Comparativo entre tensoativos orgânicos e inorgânicos em processo de flotação por ar dissolvido utilizando efluente de lagoa de alta taxa para cultivo de microalgas (LAT) alimentada com efluente sanitário.

José C. A. Barroso Jr.[1], Eddie F. Gomez[1] Nestor L. Muñoz Hoyos [1]Luiz Olinto Monteggia[1] Gabrielli H. Yamashita[2]
[1]Instituto de Pesquisas Hidráulica/Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/URFGS (jrzenite@gmail.com) [2]gabrielli.hy@gmail.com

Resumo
A disponibilidade de energia limpa e renovável para o futuro é um dos maiores desafios da sociedade e está intimamente ligada à estabilidade global, a prosperidade econômica e qualidade de vida. O aproveitamento energético a partir de biomassa tem sido explorado por diversos pesquisadores. Uma alternativa atrativa é a produção de biomassa aliada ao tratamento de efluentes, possibilitando a redução dos custos. Este trabalho apresenta o cultivo de biomassa de algas em Lagoa de Alta Taxa (LAT) com posterior separação através da flotação por ar dissolvido (FAD), utilizando dois tensoativos. A LAT foi operada sob dois regimes diferentes, variando o tempos de detenção hidráulico (TDH), inicialmente foi operada com TDH de 3 dias e em seguida 7,5 dias. No primeiro regime de operação obteve-se concentração de biomassa na LAT de 90,7 ± 44 mg/L e para o segundo 125 ± 68 mg/L, porém a produção por área foi mais elevada durante o primeiro regime de operação 9,1 ± 4,4 g/(m²·d) , quando comparado ao segundo 5,0 ±3,4 g/(m²·d). A separação da biomassa (desaguamento) foi realizada a partir da FAD, testando um floculante orgânico (Tanfloc sg) e um coagulante inorgânico (cloreto férrico), sendo o primeiro mais eficiente para a remoção de biomassa, 88,2 ± 4,3 %, quando comparado ao coagulante, 66,8 ± 11 %. O custo por hora de operação do cloreto férrico foi menor, R$ 2,67, quando comparado com o Tanfloc sg, R$ 2,98, entretanto para remover a mesma quantidade de biomassa o Tanfloc sg apresentou menor custo.

Palavras-chave: Microalgas. Lagoas de alta taxa. Flotação por ar dissolvido.

Área Temática: Economia e Meio Ambiente.

Comparison between organic and inorganic surfactants for flotation purposes dissolved air using high-rate pond effluent for microalgae cultivation (HRP) supplied with sanitary effluent.

Abstract
The availability of clean and renewable energy for the future is one of the biggest challenges of society and is closely linked to global stability, economic prosperity and quality of life. The recovery of energy from biomass has been studied by several researchers in the last decades. An attractive alternative is the production of biomass coupled with treatment of effluents to allow for cost reductions. This work presents the cultivation of algal biomass in high-rate pond (HRP) with subsequent separation by dissolved air flotation (DAF) using two surfactants. The HRP was operated under two different regimes, varying the hydraulic retention time (HRT), which was initially operated with 3 days HRT and then 7.5 days. In the first regime it was obtained a biomass concentration of 90.7 ± 44 and of 125.6 ± 68.3 mg / L

in the second. Moreover, the production per area was highest during the first operation regime 9.1 ± 4.4 g / (m² · d) compared to the second 5.0 ± 3.4 g / (m² · d). Separation of the biomass (dewatering) was achieved by means of DAF, using an organic flocculant (Tanfloc sg) and an inorganic coagulant (ferric chloride), the former being more effective for the removal of biomass, 88.2 ± 4.3% when compared to coagulant, 66.8 ± 11%. The operating costs per hour of ferric chloride was smaller, R$ 2.67, compared with Tanfloc sg, R$ 2.98, however to remove the same amount of biomass, Tanfloc sg showed lower cost.

Key words: Microalgae. High rate pound. Dissolved air flotation.

Theme Area: Economy and Environment.

1. Introdução

A disponibilidade de energia limpa e renovável para o futuro é um dos maiores desafios da sociedade e está intimamente ligada à estabilidade global, a prosperidade econômica e qualidade de vida (Gouveia e Oliveira, 2009). Neste aspecto a biomassa é um recurso abundante e renovável que pode ser convertido em diferentes produtos químicos, combustíveis e outros materiais de valor agregado (Chum e Overend, 2001).

A partir da biomassa de algas é possível gerar diversos produtos, entre eles biocombustíveis provenientes dos lipídios acumulados. Esta tem sido uma das formas de energias renováveis mais pesquisadas nos últimos anos, pois diferente das plantas agrícolas, necessitam de menores áreas e não competem com culturas alimentícias (Dismukes et al, 2008), podendo também serem cultivadas a partir de resíduos sanitários e industriais.

Frequentemente aliada ao tratamento de esgotos, as microalgas, quando cultivadas e controladas em LAT, auxiliam o tratamento de águas residuárias na remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio e possuem potencial energético elevado (Garcia et al, 2006; Craggs et al, 2012; Cai et al, 2013; Craggs et al, 2014).

A eficácia de LAT para tratamento de águas residuais tem sido demonstrada com uma vasta gama de efluentes, incluindo municipais, industriais e agrícola, para diversas escalas, desde escala de bancada até escala piloto e grande escala (Garcia et al, 2006;. De godos et al, 2009; Craggs et al, 2012; Cai et al, 2013; Craggs et al, 2014).

O cultivo de algas a partir de efluentes e resíduos eliminam custos significativos, tais como o custo de suprimento de CO_2 e nutrientes, consumo de água e bombeamentos, contribuindo para a viabilização do processo de produção de energia e proteção do ambiente (Chisti, 2007; Donohue e Cogdell, 2006; Hu et al, 2008;Craggs et al, 2012).

O potencial de produção de biodiesel a partir de lipídios provindos de microalgas é altamente reconhecido, por diversos motivos tais como: maior taxa de crescimento e também a produção de óleo por unidade de área de culturas de microalgas pode exceder em algumas vezes o rendimento das melhores oleaginosas terrestres (Chisti, 2007; Donohue e Cogdell, 2006; Hu et al, 2008; Huntley and Redalje, 2007; Schenk et al, 2008; Dibenedetto, 2011).

Neste trabalho foi avaliada a produção de microalgas em diferentes regimes operacionais, mediante variação do tempo de detenção hidráulico (TDH) para a produção de biomassa algal com posterior separação por FAD quimicamente assistida, avaliando o custo para cada tensoativo utilizado.

2. Metodologia

Os experimentos foram realizados na planta experimental de tratamento de águas residuárias do IPH, localizada na ETE São João Navegantes / DMAE,em Porto Alegre - RS.

O sistema experimental constituiu de uma LAT alimentada com efluente do reator UASB seguido de sistema de coagulação/floculação e Flotação por Ar Dissolvido (FAD).

Um reator UASB também foi utilizado como etapa de pré-tratamento para alimentação das lagoas em especial para remoção de sólidos e matéria orgânica.

A LAT com fundo e diques revestidos em concreto com taludes inclinados à 45º e impermeabilizada para evitar perdas por infiltração. Dispõe ainda de uma pá impulsora para promover a mistura completa em cada lagoa impedindo a estratificação e sedimentação das algas.

O sistema de separação sólido/líquido é composto por:

- Sistema de coagulação/floculação de mistura mecanizada é composto por um coagulador para mistura rápida e três câmaras de mistura lenta, compondo um floculador com dimensões de 2 m de comprimento por 1 m de largura e altura total de 0,55 m, operado com lâmina d'água de 0,45 m. A Tabela 1 apresenta as características de cada câmara.

Tabela1 - Dimensões e Parâmetros Básicos de Operação do Sistema de Coagulação/Floculação.

Parâmetro	**Mistura Rápida (coagulador hidráulico)**	**Mistura Lenta**		
		Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
Volume (m³)	0,0033	0,149	0,234	0,466
TDH (s)	7	316	496	987
Gradiente (s^{-1})	2000	75	50	25
Nº de agitadores	-	3	2	1

- Um flotador convencional de operação contínua executado em chapas de acrílico para permitir a visualização do efeito de separação de sólidos e constituído de 3 câmaras, identificadas a seguir:

  - Câmara de ascensão: 0,55 m x 0,1 m x 1,80 m (largura x comprimento x altura);
  - Câmara de separação sólido-líquido:0,55 m x 0,70 m x 1,85 m;
  - Caixa coletora de lodo flotado: 0,55 m x 0,30 m x 0,20 m;

O volume útil total do flotador é de 1,12m³(0,55m x 1,10m x 1,85m).

- Um vaso de pressão com diâmetro interno de 97,8 mm e altura de 1,45m, tendo uma faixa de 80 cm preenchida com *"pall rings"*de 25 mm para a saturação da fase líquida.
- Um compressor de ar acionado por motor elétrico de 3CV para realizar a pressurização do vaso, normalmente em 3 atmosferas.
- Uma bomba dosadora helicoidal Netzsch com vazão máxima de 14 L/h, para dosagem do coagulante/floculante;
- Uma bomba helicoidal Netzsch para recirculação com vazão máxima de 800 L/h;
- Uma bomba centrífuga alimentadora do sistema de flotação com vazão máxima de 2,5m³/h;

O experimento na LAT foi subdividido em duas Etapas, caracterizado pelo TDH das lagoas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela2 - Etapas de Operação dos Sistemas.

TDH (dias)	**Período de Operação LAT**	**Volume (m³)**	**Vazão (m³/h)**	**A_s (m²)**	**Taxa de aplicação superficial (m³/(ha·d))**
3	03/2012 a 05/2013 (Etapa I)	144	2,01 ± 0,2	480	1005
7,5	03/2014 a 03/2015 (Etapa II)	144	0,8 ± 0,2	480	400

Para avaliar o efeito do coagulante e floculante utilizado foram executado testes de jarros para otimização de dosagens, efeito do pH, gradiente e tempo de mistura da floculação. O tempo de coagulação foi mantido em 1 minuto e o tempo de floculação na faixa de 20 a 40 minutos, o tempo de sedimentação foi mantido constante no valor de 30 minutos.

Nesta Etapa foram testados um coagulante inorgânico; cloreto férrico e um floculante orgânicos Tanfloc SG (TANAC S.A).

Os testes de separação sólido/líquido, em escala piloto, foram realizados em triplicata para cada coagulante/floculante, sendo operado durante 4 horas, para maior confiabilidade do sistema. Durante uma hora e meia de operação não foi coletada amostra do efluente, devido ao TDH total do sistema de separação (uma hora e 10 minutos). Após este tempo são realizadas coletas a cada 30 minutos de operação, compondo cinco amostras por teste. Após é realizada a mesclagem destas cinco amostras é coletada uma amostra final do efluente para quantificação dos parâmetros. O lodo flotado de microalgas é coletado em tempo integral e ao final coleta-se uma amostra homogeneizada do todo.

As análises foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2003), exceto a análise de clorofila-*a*, baseada em Wetzel e Likens (2000) e a análise de lipídios, baseada em Bligh e Dyer (1959). A análise estatística dos dados foi feita utilizando os testes ANOVA e Tukey considerando a significância de 5 % (p=0,05) com o *software Minitab 17,* 2014.

3. Resultados

3.1. Caracterização do efluente

O efluente sanitário utilizado neste trabalho foi coletado a partir de uma bomba submersível alocada no tanque de efluente bruto (após desarenação) da estação de tratamento de esgoto São João Navegante em Porto Alegre- RS.

As características do efluente bruto (afluente ao reator UASB) e do efluente do reator UASB (afluente a LAT) são apresentadas pela Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização do afluente e efluente do reator UASB.

Parâmetro*	**Etapa I**		**Etapa II**	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Alcalinidade	212± 59[a]	216 ± 42 [a]	195 ± 15 [a]	229 ± 22 [a]
ST	432 ± 183 [a]	323 ± 90 [a]	381 ± 56 [a]	325 ± 41 [a]
SSV	77,2 ± 28 [a]	24,1 ± 24 [b]	89,9 ± 39 [a]	30,7 ± 10 [b]
DBO	229 ± 65 [a]	130 ± 63 [b]	214 ± 93 [a]	147 ± 54[b]
DQO	338 ± 161 [a]	246 ± 180 [b]	330 ± 217 [a]	126 ± 97[b]
COT	-	-	71,9 ± 32 [a]	28,4 ± 5,8 [b]
NTK	43,1 ± 18 [a]	43 ± 5,2 [a]	40,3 ± 13 [a]	36,3 ± 6,6 [a]
N-Amoniacal	22,7 ± 9,1 [a]	26,7 ± 9,1 [a]	26,4 ± 11 [a]	32,3 ± 7,3 [a]
Pt	-	-	2,7 ± 1,4 [a]	2,63 ± 0,4 [a]
Fosfato	2,04 ± 1,1 [a]	2,72 ± 0,3 [b]	1,56 ± 0,6 [a]	2,47 ± 0,7 [b]

* valores expressos em mg/L. **análise estatística com valor de p=0,05.

O reator UASB foi utilizado como etapa de pré-tratamento do efluente sanitário, auxiliando na retenção de sólidos sedimentáveis, reduzindo o acúmulo de sólidos no fundo da LAT. Este apresentou grande importância também na quebra de aminoácidos, proteínas e outros, elevando a concentração de amônia no efluente (amonificação), o que possibilita maior disponibilidade para a conversão da amônia em nitrito e nitrato na LAT, já que as microalgas assimilam mais facilmente o nitrogênio na forma de nitrato.

3.2. Produção e caracterização da biomassa

A produção de biomassa de algas na LAT apresentou diferenças significativas para diferentes regimes de operação. Conforme a Tabela 4 que apresenta maior concentração de biomassa durante a Etapa II, porém durante a Etapa I a produtividade por área foi mais elevada.

Tabela 4 - Valores médios da produtividade de biomassa para Etapa I e II.

	Etapa I	**Etapa II**
Média (mg/L)	90,7 ± 44	125 ± 68
Máximo (mg/L)	177	294,3
Mínimo (mg/L)	18,0	30,0
Q (m^3/h)	2,0	0,8
Biomassa ($g/(m^2 \cdot d)$)	9,1# ± 4,4	5,0# ± 3,4

A medição da produção de microalgas pode ser realizada também a partir clorofila-*a,* já que esta consiste em elemento essencial das células de organismos fotossintetizantes. A Tabela 5 permite visualizar os valores de concentração na LAT.

Tabela5 - Valores de médias da Clorofila-*a* para diferentes valores de TDH na LAT.

	Etapa I	**Etapa II**
Média (mg/L)	1,02 ± 0,7	1,52 ± 1,1
Máximo (mg/L)	2,72	4,85
Mínimo (mg/L)	0,07	0,01

A análise estatística comprovou que há diferença significativa entre os dados da concentração de clorofila-*a* para as Etapas I e II (p=0,016), sendo mais elevada durante a Etapa II.

A separação das microalgas ocorreu a partir da coagulação/floculação com posterior flotação. A Tabela 6 apresenta o coagulante e floculante utilizado seguido de sua concentração ótima encontrada a partir dos teste de jarros, além das eficiências de remoção.

Tabela 6 – Comparativo de remoção de biomassa para cada coagulante/floculante.

	Cloreto Férrico 40 mg/L		**Tanfloc sg 50 mg/L**	
	Remoção FAD	Remoção total	Remoção FAD	Remoção total
Sólidos Totais	33,5 ± 5,2	33,3 ± 5,5	41,5 ± 6,6	40,8 ± 7,2
Sólidos Suspensos Voláteis	66,8 ± 11,0	74,0 ± 11,2	88,2 ± 4,3	90,6 ± 5,6
Clorofila-*a*	52,5 ± 4,1%	-	91,2 ± 4,6%	-

A Tabela 6 mostra que o floculante Tanfloc sg é mais indicado para a remoção de microalgas cultivadas em LAT alimentadas com efluente sanitário por meio da FAD.

A utilização das microalgas como fonte de energia é baseada principalmente pelo teor de lipídios e/ou a produção de biogás através da digestão anaeróbia. Neste trabalho foi avaliada a porcentagem de lipídios por peso seco de microalgas, apresentado na Tabela 7.

As análises foram realizadas com amostras resultantes do adensamento por meio da FAD.

Tabela 7 - Resultados da análise de lipídios para microalgas durante o verão.

Amostra	Porcentagem de lipídios (%)
1	7,4
2	6,7
3	6,8
4	7,1
Média	7,0 ± 0,3

A análise das amostras coletadas apresentaram resultados médios de 7,0 ± 0,3 % de teor de lipídios na biomassa. Segundo Rodolfi et al, (2008) este valor é considerado baixo, porém pesquisas mais atuais, em condições controladas de temperatura, radiação e meio de cultura, apresentam valores entre 11,6 % e 15,2 % (Ho et al, 2012).

3.3. Levantamento dos custos de produção

Os custos da produção de biomassa de algas em LAT pode ser dividido em duas partes; i) produção de microalgas; ii) desaguamento; apresentados na Tabela 8 e 9. Neste trabalho não foi levado em consideração os custos de implementação dos sistemas físicos, pois este custo seria igual para todos os tipos de coagulante/floculante testados.

Tabela 8 - Custos da produção e adensamento de microalgas

	Produção de microalgas	Desaguamento
Motor	1motor de 1 cv (0,96 KW)	1 motobomba helicoidal(0,8KW) 1motobomba centrífuga(2,2 KW)
Coagulante (39 % de pureza)		R$ 1,70/litro
Floculante (25 % de pureza)		R$ 2,50/litro

Fonte: http://www.eletronpaineis.com.br/downloads/26.pdf

As dosagens ótimas de coagulante/floculante permite calcular o custo dos gastos com produtos químicos, possibilitando o calculo do custo por hora, apresentado na Tabela 9, o cálculo do custo de energia foi realizado conforme ANEEL.

Tabela 9 - Comparativo dos custos para os coagulantes/floculantes

Processo	Custo Cloreto Férrico (R$/(h·d))	Custo Tanfloc sg (R$/(h·d))
Produção de microalgas	0,56	0,56
Desaguamento (bombas)	1,74	1,74
Desaguamento (Produto químico)	0,37	0,68
Total (R$/h)	2,67	2,98
Funcionamento de 30 dias por 6h/d	480	536
Funcionamento de 30 dias por 24h/d	1922	2145

*considerando o valor de 1 kwh = R$ 0,58 (Fonte: CEEE, 2015).

A Tabela 9 apresenta os custos de funcionamento do sistema de separação sólido/líquido. A utilização do cloreto férrico gera menor custo ao sistema, observando uma diferença para o Tanfloc sg de R$ 223/mês, quando considerado o funcionamento de 24 horas por dia e 30 dias por mês.

O Tanfloc sg apresentou maior eficiência de remoção de biomassa porém maior custo. Entretanto, ao analisar o conjunto da eficiência com base nos custos é possível verificar que

para a Etapa I o Tanfloc sg remove 19,4 g/(m³·h) a mais que o cloreto férrico e para Etapa II a diferença de remoção é ainda maior em torno de 26,8 g/(m³·h).

Para que o cloreto férrico tenha a mesma remoção de biomassa apresentada pelo Tanfloc sg é necessário que o sistema alimentado com cloreto férrico opere por 0,32 h mais por hora de processo, desta forma o custo de funcionamento considerando 24 h por dia e 30 dias por mês que era R$ 1922/mês seria de R$ 2537/mês. Porém como não há possibilidade do dia ter mais de 24 h, seria necessário construir outra planta de FAD para que o processo utilizando cloreto férrico removesse a mesma quantidade de biomassa apresentada pelo Tanfloc sg.

4. Conclusão

O estudo mostrou que o cultivo controlado de microalgas em LAT alimentadas com efluente sanitário é atrativo e tem o potencial de produzir elevadas quantidades de biomassa.

A produção de biomassa de algas por área, foi mais elevada operando a LAT com menor TDH (três dias) quando comparado ao TDH de 7,5 dias.

A utilização do floculante Tanfloc sg apresentou maior eficiência de remoção da biomassa e menor custo, quando considerado o custo por quantidade de biomassa removida.

A concentração média de lipídios encontrada nas microalgas foi de 7,0# ± 0,3 %, sendo atrativa, já que o custo de produção desta é baixo quando comparado com cultivos terrestres.

Referências

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater: online. Washington, DC, c2006.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian Journal Biochemistry Physiological, Ottawa, v. 27, n. 8, p. 911-917, 1959.

CAI, T., PARK, S.Y., LI, Y., Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: status and prospects. Renew. Sust. Energy Rev. 19, 360–369,2013.

CHISTI, Y., Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25, 294–306, 2007.

CHUM H.L., OVEREND R.P. Biomass and renewable fuels, Fuel Processing Technology, 71, 2001, 187-195.

CRAGGS, R., PARK, J., HEUBECK, S., SUTHERLAND, D., High rate algal pond systems for low-energy wastewater treatment, nutrient recovery and energy production. New Zeal. J. Bot. 52(1), 60–73,2014.

CRAGGS, R., SUTHERLAND, D., CAMPBELL, H., Hectare-scale demonstration of high rate algal ponds for enhanced wastewater treatment and biofuel production. J. Appl. Phycol. 24, 329–337,2012.

DE GODOS, I., BLANCO, S., GARCÍA-ENCINA, P.A., BECARES, E., MUNOZ, R., Long-term operation of high rate algal ponds for the bioremediation of piggery wastewaters at high loading rates. Bioresour. Technol. 100, 4332–4339, 2009.

DIBENEDETTO, A. The potential of aquatic biomass for CO2-enhanced fixation and energy production. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 2011.
DISMUKES G.C. ; CARRIERI, D. ; BENNETTE, N. ; ANANYEV G.M. ; POSEWITZ M.C. Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Current Opinion in Biotechnology*, 2008.

DONOHUE, T. J., & COGDELL, R. J. Microorganisms and clean energy. *Nature Reviews. Microbiology, 4,* 11.), 2006.

GARCÍA, J., GREEN, B.F., LUNDQUIST, T., MUJERIEGO, R., HERNÁNDEZ-MARINÉ, M., OSWALD, W.J., Long term diurnal variations in contaminant removal in high rate ponds treating urban wastewater. Bioresource Technology 97, 1709–1715,2006.

GOUVEIA L. ; OLIVEIRA A. C. Microalgae as a raw material for biofuels production. J Ind Microbiol Biotechnol, 2009.

HO, S. H. et al. Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga Chlorella vulgaris FSP-E. Bioresource Technology, 2012. http:// dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.100.

Cálculo do consumo de energia. Disponível em< http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia1_3.pdf >Acesso em 02 de dezembro de 2015.

Tabela de consumo. Disponível em <http://www.eletronpaineis.com.br/downloads/26.pdf > Acesso em 02 de dezembro de 2015.

HU, D., LIU, H., YANG, C., & HU, E. The design and optimization for light-algae bioreactor controller based on Artificial Neural Network-Model Predictive Control. *Acta Astronautica, 63,* 1067-1075, 2008.

HUNTLEY, M., & REDALJE, D. CO₂ Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12,* 4, 573-608, 2007.

RODOLFIL. ; ZITTELLI G. C. ; BASSI N. ; PADOVANI G. ; BIONDI N. ; BONINI G. ; TREDICI M. R.. Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-Cost Photobioreactor. Biotechnology and Bioengineering, 2008.

SCHENK P. M. ; THOMAS-Hall S. R. ; STEPHENS E. ; Marx U. C. ; MUSSGNUG J. H. ; POSTEN C. ; Kruse O. ; HANKAMER B.Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgaefor Biodiesel Production, 2008.

SGARBIERI, V.C. Proteínas em alimentos protéicos: propriedades - degradações - modificações. São Paulo : Varela, 1996. Cap. 5: Deterioração e modificações químicas, físicas e enzimáticas de proteínas.

WETZEL R. G. & LIKENS G. E., Limnological Analysis. 3. ed. Springer. New York, 2000.