,51 e 5,03mgL⁻¹ de chumbo, bem como soluções de dicromato de potássio – K₂Cr₂O₇ – nas seguintes concentrações de cromo 0,033; 0,165; 0,660 e 1,65mgL⁻¹. Além disso, foi feito o acompanhamento do crescimento da alga em condições apropriadas como tratamento controle (ver Apêndice E.3).

Com base nos dados apresentados, observou-se um crescimento constante da biomassa algal no cultivo controle, enquanto o experimento com os resíduos teve um reduzido crescimento de biomassa, demonstrando a interferência da diversidade de solutos metálicos no crescimento da alga, assim como foi possível observar baixa produção de clorofila (ver Apêndice E.4).

Conforme Lamaia et al. (2005) observaram em um tratamento com chumbo e cádmio em algas verdes, os sintomas de toxicidade dos metais envolvem danos nos cloroplastos (organela que costuma ser mais afetada pela contaminação por metais) e conseqüente redução do seu número, desintegração da parede celular e finalmente morte celular. Deve ser considerado que os sintomas tornam-se mais severos na medida em que a concentração e o tempo de exposição ao metal são aumentados.

Comparando com os dados do presente estudo, o fato da concentração dos metais, chumbo e cromo, encontrados no resíduo concentrado não apresentarem tanta influência para as microalgas pode ser notado no experimento com as

soluções preparadas, sendo que a acentuada mortalidade das células provavelmente está relacionada ao sinergismo da gama de metais contidos no resíduo.

Em relação às soluções de nitrato de chumbo II, a concentração de $0,44\text{mgL}^{-1}$ Pb destaca-se, apresentando um crescimento mais próximo do controle, constatando que esta baixa concentração não afetou intensamente a microalga. Enquanto que dentre os experimentos com a solução de dicromato de potássio, nota-se uma estabilização maior no crescimento na concentração de $1,65\text{mgL}^{-1}$ Cr, inclusive apresentando uma redução da biomassa, maior queda no pH e no cultivo maior clareamento na tonalidade, indução da baixa produção de clorofila e provavelmente à morte das algas (ver Apêndice E.5). Dado relevante devido à tendência à alcalinização do meio como resultado da fotossíntese, podendo atingir o pH equivalente a 10 (ver Apêndice A).

Cabe ressaltar que dependendo da natureza da biomassa, diferentes valores de pH ótimos para a biossorção tem sido registrados para diferentes metais (CHANG et al., 1997; PANDA et al., 2007). Segundo YÜCE et al. (2010), respostas eletroquímicas tem sido testadas em uma faixa de pH de 5,0 a 9,0, sendo a melhor sensibilidade apresentada no pH 8,0 para $5,0 \times 10^{-6}\text{molL}^{-1}$ Pb. Nessas condições houve um gradual aumento no pico da corrente, que poderia ser explicado pelo aumento da competitividade de ligação dos íons de chumbo com ligantes permanentes de íons hidrogênio. Além disso, em valores de pH mais ácidos, muitos dos sítios de ligação poderiam ser protonados e essa situação pode impedir a possibilidade de ligação do chumbo.

Na semana inicial do experimento foi realizada a contagem celular exclusivamente da microalga *Phormidium* sp. (tab.3), contudo a constatação da predominância da microalga pertencente à ordem Chroococcales (ver Apêndice E.6), também uma cianofíceia, levou enfoque para todas as unidades celulares (tab.4).

Tabela 3. Número de células de *Phormidium* sp. em contagem total da câmara de Neubauer

Cultivo	0h	24h	48h	72h
Controle	11	19	5	11
Resíduo concentrado	11	7	4	4
Resíduo 2x	8	6	1	3
Pb(NO ₃) ₂ 0,44mgL ⁻¹	6	8	0	0
Pb(NO ₃) ₂ 0,94mgL ⁻¹	4	3	1	3
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹	6	1	1	1
Pb(NO ₃) ₂ 5,03mgL ⁻¹	5	1	1	0
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,033mgL ⁻¹	15	6	0	0
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,165mgL ⁻¹	15	3	0	5
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,660mgL ⁻¹	nd	2	4	3
K ₂ Cr ₂ O ₇ 1,65mgL ⁻¹	nd	nd	nd	2

*nd = não determinado

Tabela 4. Densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo

Cultivo	168h	192h	216h
Controle	36,9 x 10 ⁶	32,3 x 10 ⁶	26,95 x 10 ⁶
Resíduo concentrado	21,3 x 10 ⁶	27,95 x 10 ⁶	17,1 x 10 ⁶
Resíduo 2x	14,95 x 10 ⁶	27,73 x 10 ⁶	10,5 x 10 ⁶
Pb(NO ₃) ₂ 0,44mgL ⁻¹	64,1 x 10 ⁶	88,13 x 10 ⁶	109,95 x 10 ⁶
Pb(NO ₃) ₂ 0,94mgL ⁻¹	57,85 x 10 ⁶	75,15 x 10 ⁶	76,55 x 10 ⁶
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹	33,25 x 10 ⁶	66,35 x 10 ⁶	92,8 x 10 ⁶
Pb(NO ₃) ₂ 5,03mgL ⁻¹	nd	111,1 x 10 ⁶	106,85 x 10 ⁶
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,033mgL ⁻¹	nd	nd	nd
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,165mgL ⁻¹	nd	nd	nd

Continuação da Tabela 4. Densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo

$K_2Cr_2O_7$ 0,660mgL ⁻¹	nd	nd	nd
$K_2Cr_2O_7$ 1,65mgL ⁻¹	nd	nd	nd

*nd = não determinado

Conforme o teste de gravimetria (ver Apêndice E.7), pode ser observado nas tabs.4 e 5, mediante a massa apresentada pela microalga, a constatação pela contagem celular de uma acentuada queda no número de células nos cultivos com os resíduos.

Após 240 horas de cultivo, foi realizado o teste de viabilidade celular, conforme apresentado na tab.5. Segundo esse teste, as células coradas de vermelho, indicam morte celular, visto que a parede celular não se manteve impermeável diante do corante iodeto de propídio.

Tabela 5. Porcentagem de células vivas mediante teste de viabilidade celular

Cultivos	Células vivas (%)
Controle	100
Resíduo concentrado	0
Resíduo 2x	2
$Pb(NO_3)_2$ 0,44mgL ⁻¹	98
$Pb(NO_3)_2$ 0,94mgL ⁻¹	98
$Pb(NO_3)_2$ 2,51mgL ⁻¹	95
$Pb(NO_3)_2$ 5,03mgL ⁻¹	90
$K_2Cr_2O_7$ 0,033mgL ⁻¹	90
$K_2Cr_2O_7$ 0,165mgL ⁻¹	85
$K_2Cr_2O_7$ 0,660mgL ⁻¹	60
$K_2Cr_2O_7$ 1,65mgL ⁻¹	50

Após o longo período de exposição aos contaminantes, conforme era aumentada a concentração dos metais, maior influência sobre as microalgas era exercida, demonstrando maior porcentagem de células mortas.

O crescimento da biomassa seca de cada um dos cultivos é apresentado nas Fig. 1, 2 e 3, sendo que os valores apresentados não se referem ao valor real da biomassa, mas estão demonstrando a variação diária.

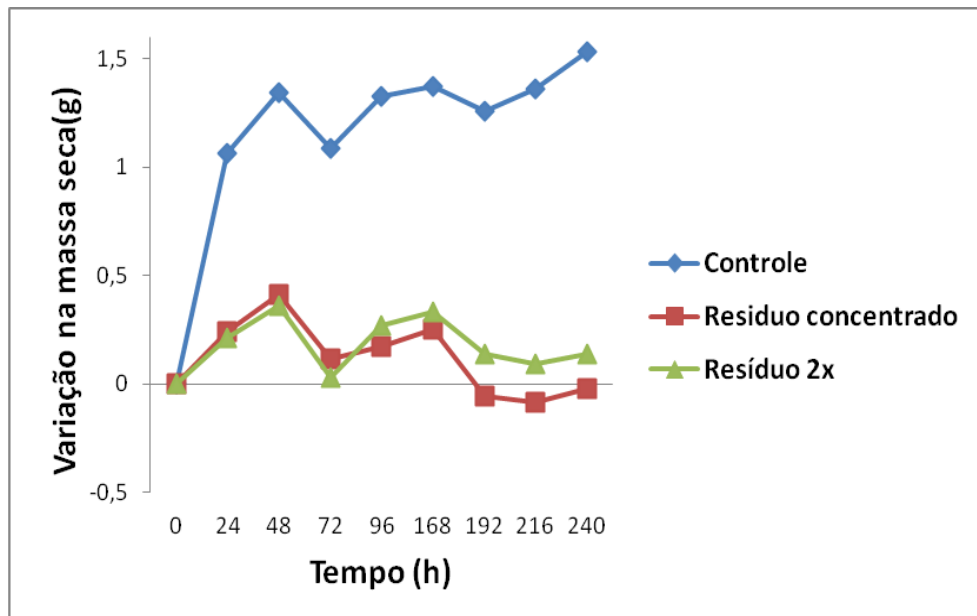


Figura 1. Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e resíduos.

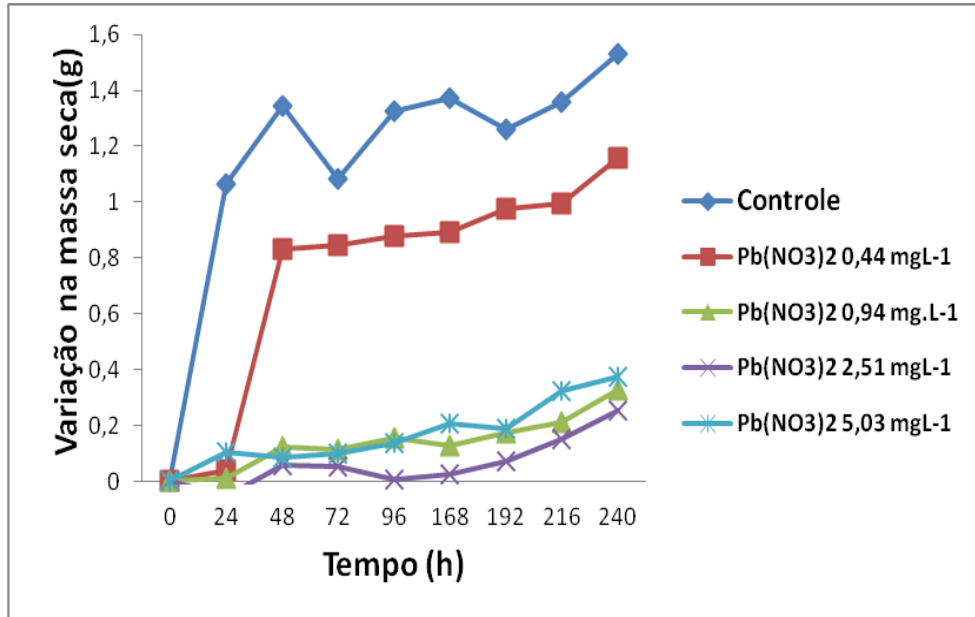


Figura 2. Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de nitrato de chumbo.

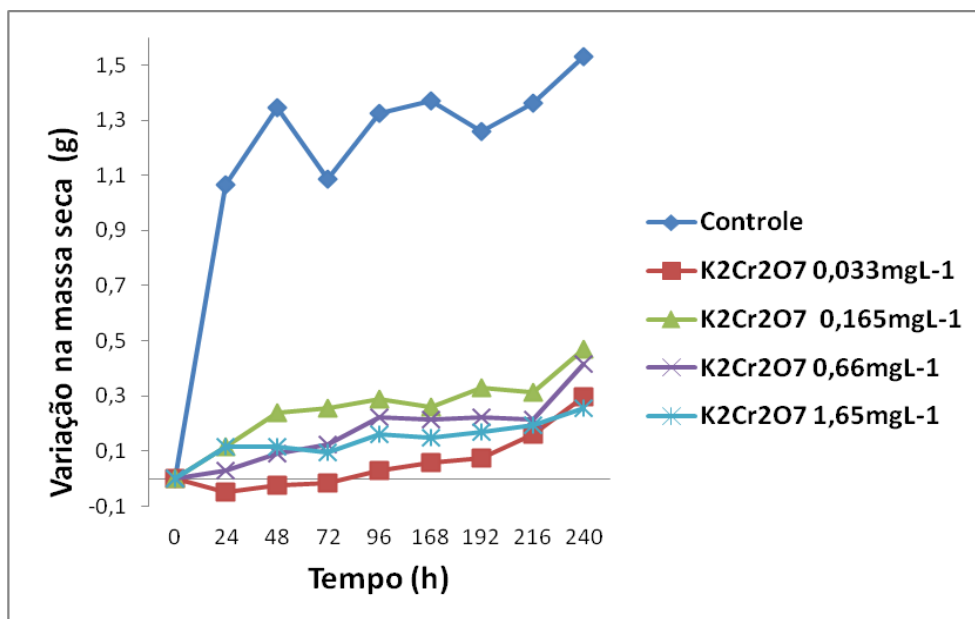


Figura 3. Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de dicromato de potássio.

A partir desses dados foram selecionados os cultivos que apresentaram queda de crescimento, mediante ação dos metais, de modo a apresentarem cerca de 24% de crescimento quando comparados ao controle. Tal seleção tem por base o objetivo do trabalho, de observar a capacidade da microalga de realizar a

biorremediação em ambientes alterados com elevadas concentrações de metais tóxicos, simulando uma condição mais próxima da realidade e que a microalga ainda apresente crescimento para avaliação do seu comportamento.

Assim, para a análise de ecotoxicidade seguinte foram utilizados os cultivos: controle, resíduo 3x, resíduo 4x, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ $2,51\text{mgL}^{-1}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ $5,03\text{mgL}^{-1}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,660\text{mgL}^{-1}$ e $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $1,65\text{mgL}^{-1}$ (ver Apêndice B). A concentração dos metais presentes nos resíduos 3x e 4x diluídos são apresentados na tab.6.

A densidade celular diária das microalgas está apresentada na tab.7, apresentando aumento para todos os cultivos. Após 240 horas de cultivo foi realizado o teste de viabilidade celular, sendo que os resultados obtidos estão apresentados na tab.8.

Conforme observa-se no Apêndice B, a diluição dos resíduos refletiu no melhor crescimento das microalgas, devido à elevada diluição dos contaminantes, que resultou na ausência de sintomas refletidos na elevada taxa de células vivas, demonstrando aumento da biomassa. Além disso, as maiores concentrações de chumbo e cromo permaneceram apresentando crescimento, apesar deste ser menor (ver Apêndices E.8 e E.9).

Tabela 6. Concentrações dos metais nas diluições dos resíduos

Metais	Resíduo 3x	Resíduo 4x
Pb	$0,485\text{mgL}^{-1}$	$0,3637\text{mgL}^{-1}$
Cr	$0,106\text{mgL}^{-1}$	$0,0792\text{mgL}^{-1}$
Zn	$34,08\text{mgL}^{-1}$	$25,5625\text{mgL}^{-1}$
Cu	$0,54\text{mgL}^{-1}$	$0,4087\text{mgL}^{-1}$

Tabela 7. Densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo

Cultivo	0h	24h	48h	72h	96h	168h	192h	216h	240h
Controle	18,95 x 10 ⁶	14,5 x 10 ⁶	19 x 10 ⁶	31,7 x 10 ⁶	33,15 x 10 ⁶	45,05 x 10 ⁶	46,55 x 10 ⁶	58,25 x 10 ⁶	67,45 x 10 ⁶
Resíduo 3x	2,45 x 10 ⁶	3,65 x 10 ⁶	11,3 x 10 ⁶	13,6 x 10 ⁶	12,7 x 10 ⁶	3,75 x 10 ⁶	8,7 x 10 ⁶	17,1 x 10 ⁶	31,50 x 10 ⁶
Resíduo 4x	6,4 x 10 ⁶	8,8 x 10 ⁶	17,4 x 10 ⁶	15,8 x 10 ⁶	19,45 x 10 ⁶	21,45 x 10 ⁶	25,15 x 10 ⁶	28,5 x 10 ⁶	30,05 x 10 ⁶
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹	16,8 x 10 ⁶	19,4 x 10 ⁶	22,9 x 10 ⁶	31,95 x 10 ⁶	35,25 x 10 ⁶	41,2 x 10 ⁶	33,2 x 10 ⁶	74,65 x 10 ⁶	90,85 x 10 ⁶
Pb(NO ₃) ₂ 5,03mgL ⁻¹	16,7 x 10 ⁶	17,95 x 10 ⁶	26,9 x 10 ⁶	33,15 x 10 ⁶	40,05 x 10 ⁶	39,1 x 10 ⁶	51,3 x 10 ⁶	54,55 x 10 ⁶	61,65 x 10 ⁶
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,66mgL ⁻¹	21,4 x 10 ⁶	17,25 x 10 ⁶	22,65 x 10 ⁶	29,7 x 10 ⁶	31,5 x 10 ⁶	44,65 x 10 ⁶	47,5 x 10 ⁶	64 x 10 ⁶	99,6 x 10 ⁶
K ₂ Cr ₂ O ₇ 1,65mgL ⁻¹	20,05 x 10 ⁶	16,65 x 10 ⁶	20,5 x 10 ⁶	22,3 x 10 ⁶	27,15 x 10 ⁶	29,65 x 10 ⁶	38,35 x 10 ⁶	35,55 x 10 ⁶	40,3 x 10 ⁶

Tabela 8. Porcentagem de células vivas mediante teste de viabilidade celular

Cultivos	Células vivas (%)
Controle	100
Resíduo 3x	98
Resíduo 4x	99
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹	99
Pb(NO ₃) ₂ 5,03mgL ⁻¹	96
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,66mgL ⁻¹	97
K ₂ Cr ₂ O ₇ 1,65mgL ⁻¹	99

O crescimento da biomassa seca de cada um dos cultivos é apresentado nas Fig. 4, 5 e 6.

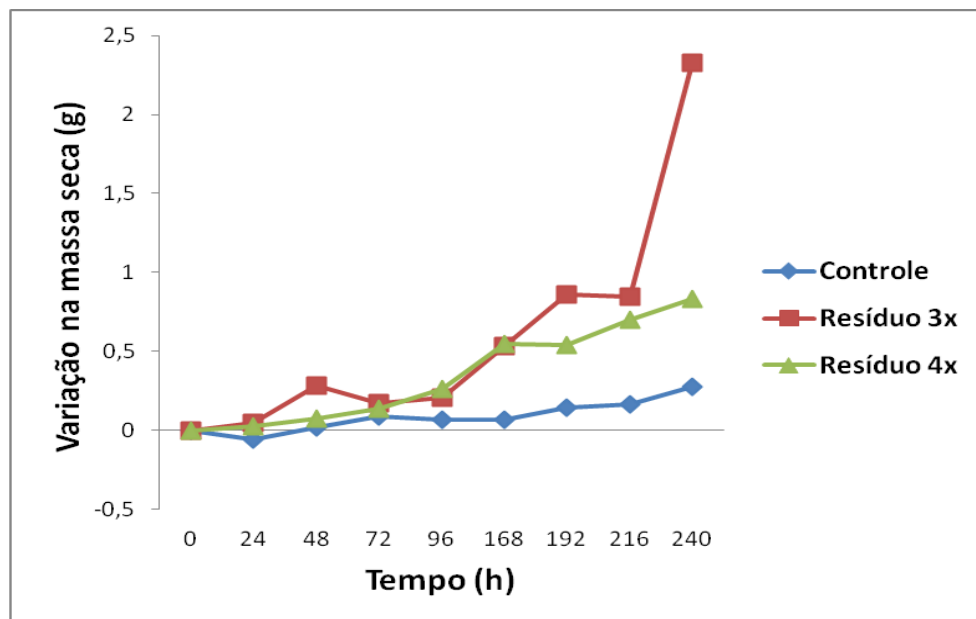


Figura 4. Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e resíduos.

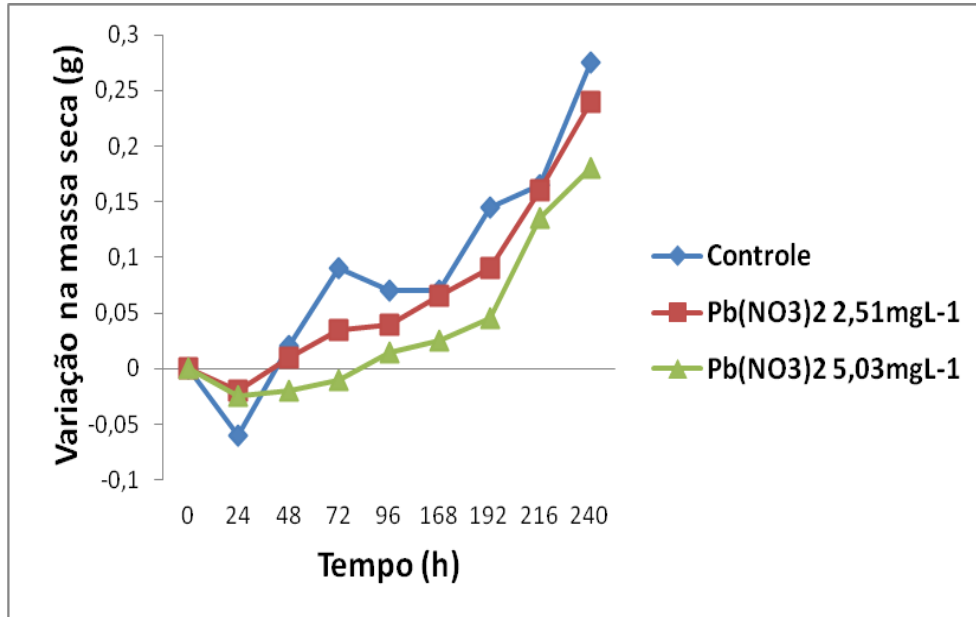


Figura 5. Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de nitrato de chumbo.

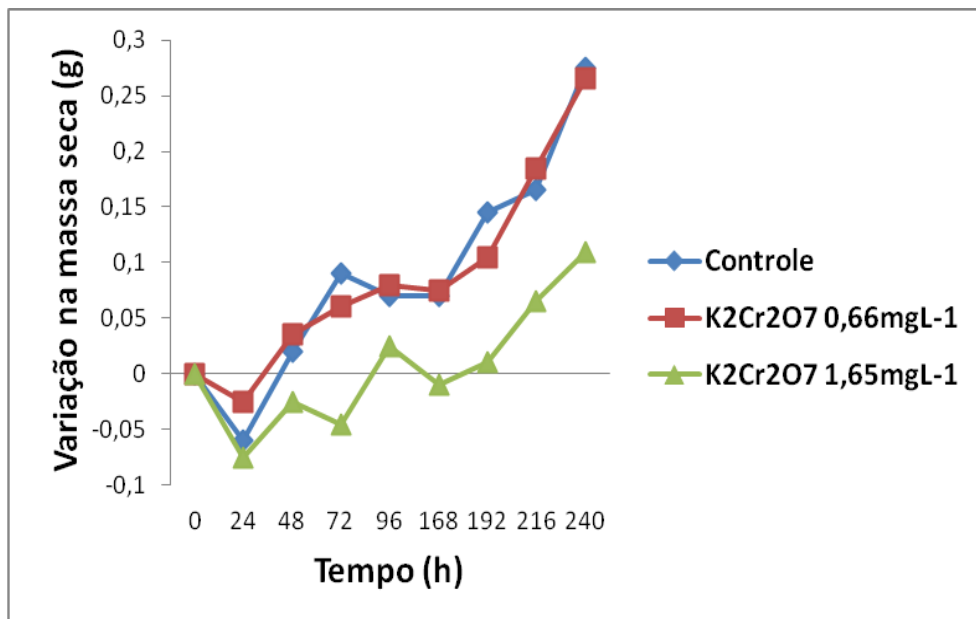


Figura 6. Avaliação do crescimento da biomassa seca da microalga relacionando os cultivos do controle e soluções de dicromato de potássio.

Após a realização dos testes de ecotoxicidade com as diferentes concentrações para o crescimento das microalgas, foi realizada uma nova análise sob as mesmas condições anteriores. Nessa análise utilizou-se as doses definitivas para a posterior avaliação do meio de cultivo, a fim de determinar a concentração final dos metais presentes, e assim poder constatar a ocorrência da biorremediação. Os cultivos escolhidos foram o controle, $2,51\text{mgL}^{-1}$ do sal de nitrato de chumbo II $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]$ juntamente com $0,66\text{mgL}^{-1}$ do sal de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), bem como o resíduo concentrado, com o objetivo das concentrações dos metais não ficarem muito discrepantes (ver Apêndice E.10). Deve-se considerar que tal análise foi realizada em triplicata.

Os resultados apresentados no Apêndice C e na tab.9 são referentes aos dados do crescimento das microalgas nos três cultivos e o acompanhamento da densidade celular, respectivamente. Após 240 horas de cultivo foi realizado o teste de viabilidade celular, sendo que os resultados obtidos estão apresentados na tab.10.

A análise dos dados constata o crescimento gradual e constante da biomassa microalgal do controle, assim como o crescimento predominante, embora menor, das triplicatas das associações de nitrato de chumbo II e dicromato de potássio. Enquanto a avaliação do experimento com os resíduos laboratoriais demonstra um crescimento reduzido e predomínio de morte celular nas alíquotas observadas após as 240h de exposição.

Ao final desse experimento, as alíquotas dos meios colhidas diariamente foram analisadas por ICP-MS e ICP-OES no Laboratório de Espectrometria Atômica da Universidade Federal de Santa Maria, juntamente com a biomassa microalgal a fim de determinar a concentração de metais presentes.

Tabela 9. Média e desvio padrão da densidade celular das microalgas nos respectivos tempos de cultivo

Cultivo	0h	24h	48h	72h	96h	144h	168h	192h	216h	240h
Controle	$2,6 \times 10^6$ ± 0,85	$3,3 \times 10^6$ ± 1,05	$2,3 \times 10^6$ ± 0,88	$4,3 \times 10^6$ ± 0,61	$7,1 \times 10^6$ ± 1,66	$13,8 \times 10^6$ ± 1,76	$16,6 \times 10^6$ ± 3,68	$27,5 \times 10^6$ ± 7,67	$29,1 \times 10^6$ ± 7,33	$37,4 \times 10^6$ ± 11,30
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹ e K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,66mgL ⁻¹	$3,5 \times 10^6$ ± 0,51	$3,9 \times 10^6$ ± 0,29	$5,1 \times 10^6$ ± 0,41	$2,8 \times 10^6$ ± 0,51	$2,9 \times 10^6$ ± 2,41	$4,2 \times 10^6$ ± 1,84	$5,1 \times 10^6$ ± 2,96	$7,1 \times 10^6$ ± 4,38	$11,3 \times 10^6$ ± 6,24	$13,2 \times 10^6$ ± 5,68
Resíduo	$3,1 \times 10^6$ ± 2,00	$2,9 \times 10^6$ ± 0,20	$3,1 \times 10^6$ ± 0,20	$3,0 \times 10^6$ ± 1,44	$4,0 \times 10^6$ ± 1,17	$4,2 \times 10^6$ ± 0,26	$3,7 \times 10^6$ ± 0,58	$3,9 \times 10^6$ ± 0,52	$4,5 \times 10^6$ ± 0,36	$3,4 \times 10^6$ ± 1,29

Tabela 10. Porcentagem média das células vivas das triplicatas de cultivo mediante teste de viabilidade celular

Cultivos	Células vivas (%)
Controle	100
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹ e K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,66mgL ⁻¹	98
Resíduo	0

A média da variação da biomassa das triplicatas dos cultivos controle, nitrato de chumbo $2,51\text{mgL}^{-1}$ e dicromato de potássio $0,66\text{mgL}^{-1}$ e o resíduo concentrado é apresentada na Fig. 7.

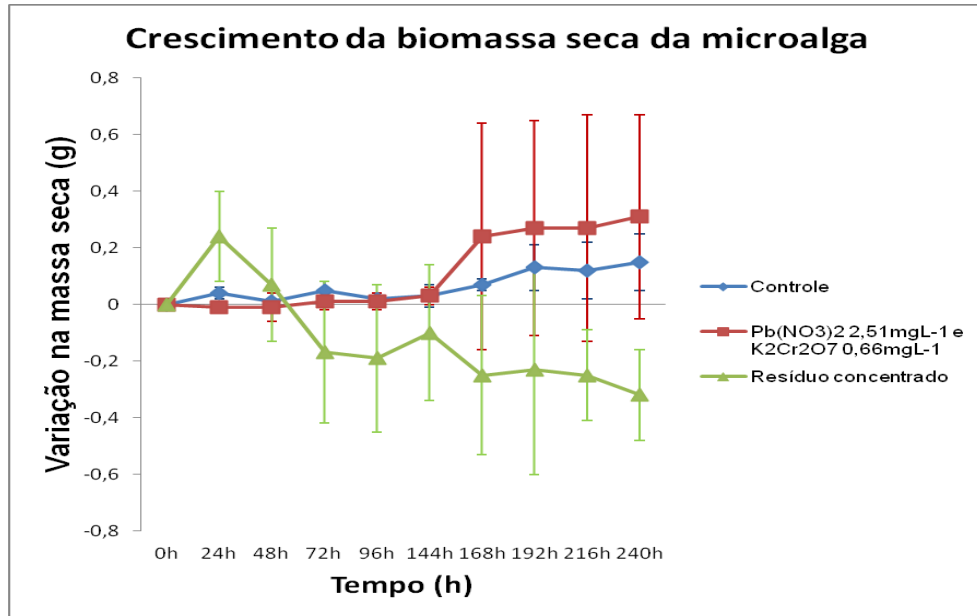


Figura 7. Padrão de crescimento dos cultivos controle, nitrato de chumbo $2,51\text{mgL}^{-1}$ e dicromato de potássio $0,66\text{mgL}^{-1}$ e com os resíduo laboratorial concentrado.

- Resultados da análise dos meios de cultivo e da biomassa algal

Conforme esperado a detecção dos metais no tratamento controle apresentou concentrações de cromo abaixo do limite de detecção do equipamento. Para o chumbo, comportamento semelhante foi observado, pois as concentrações detectadas foram baixas e, provavelmente, oriundas de contaminações de reagentes e material. Ao analisar os meios de cultivo observa-se uma redução de cromo e chumbo nos resíduos, onde para cromo a redução foi de $63,8\mu\text{gL}^{-1}$ para $56,2\mu\text{gL}^{-1}$ e para chumbo de $418\mu\text{gL}^{-1}$ para $239\mu\text{gL}^{-1}$. Como pode ser observado, esta redução foi de aproximadamente 12% para cromo e de 43% para chumbo, o que pode ser considerado bastante significativo levando em consideração as concentrações iniciais às quais as microalgas foram submetidas, conforme mostrado na tab.11.

Tabela 11. Determinação de Cr e Pb (μgL^{-1}) nos meios de cultivo

Amostras	Cr	Pb
C ₀	< 0,100	4,29
C ₂₄	< 0,100	6,15
C ₄₈	< 0,100	3,90
C ₇₂	< 0,100	41,17
C ₉₆	< 0,100	29,74
C ₁₄₄	< 0,100	14,8
C ₁₆₈	< 0,100	2,94
C ₁₉₂	< 0,100	5,45
C ₂₁₆	< 0,100	3,06
C ₂₄₀	< 0,100	6,08
PbCr ₀	103	806
PbCr ₂₄	151	786
PbCr ₄₈	128	814
PbCr ₇₂	144	904
PbCr ₉₆	118	790
PbCr ₁₄₄	124	805
PbCr ₁₆₈	127	760
PbCr ₁₉₂	120	775
PbCr ₂₁₆	126	811
PbCr ₂₄₀	122	796
R ₀	63,8	418
R ₂₄	54,2	300
R ₄₈	64,8	334
R ₇₂	44,1	239
R ₉₆	62,2	259
R ₁₄₄	57,4	249
R ₁₆₈	61,4	250
R ₁₉₂	47,1	234
R ₂₁₆	53,4	213
R ₂₄₀	56,2	239

Tabela 12. Concentração de Cr e Pb (μgg^{-1}) nas cianofíceas.

Amostras	Cr	Pb
Cianofíceas controle	0,931	4,05
Cianofíceas PbCr	130	497
Cianofíceas resíduo concentrado	19,4	272

As soluções sintéticas de $0,66\text{mgL}^{-1}$ de cromo e $2,51\text{mgL}^{-1}$ de chumbo, as quais foram preparadas para avaliar o comportamento dos metais, não solubilizaram completamente, devido provavelmente ao pH do meio (SAQUETO et al., 2006). Com base nos resultados e nesse comportamento dos sais, as concentrações no meio apresentaram pequenas variações no decorrer do experimento, não sendo relevantes em relação ao chumbo e pouco expressivas para o cromo ($151\text{-}122\mu\text{gL}^{-1}$). Contudo, avaliando as cianófitas nesse tratamento a concentração de cromo e chumbo foi de 86% e 62%, respectivamente, em relação à solução inicial (tab.12).

Além disso, como forma de investigar as concentrações dos metais na biomassa algal, após 240h de cultivo, foram realizadas determinações de cromo e chumbo, tanto nas amostras cultivadas no resíduo concentrado, bem como na solução de Cr e Pb e no controle, e os resultados obtidos estão na tab.12. Assim, pode ser observado que ocorreu um aumento significativo de cromo e chumbo na biomassa algal quando exposta ao resíduo. Este aumento foi de aproximadamente 30% para cromo e 65% para chumbo, o que comprova a eficácia da microalga utilizada neste estudo para a remoção de cromo e chumbo de resíduos gerados nos laboratórios de química.

6 Conclusão

A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar que as microalgas, apesar de submetidas a concentrações elevadas de metais tóxicos, apresentaram um crescimento significativo de 53% com relação ao controle. Assim, mediante as concentrações de $2,51\text{mgL}^{-1}$ Pb e de $0,66\text{mgL}^{-1}$ Cr as microalgas apresentaram um bom crescimento em relação às demais doses avaliadas, tendo sido selecionadas para o acompanhamento da capacidade de bioabsorção e possível metabolização dos metais. Além disso, foi possível comprovar a capacidade das microalgas em retirar do meio aquoso os metais tóxicos cromo e chumbo após as 240 horas de exposição, translocando-os para a sua biomassa os valores equivalentes a 30% de cromo e 65% de chumbo.

Portanto, a eficácia das cianofíceas na remoção de metais tóxicos do meio residual, comprovada no presente estudo, é um dado relevante que proporcionará a sua possível utilização para o tratamento de águas residuais resultantes de laboratórios de pesquisa. Além disso, a divulgação das análises dos metais presentes nos resíduos dos laboratórios de aulas práticas da Química poderá instigar mudanças, visando à redução dos poluentes gerados, assim como a conscientização acadêmica.

Referências

AFONSO, J.C.; NORONHA, L.A.; FELIPE, R.P.; FREIDINGER, N. Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. **Química Nova**, v.26, n.4, p.602-611, 2003.

ALEXANDER, Martin. **Biodegradation and Bioremediation**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1994. 302p.

AMADO JÚNIOR, Odilon G. PERFIL DO SETOR DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – ABETRE (Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos). 2011. Disponível em: < <http://www2.fiescnet.com.br/web/uploads/recursos/23bbd4203cce8bd89ea1d566c39e9357.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2011.

AMARAL, S.T.; MACHADO, P.F.L.; PERALBA, M.C.R.; CAMARA, M.R.; SANTOS, T.; BERLEZE, A.L.; FALCÃO, H.L.; MARTINELLI, M.; GONÇALVES, R.S.; OLIVEIRA, E.R.; BRASIL, J.L.; ARAÚJO, M.A.; BORGES, A. C.A. Relato de uma experiência: recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, v.24, n.3, p.419-423, 2001.

APHA; AWWA;WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

ARMOUR, Margaret-Ann. Chemical waste management and disposal. **Journal of Chemical Education**, v.65, n.3, p.A64, 1988.

ASHBROOK, P.C.; REINHARDT, P.A.; Hazardous wastes in academia. **Environmental Science & Technology**, v.19, n.12, p.1150-1155, 1985.

BAADER, W.J.; FARIAS, D.L.A.; MARZORATI, L.; VITTA, C.Di; SERRANO, S.H.P.; BERTOTTI, M.; BAPTISTA, M.S. Programa de Gerenciamento de Resíduos no Instituto de Química da Universidade de São Paulo. In: REUNIÃO ANUAL DA SBQ, 24, 2001, Poço de Caldas. Livro de Resumos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2001. p.AB002.

BAI, R.S; ABRAHAM, T.E. Studies on chromium(VI) adsorption–desorption using immobilized fungal biomass. **Bioresource Technology**, v.87, n.1, p.17–26, 2003.

BAJPAI, J; SHRIVASTAVA, R; BAJPAI, A.K. Dynamic and equilibrium studies on adsorption of Cr(VI) ions onto binary bio-polymeric beads of cross linked alginate and

gelatin. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v.236, n.1-3, p.81–90, 2004.

BENDASSOLLI, J.A.; MÁXIMO, E.; TAVARES, G.A.; IGNOTO, R.F. Gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. **Química Nova**, v.26, n.4, p.612-617, 2003.

BLANCO, A.; SANZ, B.; LLAMA, M.J.; SERRA, J.L. Biosorption of heavy metals to immobilised *Phormidium laminosum* biomass. *Journal of Biotechnology*, v.69, n.2-3, p.227–240, 1999.

CHAPIN III, F.S. ; WALTER, B.H.; HOBBS, R.J.; HOOPER, D.U.; LAWTON, J.H.; SALA, O.E.; TILMAN, D. Biotic control over the functioning of ecosystems. **Science**, v.277, n.5325, p.500-504, 1997.

CHORUS, Ingrid. **Cyanotoxins: occurrence, causes, consequences**. Nova Iorque: Springer-Verlag Heidelberg. 2001. 357p.

CHU, K.H.; HASHIM, M.A. Quantitative analysis of copper biosorption by the microalga *Chlorella vulgaris*. **Environmental Engineering Science**, v.21, n.2, p. 139-147, 2004.

CID, A.; HERRERO, C.; ENRIQUE, T.; ABALDE, J. Copper toxicity on the marine microalga *Phaeodactylum tricornutum*: effects on photosynthesis and related parameters. **Aquatic Toxicology**, v.31, n.2, p.165-174, 1995.

COBBETT, C.; GOLDSBROUGH, P. Phytochelatins And Metallothioneins: Roles in Heavy Metal Detoxification and Homeostasis. **Annual Review of Plant Physiology**, v.53, n.4, p.159-182, 2002.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.357, 17 março 2005. Ministério do Meio Ambiente, 2005. 23p.

CRÁPEZ, M.A.C.; BORGES, A.L.N.; BISPO, M.G.S.; PREREIRA, D.C. Tratamento para derrames de petróleo. **Ciência Hoje**, v.30, n.179, p.32–37, 2002.

CRIST, R.H.; OBERHOLSER, K.; SHANK, N.; NGUYEN, M. Nature of bonding between metallic ions and algal cell walls. **Environmental Science & Technology**, v.15, n.10, p.1212-1217, 1981.

CUNHA, Carlos Jorge da. The laboratory waste program of the Chemistry Department of UFPR. **Química Nova**, v.24, n.3, p.424-427, 2001.

DAVIS, A.T.; VOLESKY, B.; MUCCI, A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. **Water Research**, v.37, p.4311–4330, 2003.

GERBASE, A.E.; COELHO, F.S.; MACHADO, P.F.L.; FERREIRA, V.F. Gerenciamentos de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v.28, n.1, p.3, 2005.

GONZÁLEZ-BARREIRO, O.; RIOBOO, C.; HERRERO, C.; CID, A. Removal of triazine herbicides from freshwater systems using photosynthetic microorganisms. **Environmental Pollution**, v.144, n.1, p.266-271, 2006.

GORHAM, P.R.; McLACHLAV, J.R.; HAMMER, V.T. e KIM, W.K. Isolation and culture of toxic strain of *Anabaena flos-aquae*. **Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology**, v.15, p.796-804, 1964.

ISI WEB OF KNOWLEDGE. Disponível em: <<http://isiwebofknowledge.com/translations/portugues-portugal/>>. Acesso em: 03 out. 2011

JARDIM, Wilson de Figueiredo. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v.21, n.5, 671, 1998.

KAUFMAN, J. A. Developing a chemical management system. In: KAUFMAN, J. A. (Ed.) **Waste disposal in academic institutions**. Michigan: Lewis, p. 93-100. 1990.

KHALAF, Mahmoud A. Biosorption of reactive dye from textile wastewater by nonviable biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra* sp. **Bioresource Technology**, v.99, n.14, p.6631–6634, 2008.

KORDA, A.; SANTAS, P.; TENENTE, A.; SANTAS, R. Petroleum hydrocarbon bioremediation: sampling and analytical techniques, in situ treatments and commercial microorganisms currently used. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.48, p.677–686, 1997.

LAMAIA, C.; KRUATRACHUEA, M.; POKETHITIYOOKA, P; UPATHAMB, E.S.; SOONTHORN SARATHOOLA, V. Toxicity and accumulation of lead and cadmium in the filamentous green alga *Cladophora fracta*: A laboratory study. **ScienceAsia**, v.31, p.121-127, 2005.

LIM, S.-L.; CHU, W.-L.; PHANG, S.-M. Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. **Bioresource Technology**, v.101, p.7314–7322, 2010.

LOURENÇO, Sergio Oliveira. **Cultivo de microalgas marinhas – princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 2006. 606p.

LOURIE, E.; PATIL, V.; GJENGEDAL, E. Efficient Purification of heavy-metal-contaminated water by microalgae-activated pine bark. **Water Air Soil Pollut**, v.210, p.493–500, 2010.

MALDONADO, J.; DE LOS RIOS, Asunción; ESTEVE, I.; ASCASO, C.; PUYEN Z.M.; BRAMBILLA, C.; SOLÉA, A. Sequestration and in vivo effect of lead on DE2009 microalga, using high-resolution microscopic techniques. **Journal of Hazardous Materials**, v.183, p.44–50, 2010.

MONTEIRO, C.M.; CASTRO, P.M.L.; MALCATA, F. X. Biosorption of zinc ions from aqueous solution by the microalga *Scenedesmus obliquus*. **Environmental Chemistry Letters**, v.7, p.1-8, 2009.

MUR, Luuc R.; SKULBERG, Olav M.; UTKILEN, Hans Cyanobacteria in the environment. 1999. In CHORUS, Ingrid; BARTRAM, Jamie. **Toxic cyanobacteria in**

water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: E & FN Spon. 1999. 15-40 pp.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, CHEMICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Disposal of Chemicals. Washington, 1995.

NAVARRETE, A.A.; PIZANO, M.A.; JÚNIOR, O.N.; PIÃO, A.C.S.; ANGELIS, D.F. Toxicidade de solo de "landfarming" de refinaria de petróleo tratado com algas para a minhoca *Eisenia fetida*. **Holos Environment**, v.9, n.1, p.82-92, 2009.

NRIAGU, Jerome. O.; NIEBOER, Evert. **Chromium in the natural and human environments**. Ontario: Wiley Inter-Science, 1988. 571p.

NRIAGU, Jerome.O. A silent epidemic of environmental metal poisoning? **Environmental Pollution**, v.50, n.1-2, p.139–161, 1988.

NYER, Evan K. **Groundwater and soil remediation:** Practical methods and strategies. Michigan: Ann Arbor Press, 1998. 226p.

OSSWALD, Joana Fernandes da Fonseca da Costa Martins. **Estudo da toxicidade de cianobactérias diazotróficas da Albufeira do Maranhão (Portugal)**. 2002. 89f. Tese (Mestrado em Hidrobiologia)-Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto.

PASSOS, J. A. L.; PEREIRA, F. A.; TOMICH, S. Approaches and practices related to hazardous waste management, processing and final disposal in Germany and Brazil, **Water Science and Technology**, v.29, n.8, p.105-116,1994.

PERALES-VELA, H.V.; PEÑA-CASTRO, J.M.; CAÑIZARES-VILLANUEVA, R.O. Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. **Chemosphere**, v.64, n.1, p.1–10, 2006.

RIBEIROA, R.F.L.; MAGALHÃES, S.M.S.; BARBOSA, F.A.R.; NASCENTES, C.C.; CAMPOS, I.C.; MORAES, D.C. Evaluation of the potential of microalgae *Microcystis novacekii* in the removal of Pb^{2+} from an aqueous medium. **Journal of Hazardous Materials**, v.179, p.947–953, 2010.

RIPPKA, R.; DERUELLES, J.; WATERBURY, J.B.; HERDMAN; M.; STANIER; R.Y. Generic Assignments Strain Histories and Properties of Pure Cultures of Cyanobacteria. **Journal of General Microbiology**, Great Britain, n.111, p.1-61, 1979.

SAQUETO, K.C.; MACHADO, A.M.R.; SALVADOR, N.N.B. Tratamento e disposição final de resíduos: Aplicação de zeólita natural esolecita na remoção de Cd^{2+} , Cr^{3+} e Pb^{2+} de soluções aquosas em diferentes valores de pH. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.5, p.27-33, 2006.

SCHNEIDER, J.; WISKAMP, V. Environmental Protection in Practical Chemistry Courses. **Journal of Chemical Education**, v.71, n.7, 587, 1994.

SCHOPF, J. William. Microfossils of the Early Archean Apex Chert: New Evidence of the Antiquity of Life. **Science**, v.260, n.5108, p. 640-646, 1993.

TAVARES, G.A.; BENDASSOLLI, J.A. Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa no CENA/USP. **Química Nova**, v. 28, n.4, p.732-738, 2005.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Code of Federal Regulations. Chapter I. Part 433. Subpart A—Metal Finishing Subcategory, Sec. 433.13–433.17, 2005. Disponível em: <<http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&rgn=div5&view=text&node=0:29.0.1.1.9&idno=40#40:29.0.1.1.9.1>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, National Primary Drinking Water Regulations, List of Drinking Water Contaminants & Their MCLs, EPA 816-F-09-004, 2009. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#listmcl>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Revised Guidance Manual for Selecting Lead and Copper Control Strategies, Office of Water (4606 M), 2003 (EPA-816-R-03-001). Disponível em: <<http://www.epa.gov/leadcopperule/guidance/leadcoppercontrolstrategiesrevised.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

UNIVERSITY OF DELAWARE. Chemical Waste Minimization-Source Reduction. Disponível em: <http://www.udel.edu/OHS/chemicalwaste_minimize.html>. Acesso em: 12 jun. 2011.

VALLS, M.; LORENZO, V. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. **FEMS Microbiology Reviews**, v.26, n.4, p.327–338, 2002.

VANDEVIVERE, P.C., BIANCHI, R., VERSTRAETE, W. Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.72, n.4, p.289–302, 1998.

WHITTON, B.A.; POTTS, M. **The ecology of cyanobacteria**. Holanda: Kluwer Academic Publishers. 2000. 11 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, Guidelines for Drinking-Water Quality: First Addendum to Third Edition, vol. 1, WHO, Geneva, 2008.

YÜCE, M.; NAZIR, H.; DÖNMEZ, G. An advanced investigation on a new algal sensor determining Pb(II) ions from aqueous media. **Biosensors and Bioelectronics**, v.26, n.2, p.321–326, 2010.

Apêndice A

Valores obtidos do peso da biomassa seca pelo teste de gravimetria e o pH referente a cada cultivo

Cultivo	0h	24h	48h	72h	96h	168h	192h	216h	240h
Controle	0,54gL ⁻¹ pH = 9	1,60gL ⁻¹ pH = 8	1,32gL ⁻¹ pH = 9	1,06gL ⁻¹ pH = 8	1,30gL ⁻¹ pH = 8	1,35gL ⁻¹ pH = 8	1,24gL ⁻¹ pH = 8	1,34gL ⁻¹ pH = 9	1,51gL ⁻¹ pH = 9
Resíduo concentrado	1,15gL ⁻¹ pH = 7	1,39gL ⁻¹ pH = 7	1,56gL ⁻¹ pH = 7	1,26gL ⁻¹ pH = 6	1,32gL ⁻¹ pH = 6	1,40gL ⁻¹ pH = 7	1,09gL ⁻¹ pH = 6	1,06gL ⁻¹ pH = 7	1,13gL ⁻¹ pH = 7
Resíduo 2x	0,66gL ⁻¹ pH = 7	0,88gL ⁻¹ pH = 7	1,02gL ⁻¹ pH = 7	0,97gL ⁻¹ pH = 6	0,93gL ⁻¹ pH = 6	1gL ⁻¹ pH = 7	0,80gL ⁻¹ pH = 6	0,76gL ⁻¹ pH = 7	0,80gL ⁻¹ pH = 7
Pb(NO ₃) ₂ 0,44mgL ⁻¹	0,19gL ⁻¹ pH = 8	0,23gL ⁻¹ pH = 9	0,31gL ⁻¹ pH = 10	0,32gL ⁻¹ pH = 10	0,36gL ⁻¹ pH = 10	0,37gL ⁻¹ pH = 10	0,45gL ⁻¹ pH = 10	0,47gL ⁻¹ pH = 10	0,64gL ⁻¹ pH = 9
Pb(NO ₃) ₂ 0,94mgL ⁻¹	0,21gL ⁻¹ pH = 8	0,22gL ⁻¹ pH = 9	0,34gL ⁻¹ pH = 10	0,33gL ⁻¹ pH = 10	0,37gL ⁻¹ pH = 10	0,34gL ⁻¹ pH = 10	0,39gL ⁻¹ pH = 10	0,42gL ⁻¹ pH = 10	0,54gL ⁻¹ pH = 8
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL ⁻¹	0,30gL ⁻¹ pH = 8	0,24gL ⁻¹ pH = 9	0,36gL ⁻¹ pH = 10	0,35gL ⁻¹ pH = 10	0,30gL ⁻¹ pH = 10	0,32gL ⁻¹ pH = 10	0,37gL ⁻¹ pH = 10	0,45gL ⁻¹ pH = 10	0,55gL ⁻¹ pH = 8

Pb(NO ₃) ₂ 5,03mgL ⁻¹	0,28gL ⁻¹ pH = 8	0,38gL ⁻¹ pH = 9	0,36gL ⁻¹ pH = 10	0,38gL ⁻¹ pH = 10	0,41gL ⁻¹ pH = 10	0,48gL ⁻¹ pH = 10	0,47gL ⁻¹ pH = 10	0,60gL ⁻¹ pH = 10	0,65gL ⁻¹ pH = 9
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,033mgL ⁻¹	0,25gL ⁻¹ pH = 8	0,20gL ⁻¹ pH = 8,5	0,23gL ⁻¹ pH = 10	0,24gL ⁻¹ pH = 10	0,28gL ⁻¹ pH = 10	0,31gL ⁻¹ pH = 10	0,33gL ⁻¹ pH = 10	0,41gL ⁻¹ pH = 10	0,55gL ⁻¹ pH = 9
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,165mgL ⁻¹	0,28gL ⁻¹ pH = 8	0,39gL ⁻¹ pH = 8,5	0,52gL ⁻¹ pH = 10	0,53gL ⁻¹ pH = 10	0,50gL ⁻¹ pH = 9	0,47gL ⁻¹ pH = 9	0,54gL ⁻¹ pH = 9	0,52gL ⁻¹ pH = 10	0,68gL ⁻¹ pH = 7
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,660mgL ⁻¹	0,23gL ⁻¹ pH = 8	0,26gL ⁻¹ pH = 9	0,32gL ⁻¹ pH = 10	0,36gL ⁻¹ pH = 10	0,46gL ⁻¹ pH = 9	0,45gL ⁻¹ pH = 9	0,46gL ⁻¹ pH = 9	0,45gL ⁻¹ pH = 8	0,65gL ⁻¹ pH = 9
K ₂ Cr ₂ O ₇ 1,65mgL ⁻¹	0,21gL ⁻¹ pH = 8	0,32gL ⁻¹ pH = 9	0,32gL ⁻¹ pH = 10	0,30gL ⁻¹ pH = 10	0,37gL ⁻¹ pH = 9	0,36gL ⁻¹ pH = 9	0,38gL ⁻¹ pH = 8	0,40gL ⁻¹ pH = 7	0,46gL ⁻¹ pH = 6

Apêndice B

Valores obtidos do peso da biomassa seca pelo teste de gravimetria e o pH referente a cada cultivo

Cultivo	0h	24h	48h	72h	96h	168h	192h	216h	240h
Controle	0,31gL ⁻¹	0,25gL ⁻¹	0,33gL ⁻¹	0,4gL ⁻¹	0,38gL ⁻¹	0,38gL ⁻¹	0,455gL ⁻¹	0,48gL ⁻¹	0,59gL ⁻¹
	pH = 9	pH = 9	pH = 8	pH = 8	pH = 8	pH = 8	pH = 8	pH = 8	pH = 8
Resíduo 3x	0,65gL ⁻¹	0,60gL ⁻¹	0,84gL ⁻¹	0,72gL ⁻¹	0,76gL ⁻¹	1,09gL ⁻¹	1,41gL ⁻¹	1,40gL ⁻¹	2,88gL ⁻¹
	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 8	pH = 8	pH = 9
Resíduo 4x	0,57gL ⁻¹	0,59gL ⁻¹	0,64gL ⁻¹	0,70gL ⁻¹	0,83gL ⁻¹	1,12gL ⁻¹	1,11gL ⁻¹	1,27gL ⁻¹	1,40gL ⁻¹
	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 8	pH = 8	pH = 9
Pb(NO ₃) ₂ 2,51mgL	0,25gL ⁻¹	0,23gL ⁻¹	0,26gL ⁻¹	0,29gL ⁻¹	0,29gL ⁻¹	0,32gL ⁻¹	0,34gL ⁻¹	0,41gL ⁻¹	0,49gL ⁻¹
	pH = 8	pH = 8	pH = 8	pH = 9	pH = 9	pH = 8	pH = 7	pH = 8	pH = 7,5
Pb(NO ₃) ₂ 5,03mgL	0,28gL ⁻¹	0,25gL ⁻¹	0,26gL ⁻¹	0,27gL ⁻¹	0,29gL ⁻¹	0,30gL ⁻¹	0,32gL ⁻¹	0,41gL ⁻¹	0,46gL ⁻¹
	pH = 8	pH = 8	pH = 8	pH = 9	pH = 10	pH = 8,5	pH = 8	pH = 10	pH = 8
K ₂ Cr ₂ O ₇ 0,660mgL	0,25gL ⁻¹	0,22gL ⁻¹	0,28gL ⁻¹	0,31gL ⁻¹	0,33gL ⁻¹	0,32gL ⁻¹	0,35gL ⁻¹	0,43gL ⁻¹	0,51gL ⁻¹
	pH = 8	pH = 8	pH = 7	pH = 7,5	pH = 7,5	pH = 7	pH = 6	pH = 8	pH = 7,5
K ₂ Cr ₂ O ₇ 1,65mgL	0,31gL ⁻¹	0,23gL ⁻¹	0,28gL ⁻¹	0,26gL ⁻¹	0,33gL ⁻¹	0,30gL ⁻¹	0,32gL ⁻¹	0,37gL ⁻¹	0,42gL ⁻¹
	pH = 8	pH = 8	pH = 7	pH = 8	pH = 8	pH = 7	pH = 6	pH = 7	pH = 7

Apêndice D

Entrevista com os professores que realizaram aulas práticas no laboratório 210 do departamento de Química Analítica que resultaram em descartes de resíduos inorgânicos metálicos utilizados no presente estudo.

Professora Mariana A. Vieira - disciplina de Química Geral ministrada ao curso de Química de Alimentos:

- Prática de acidez total do vinagre: Descartou-se 1,2L de NaOH.
- Série de reatividade química: Foram descartados AgNO_3 , H_2SO_4 , HgCl_2 , MgCl_2 totalizando 150mL.
- Preparo e diluição de soluções: Descartou-se 150mL de CuSO_4 e 1L de HCl.
- Funções Inorgânicas: Foi descartado 20mL de HCl.

Professora Daniela Bianchini

- Preparo de soluções: Descartou-se KMnO_4 .
- Oxi-redução: Foi descartado baixo volume de ZnCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, MgCl_2 , AgNO_3 .
- Princípio de Le Chatelier: $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Co}(\text{Cl}_2)$ foram descartados.

Inorgânica I:

- Aula sobre o Hidrogênio: Foram descartados Zn, Mn e KMnO_4 .
- Aula sobre os elementos do Grupo 1: Descartou-se sódio metálico e Li.
- Aula sobre os elementos do Grupo 13: $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, HgCl_2 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ e AgNO_3 foram descartados.
- Aula sobre os elementos do Grupo 14: Descartou-se CoCl_2 , $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, FeCl_2 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, KMnO_4 , SrOH, BaOH, CaOH.

- Aula sobre os elementos do Grupo 15: Foram descartados CuSO_4 , Zn, AgNO_3 , $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, SbCl e Sr.
- Aula sobre os elementos do Grupo 16: Descartou-se KMnO_4 , MnO_2 e Zn em pó.
- Aula sobre os elementos do Grupo 17: Grânulos de Zn, MnO_2 , PbO_2 , BaCl_2 e $\text{Ag}(\text{NO}_3)_2$ foram descartados.

Inorgânica II:

- Compostos de Coordenação I: Foram descartados CoCl_2 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$, SnCl_2 , NiCl_2 , AgNO_3 e $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.
- Compostos de Coordenação II: Descartou-se CoSO_4 , CrSO_4 , CuSO_4 , $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, FeSO_4 , MnSO_4 , NiSO_4 , VSO_4 , AgNO_3 , CoCl_2 , FeCl_2 , ZnSO_4 .
- Precipitação: Foram descartados BaCl_2 , CaCl_2 , MnCl_2 , MgCl_2 , AlCl_3 , CoCl_2 , FeCl_2 , HgCl_2 , NiCl_2 , SrCl_2 , SbCl_3 , SnCl_2 , ZnCl_2 , Na_2CrO_4 , $\text{Bi}(\text{NO}_3)_2$, CrCl_3 , FeCl_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, CdCl_2 , CuCl_2 , $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$, As_2O_3 , CrCl_3 , FeCl_3 e NiCl_3 .
- Reações REDOX: Descartou-se Zn, KMnO_4 , CuSO_4 , AgNO_3 , $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, CuNO_3 e MnSO_4 .
- Síntese Orgânica: $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ e $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ foram descartados.

Professor Wilhelm Martin Wallau - disciplina ministrada ao curso de Química de Alimentos.

- Química de Compostos de Coordenação: Foram descartados grânulos de Zn e Na, Sr, Ca, Mg, BaCl_2 , $(\text{AsO}_3)^{3-}$, $\text{Bi}(\text{NO}_3)_2$, MnO_2 , Co, CrSO_4 , FeSO_4 e Ni.
- Precipitação e Complexação de NaOH: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, CdCl_2 , SnCl_2 , FeCl_2 e KMnO_4

Professor Eder João Lenardão – disciplina de Química Geral e Experimental ministrada ao curso de Química Industrial.

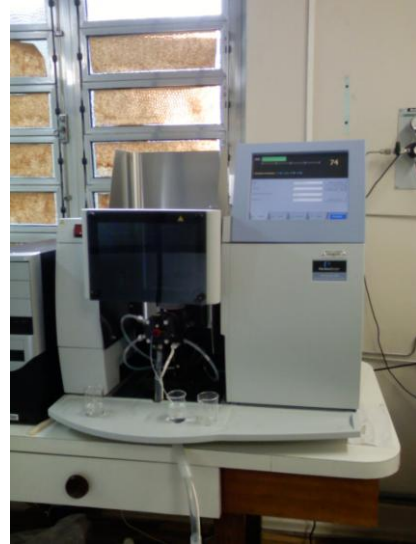
- Considerando todas as aulas ministradas foram descartados apenas Ba, Pb, Co, Fe e sal de Cu.

Apêndice E

Fotos dos tratamentos ao longo do experimento.



1. Cultivos das microalgas nos tratamentos controle, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e resíduos concentrado e 2x diluído às 0h.



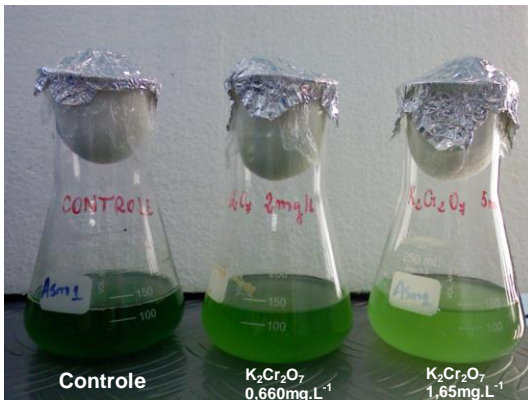
2. Espectrofotômetro de Absorção Atômica (AAnalyst 200 da PekinElmer precisely).



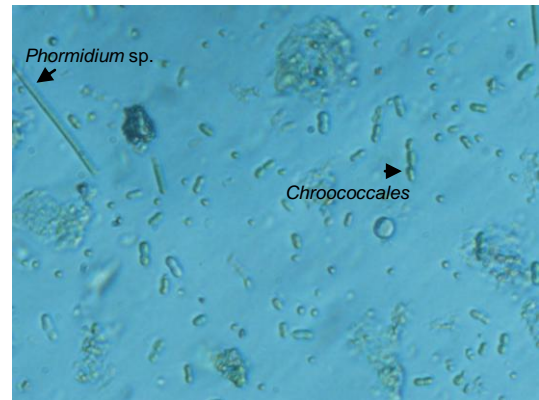
3. Membranas após filtragem, na estufa para secagem. Amostras do controle e resíduos após 48h.



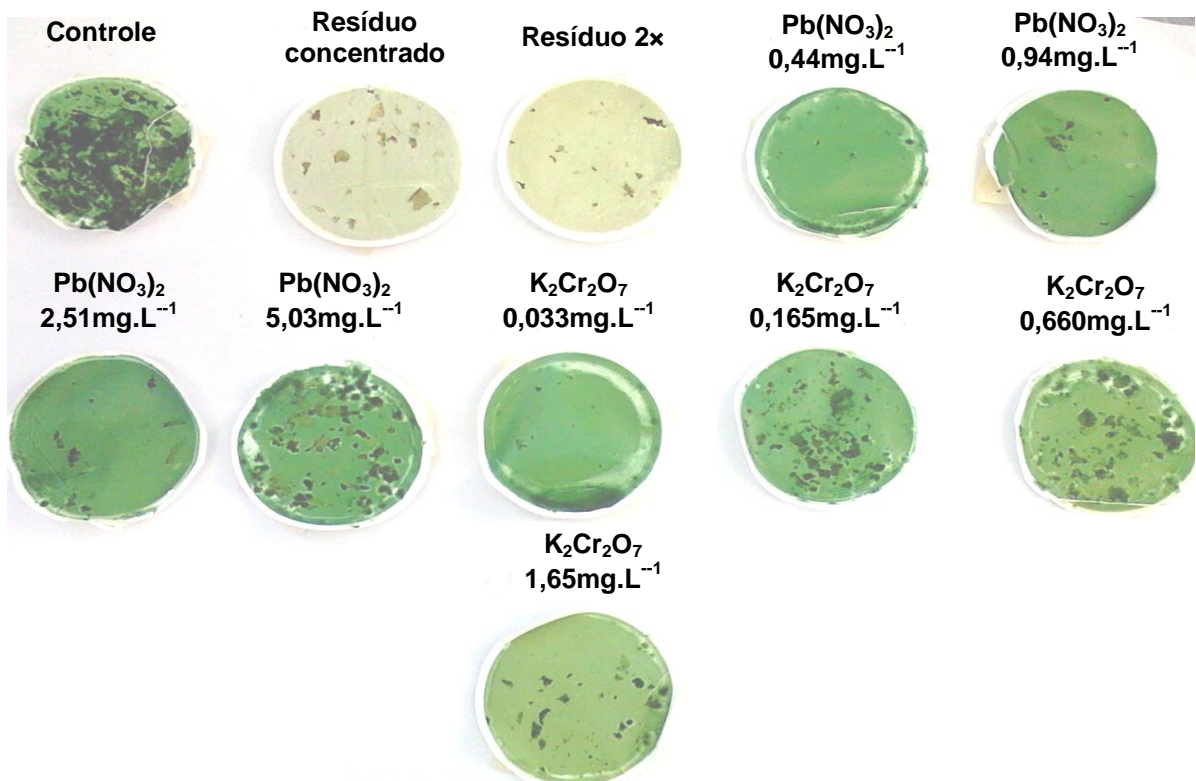
4. Cultivos de controle e resíduos, demonstrando baixa pigmentação da clorofila.



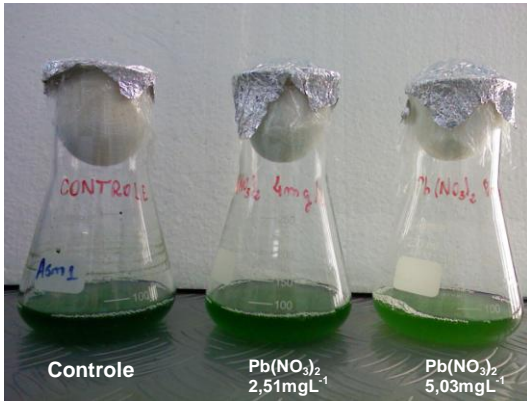
5. Cultivos do controle e das concentrações de dicromato de potássio, demonstrando clareamento do cultivo mediante maiores concentrações do metal.



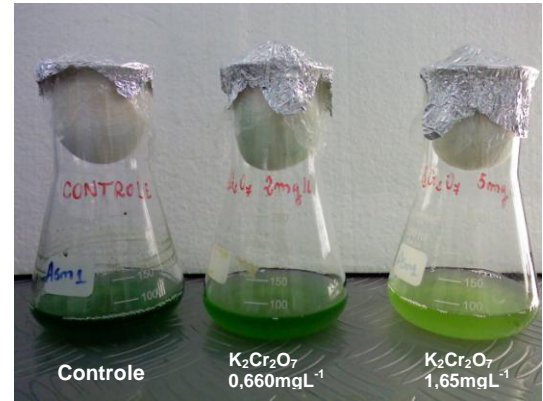
6. Cianofíceas observadas em aumento de 1000x no microscópio óptico (Olympus IX71 Co. Ltda, Tóquio, Japão).



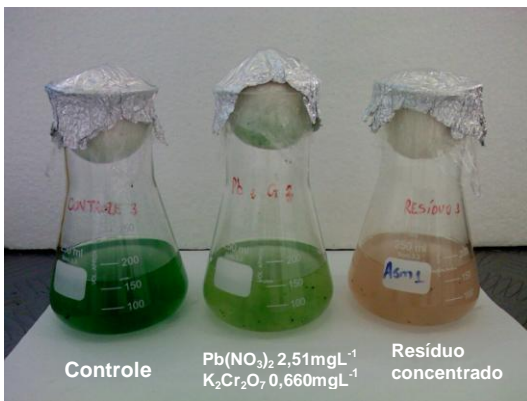
7. Membranas de nitrocelulose utilizadas no teste de gravimetria com a biomassa algal de cada um dos cultivos destacados acima.



8. Cultivos do controle e de nitrato de chumbo, após 192h de cultivo.



9. Cultivos do controle e de dicromato de potássio, após 192h de cultivo.



10. Cultivos controle, associação de nitrato de chumbo e de dicromato de potássio e resíduo concentrado.