

Eficiência da microalga *Chlorella minutissima* no tratamento de resíduos de suinocultura enriquecido com uréia

João Bosco Rozas Rodrigues^{1*}
Paulo Belli Filho²

¹Centro de Ciências Agrárias- Departamento de Aquicultura* – UFSC
Caixa Postal 476 – CEP 88040-900 – Florianópolis-SC – Brasil
E-mail: jbosco@mbox1.ufsc.br

²Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC
E-mail: belli@ens.ufsc.br

*Autor para correspondência

Submetido em 19/08/2003

Aceito para publicação em 07/05/2004

Resumo

O acelerado crescimento da suinocultura, e a carência de tecnologias adequadas para o tratamento dos resíduos oriundos desta atividade, têm causado uma grande degradação ambiental com comprometimento dos recursos hídricos. O uso de microalgas para o tratamento de resíduos das atividades agro-pecuárias tem sido uma prática muito utilizada em vários países por apresentar muitas vantagens, pois além de ajudar na purificação dos efluentes, a biomassa algal produzida tem alto valor biológico e econômico. O presente trabalho foi desenvolvido com a microalga *Chlorella minutissima*. Com o objetivo de testar o processo em média escala, sob condições semicontroladas, verificou-se o efeito da adição de uréia no dejetos e o controle de pH através da suspensão da aeração. O efeito destes tratamentos sobre a eficiência do crescimento algal, bem como, a sua capacidade de remoção de agentes poluidores foi

observada. Os resultados obtidos permitem concluir que a eficiência de crescimento da microalga *Chlorella minutissima*, cultivada em meio de dejetos, com profundidade de 20 cm e numa concentração correspondente a 280 mg/L de DQO, não foi influenciada pela adição de uréia e o controle de pH quanto ao número de células. A microalga cultivada num sistema mixotrófico (alga e bactéria) é eficiente na redução da DQO, turbidez, sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos totais, amônia, ortofosfato e fósforo total.

Unitermos: tratamento de dejetos de suínos, cultivo de microalga.

Abstract

Efficiency of *Chlorella minutissima* microalgae in the treatment of swine-waste enriched with urea. The increasing process of pig breeding and the lack of adequate technologies to treat the residue originating from this activity in Brazil has been causing considerable environmental degradation and a threat to water resources. The utilization of microalgae to treat rural farming residue has been widely used in several countries with success. This presents many advantages, such as reducing polluting agents and providing a high biological and economic value of the produced algal biomass. The present work was developed with the microalgae *Chlorella minutissima*, with the objective of testing the process on a medium scale, under semi-controlled conditions, verifying the effect of urea addition and the pH control. The effects of these treatments on algal growth efficiency and on the capacity to remove polluting agents were observed experimentally. The results showed that the growth efficiency of the microalgae *Chlorella minutissima*, cultivated in residues 20 cm deep at a cod concentration of 280 mg/L was not influenced by added urea or pH control. The use of these algae in a mixed culture (algae and bacteria) reduced the COD, turbidity, total solids, volatile total solids, total suspended solids, ammonia, orthophosphate and total phosphate.

Key words: treatment of pigs' residues, microalgae culture, *Chlorella minutissima*

Introdução

Somente no estado de Santa Catarina, cujo rebanho de suínos é de aproximadamente 4 milhões de cabeças, estima-se que sejam produzidos por ano cerca de 10 milhões de metros cúbicos de dejetos (Belli Filho, 1998), sendo que apenas 20% dos suinocultores fazem corretamente o seu manejo.

O grande volume de dejetos produzidos se torna mais grave ainda, se considerarmos que sua DBO é muito alta, ou seja, 10 a 15 vezes superior aquela do esgoto doméstico, que é cerca de 200 a 500 mg/L (Oliveira, 1993). Estas concentrações cada vez maiores de dejetos, cujas inadequações dos "sistemas de manejo e armazenamento" induzem ao lançamento em sistemas aquáticos, causam grandes impactos para o meio ambiente como, por exemplo, a grande eutrofização dos mananciais com conseqüente desequilíbrio dos ecossistemas.

Várias têm sido as alternativas utilizadas no tratamento de efluentes da suinocultura, entretanto todas elas geram um custo adicional para o produtor que, na maioria das vezes, está impossibilitado de arcar com este ônus, pois são, geralmente, pequenos produtores rurais que já trabalham com pequena margem de lucro.

A algocultura acoplada a um sistema de tratamento de dejetos de suíno tem como principal objetivo, além de reciclar o efluente, agregar valor ao processo, devido ao alto valor nutritivo da massa algal produzida e a possibilidade de sua utilização na alimentação animal.

Segundo Venkataraman et al. (1982), os efluentes da atividade agropecuária podem ser eficientemente reciclados por algas, sem o uso de nutrientes adicionais para o seu crescimento.

Além disso, as algas produzidas neste processo podem ser utilizadas na ração de peixes, suínos e aves.

A alga *Chlorella minutissima*, alvo deste trabalho, é uma alga verde, unicelular, do grupo das clorofíceas. O interesse econômico pelo seu cultivo tem crescido consideravelmente, em função de algumas características: fácil cultivo e conteúdo protéico elevado, podendo chegar até 65% em matéria seca, dependendo do meio. É rica em vários nutrientes e vitaminas importantes para a dieta humana e animal (Venkataraman e Becker, 1985).

De acordo com Rodulfo et al. (1980), a melhor faixa de pH para *Chlorella* sp cultivada a partir de efluente de biodigestor de dejetos de suíno, variou entre 6,5 e 8,0. Com pH de 9,0 a 10,0 a taxa de crescimento decresceu. A amônia, principal nutriente requerido pela alga, geralmente volatiliza-se para a atmosfera e, portanto, grande parte do nitrogênio do efluente é normalmente perdido. Segundo esses autores, é recomendado adicionar uréia ao meio para suprir esta perda e melhorar o desempenho da alga. O melhor crescimento da microalga *Chlorella* sp foi obtido nas concentrações de uréia de 0,1 a 0,3 g/L, as quais resultam num marcado incremento no crescimento de *Chlorella* sp. Mencionam também que nos processos de decomposição, as bactérias desdobram a uréia produzindo amônia e CO₂, os quais são utilizados como nutrientes para as algas. Esta combinação é a explicação para os excelentes resultados obtidos no crescimento da alga.

Conforme Alfaro et al. (1992), no tratamento dos efluentes da suinocultura, os baixos rendimentos obtidos na produção algal podem estar relacionados com as variações observadas de pH durante o processo de cultivo.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho da microalga *Chlorella minutissima*, em termos de produção algal e sua capacidade de reciclagem dos efluentes de dejetos de suínos com ou sem enriquecimento de uréia, com o meio de dejetos de suíno enriquecido com uréia.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Algocultura e Limnologia do Departamento de Aqüicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Florianópolis, SC.

O dejetto utilizado no experimento, foi proveniente de uma unidade de produção (maternidade e engorda) do Colégio Agrícola de Camboriú - UFSC - Camboriú - SC. O dejetto oriundo de uma bio-esterqueira foi estocado em bombonas de plástico de 100 L e transportado de caminhão para Florianópolis. No dia do início do experimento foi medida a DQO do dejetto, conforme metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), a fim de poder diluí-lo em água para a concentração de 280 mg/L.

A cepa de *Chlorella minutissima* foi cedida pela equipe do Laboratório de Cultivo de Algas do Departamento de Ecologia e Zoologia, da UFSC. O meio utilizado foi o BBM (Bold's Basal Medium)- (Stokes et al., 1973). A cepa foi mantida em um cepário com temperatura constante de 21 °C e iluminação de 2500 lux.

As variáveis foram analisadas de acordo com as seguintes metodologias: Amônia pelo método de Nessler; Nitrito pelo método de Naftilamina; Ortofosfato e Fósforo Total pelo método de molibdato; Nitrato e Nitrogênio Total pelo método de fenoldissulfônico; ambos pelo Standard Methods (APHA, 1995). A turbidez foi medida com um turbidímetro marca "HACH" Mod. 2100. Oxigênio dissolvido, pH e Condutividade elétrica foram medidos com o aparelho marca "Mettler Toledo". A temperatura foi registrada com um termômetro de mercúrio com escala de - 20 a +50°C. A luminosidade foi avaliada por um luxímetro modelo LX-101 marca Lutron. Os sólidos Totais, Fixos e Voláteis foram analisados, conforme metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995). A

densidade algal foi determinada mediante contagem na lâmina de Neubauer (com baixa densidade utilizavam-se os quadrados grandes e com alta densidade utilizava-se o quadrado central). Para a clorofila *a* foi utilizado o método de extração com acetona 90 % de Strickland e Parsons, (1968).

O trabalho constituiu-se em um experimento com duração de dez dias e foi realizado no Laboratório de Limnologia e Algocultura do Departamento de Aqüicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

O experimento foi realizado utilizando-se uma bateria de nove tanques de amianto de 500 L e dispostos lado a lado em uma sala com luminosidade natural existente através de um telhado composto de telhas de fibra transparente. A superfície dos tanques estava distante aproximadamente 2 m do telhado.

Cada tanque continha 90 L de meio, correspondente a 20 cm de profundidade, sendo nos tratamentos 1, 2 e 3 dejeito de suíno e no tratamento 4, meio sintético BBM (Bold's Basal Medium) – (Stokes et al., 1973). Todos receberam 8 L de inóculo contendo 60×10^5 cel/ml de alga, correspondente a 20 ml por litro (Beltrão, 1992).

Todos os tanques possuíam um sistema de abastecimento e escoamento individual, através de tubulações e registros de PVC. A aeração que alimentava os tanques provinha de um soprador tipo “blower” localizado no lado de fora da sala. A temperatura foi constante e mantida através de aquecedores de imersão de 100 W de potência, acoplados a termostatos regulados para manter a temperatura em torno de 22°C.

Os dejetos despejados nos tanques foram peneirados com uma tela de aproximadamente 100 μ m para evitar contaminação de protozoários, uma vez, que em ensaios anteriores, os mesmos consumiram toda a alga.

Uma vez colocado o dejeito no volume correspondente para que o meio permanecesse com uma DQO em torno de 280 ppm,

era adicionada a água filtrada previamente clorada e desclorada por forte aeração durante 24 horas.

O delineamento experimental constituiu-se no seguintes tratamentos:

Tratamento 1: meio de dejetos, com adição de uréia (0,2 g/L) após o 5º dia de cultivo.

Tratamento 2: meio de dejetos com controle de aeração (a aeração era suspensa durante o dia), após o 5º dia de cultivo.

Tratamento 3: meio dejetos sem controle de aeração e sem adição de uréia (controle).

Tratamento 4: meio sintético BBM (Bold's Basal Medium) – (Stokes et al., 1973).

Ambos tratamentos com profundidade de 20 cm de meio.

Os tratamentos 1 e 2 iniciaram-se a partir do 5º dia porque deduziu-se que, teoricamente, até este momento existiria nitrogênio suficiente no meio e o pH passaria a ter um maior incremento.

Para efeito de análise dos resultados foram considerados dois parâmetros: rendimento algal (através do nº de células e da clorofila *a*) e taxa de remoção de: turbidez, nitrito, nitrato, amônia, N total, P total, ortofosfato, DQO solúvel, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos dissolvidos totais, calculados a partir da subtração dos resultados finais dos iniciais e transformados em percentagens.

Todos os resultados foram analisados através do Programa "Statistica", aplicando-se o teste ANOVA seguido pelo Teste "Tukey" de separação de média, cujos resultados estão representados por letras nas tabelas (letras iguais indicam $P > 0,05$ e letras diferentes indicam $P < 0,05$).

Resultados e Discussão

Os resultados das análises do dejetto bruto são apresentados na tabela 1.

TABELA 1 – DQO total, DQO solúvel, Sólidos totais, sólidos totais voláteis, Sólidos totais fixos, Nitrito e Amônia presentes no dejetto bruto.

Variável	Dejetto decantado (mg/L)	Variável	Dejetto decantado
DQO total	630	Nitrato	1,91 mg/L
Sólidos totais	1860	Ortofosfato	9,7 mg/L
Sólidos totais voláteis	1148,3	Fósforo total	14,6 mg/L
Sólidos totais fixos	711,2	Turbidez	896 NTU
Amônia	317,9	Cor	Marrom claro
Nitrito	0,01		

Na tabela 2, pode-se observar que os resultados de número de células: 37,9; 41,5; 36,0 e 24,5 x 10⁵ cel/mL para os tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas entre si (P>0,05), embora com menor valor no tratamento 4.

TABELA 2 – Valores médios do número de células e concentração de clorofila a para os diferentes tratamentos para o 5º dia .

Tratamento	Nº de células (x10 ⁵ /mL)		Clorofila a (mg/L)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio padrão
1	37,9a	5,40	0,14a	0,05
2	41,5a	13,12	0,17b	0,09
3	36,0a	11,76	0,14a	0,04
4	24,5a	0,81	0,01c	0,00

Observação: letras iguais indicam P>0,05 e letras diferentes indicam P<0,05.

Resultados e Discussão

Quanto à clorofila *a*, o melhor resultado foi observado no tratamento 2. Nos tratamentos 1 e 3 as concentrações obtidas foram superiores às registradas no tratamento 4 (testemunha) ($P < 0,05$), porém não diferiram entre si ($P > 0,05$).

Na tabela 3, o melhor resultado para a densidade da cultura, expressa em termos de números de células foi no tratamento 4 (meio artificial com tanque de 20 cm de profundidade ($P < 0,05$)). Para os demais tratamentos T1, T2 e T3 os resultados de densidade de células não foram significativamente diferentes entre si ($P > 0,05$).

TABELA 3 – Valores médios do número de células e da concentração de clorofila *a* para os diferentes tratamentos, ao final do experimento (10º dia).

Tratamento	Nº de células ($\times 10^5/\text{mL}$)		Clorofila <i>a</i> (mg/L)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
1	11,3a	17,12	0,113b	17,122
2	14,0a	20,49	0,036c	20,499
3	17,8a	14,72	0,122b	0,060
4	52,0b	2,20	0,019a	0,001

Observação: letras iguais indicam $P > 0,05$ e letras diferentes indicam $P < 0,05$.

Quanto à clorofila *a* os resultados nos tratamentos 1 e 3 foram superiores aos demais ($P < 0,05$) e não diferiram significativamente entre si ($P > 0,05$). O resultado para o tratamento T2 foi superior aquele para o tratamento T4 (controle).

Os resultados com relação à densidade de células quantificada na metade do período experimental (5ª dia) evidenciaram que não houve diferença significativa de rendimento algal entre os cultivos realizados com ou sem a adição de uréia. Com relação aos tratamentos do meio de dejetos esta homogeneidade se justifica pelo fato da adição de uréia realizada

(tratamento T1) e o controle de aeração (tratamento T2) só terem iniciado a partir do 6^o dia. No entanto, as quantificações realizadas no 10^o dia (final do experimento) evidenciaram que em termos de número de células o cultivo em meio sintético (tratamento 4) resultou em densidade algal significativamente superior àquela obtida nos cultivos realizados com meio de dejetos, os quais não diferiram entre si. Este resultado demonstra que, para as condições experimentais utilizadas, a adição de uréia e o controle de aeração com dejetos de suínos não surtiram efeito quanto ao crescimento algal.

Segundo Nerp-Epa (1971, apud Beltrão, 1992), a deficiência de nitrogênio nas células das algas, geralmente leva a uma concentração menor de clorofila. No presente experimento, o meio com dejetos proporcionou suficiente quantidade de nitrogênio e por esta razão o efeito da adição de uréia não resultou em aumento da clorofila a. Isto é corroborado, também, pelo fato da concentração algal, nos três tratamentos de dejetos, não terem diferido significativamente entre si.

Considerando que os resultados de crescimento algal foram maiores no 5^o dia do que o 10^o dia nos tratamentos 1, 2 e 3 (meio de dejetos) pode-se deduzir que o tempo de cultivo com este meio deve ser reduzido para se obter melhor efeito.

Rodulfo et al. (1980) também testaram o efeito da adição de uréia no crescimento da microalga *Chlorella pyrenoidosa*. Segundo estes autores, o nitrogênio em forma de amônia evapora para a atmosfera, ficando o meio com deficiência deste nutriente. Eles observaram um maior crescimento no décimo dia de cultivo, quando foram utilizadas concentrações de uréia de 0,1 a 0,3 g/L, obtendo concentrações de 55×10^5 cel/mL (o rendimento do controle foi de 110×10^5 cel/mL). Possivelmente o meio utilizado no experimento destes autores (efluente de biodigestor), por já se encontrar praticamente mineralizado e por possuir uma menor turbidez, tenha resultado maior rendimento, o que justificaria a

causa desta diferença, uma vez que no presente experimento foi utilizado um dejetto bruto.

Pratt e Johnson (1963, apud Beltrão, 1992), afirmam que a microalga *Chlorella vulgaris* cresce muito pouco em meios com deficiência de nitrogênio.

Os resultados de eficiência de remoção das variáveis de turbidez, nitrito, nitrato, amônia, N total, P total, ortofosfato, DQO solúvel, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos dissolvidos totais para os tratamentos 1, 2 e 3 (meio de dejetto) estão apresentados na tabela 4.

TABELA 4 – Valores médios de taxa de remoção das variáveis turbidez, nitrito, nitrato, amônia, N total, P total, ortofosfato, DQO solúvel, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos dissolvidos totais para os tratamentos 1, 2 e 3 (meio de dejetto) em diferentes tratamentos. DP = Desvio Padrão

Tratamento Variáveis (NTU)	1		2		3	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Turbidez	54,91a	13,52	59,68a	16,87	65,62a	10,89
Nitrito (mg/L)	301200,0a	10412,97	135433,3b	18308,8	147366,b	7433,26
Nitrato (mg/L)	-662,22a	526,63	-565,56a	132,09	-926,67a	1164,42
Amônia (mg/L)	78,33a	4,27	88,91b	11,77	99,08b	0,46
N-total (mg/L)	-1,32a	29,12	40,18b	48,24	69,28c	22,16
P-total (mg/L)	26,62a	0,71	23,49a	5,68	23,59a	2,53
Ortofosfato (mg/L)	6,71a	0,84	0,99b	6,45	0,04c	2,90
DQO solúvel (mg/L)	50,56a	10,86	68,48a	20,89	78,37a	5,35
Sólidos totais (mg/L)	92,26a	1,29	93,66a	1,90	85,10a	14,81
Sólidos totais voláteis (mg/L)	94,42a	1,00	96,72a	3,89	86,57a	13,65
Sólidos dissolv. totais (mg/L)	100a	75,07	100a	65,01	100a	67,42

Observação: letras iguais indicam $P > 0,05$ e letras diferentes indicam $P < 0,05$.

Com relação à turbidez, os resultados obtidos para os tratamentos T1, T2 e T3 não apresentaram diferenças ($P > 0,05$). Na variável nitrito, os valores de eficiência de remoção do T1

diferiram do T2 e T3 ($P < 0,05$). Para o nitrato, os resultados obtidos nos tratamentos T1, T2 e T3 não apresentaram diferenças ($P > 0,05$). Com relação à amônia, a eficiência de remoção obtida no tratamento T1 foi inferior àquela observada para os tratamentos T2 e T3 ($P < 0,05$), as quais apresentaram homogeneidade ($P > 0,05$). Na variável nitrogênio total para a eficiência de remoção observada nos tratamentos T1, possivelmente devido à adição de uréia, o resultado foi negativo, logo acrescentou N. Com relação ao fósforo total, não houve diferença significativa entre os tratamentos: T1, T2 e T3 ($P > 0,05$). Para o ortofosfato, os resultados obtidos nos tratamentos T1, diferiram do tratamento T2 e do tratamento T3 ($P < 0,05$).

Para o DQO solúvel, os resultados obtidos nos tratamentos T1, T2 e T3 evidenciaram que estes não diferiram ($P > 0,05$).

Na variável sólido total, os resultados obtidos para os tratamentos T1, T2 e T3 evidenciam homogeneidade entre os mesmos ($P > 0,05$). Com relação aos sólidos voláteis totais, a taxa de remoção não apresentou diferença significativa entre os tratamentos T1, T2 e T3 ($P > 0,05$). Para sólidos dissolvidos totais, os valores de eficiência de remoção para os tratamentos 1, 2 e 3 foram estatisticamente homogêneos ($P > 0,05$).

O nitrito, amônio, nitrogênio total e ortofosfato foram os únicos que apresentaram diferenças significativas, ou seja, foram influenciadas pelos tratamentos no que diz respeito à sua remoção.

Com relação ao nitrito, embora tenha havido diferença significativa entre os tratamentos, a remoção foi deficiente. De acordo com Przytocka-Jusiak et al. (1984), a microalga *Chlorella vulgaris* tem preferência por formas reduzidas de nitrogênio, criando assim uma tendência para que o nitrito e o nitrato fiquem acumulados no meio, sem serem removidos. Esta pode ser uma hipótese para explicar o fato de que em todos os experimentos do presente trabalho, a remoção do nitrito tenha sido negativa e

que no experimento com adição de uréia (tratamento 3) a eficiência de remoção do nitrato também tenha sido negativa, enquanto para a amônia obteve-se uma alta eficiência de remoção.

Já com relação à eficiência de remoção de amônia, o tratamento com adição de uréia correspondeu à menor eficiência de remoção, possivelmente influenciada pela adição de uréia, sem correspondente utilização ou nitrificação completa da mesma, que em meio não deficiente em nitrogênio, não foi completamente metabolizada pelas algas.

O nitrogênio total no tratamento com adição de uréia aumentou, ficando, portanto bem visível a influência da uréia neste fato.

Quanto ao DQO solúvel, sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos totais dissolvidos, a eficiência de remoção foi alta, não havendo sido registrada diferença significativa entre os tratamentos.

Os resultados médios de temperatura para os diferentes tratamentos, no período da manhã e tarde, do 1º ao 5º dia e do 6º ao 10º dia são apresentados na tabela 5. Com relação ao período do 1º ao 5º dia, no turno da manhã, a temperatura variou de 23,5 a 23,9 °C, enquanto à tarde variou de 30,5 a 32,0 °C. No período do 6º ao 10º dia, no turno da manhã, a temperatura variou de 25,2 a 25,7 °C, enquanto no turno da tarde variou de 29,2 a 29,7 °C. Os valores médios de temperatura nos quatro tratamentos foram similares entre manhã e tarde.

Considerando-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, possivelmente esta variável não interferiu no rendimento algal e na eficiência de remoção das variáveis abióticas.

A luminosidade, representada graficamente na figura 1, variou no período da manhã de 1669 a 12334 lux e no período

da tarde de 5269 a 15835 lux, em geral com os maiores valores à tarde, com exceção do 4º dia de estudo.

TABELA 5 – Valores médios de temperatura para os diferentes tratamentos, no período da manhã e tarde para o meio (5º dia) e o final (10º dia).

Tratamento	Temperatura (°C)							
	Manhã				Tarde			
	de 1 a 5		de 6 a 10		de 1 a 5		de 6 a 10	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	23,5a	0,58	25,2a	0,10	31,0a	1,11	29,7a	0,58
2	23,7a	0,58	25,6a	0,58	32,0a	0,10	29,5a	0,17
3	23,8a	0,00	25,7a	0,00	31,7a	0,35	29,2a	0,25
4	23,9a	0,15	25,2a	0,35	30,5a	0,11	29,2a	0,23

Observação: letras iguais indicam $p > 0,05$ e letras diferentes indicam $p < 0,05$.

Na tabela 6, são apresentados os resultados médios dos valores de pH registrados diariamente para os períodos do 1º ao 5º e do 6º ao 10º dias, nos tumos da manhã e da tarde nos tratamentos desenvolvidos em meio de dejetos.

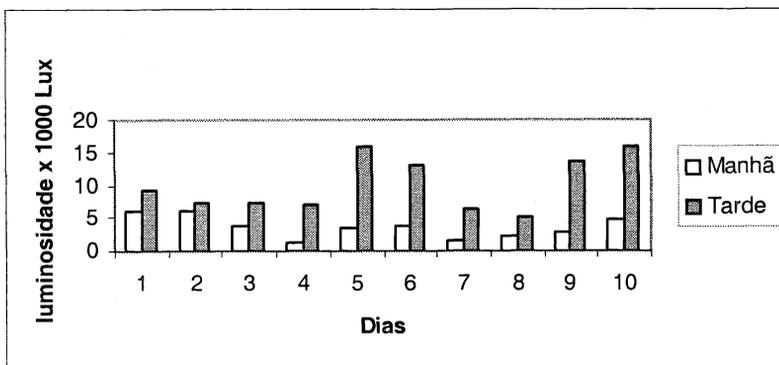


FIGURA 1: Variação da luminosidade nos períodos da manhã e tarde.

TABELA 6 – Valores médios diários de pH para os diferentes tratamentos, no período da manhã e tarde entre 1º e 5º dia e entre 6º e 10º dia.

Tratamento	pH							
	manhã				tarde			
	de 1º ao 5º dia		de 6º ao 10º dia		de 1º ao 5º dia		de 6º ao 10º dia	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	8,63a	0,04	8,05a	0,15	8,86a	0,04	8,14a	0,09
2	8,66a	0,01	7,99a	0,13	8,74b	0,22	8,28a	0,11
3	8,28b	0,20	8,11a	0,11	8,85b	0,15	8,42a	0,16

Observação: letras iguais indicam $p > 0,05$ e letras diferentes indicam $p < 0,05$.

Como também para esta variável não houve diferença significativa entre os tratamentos, possivelmente esta não tenha influenciado o crescimento algal e a eficiência de remoção. O tratamento 2 (controle de aeração) não surtiu efeito na redução do pH, conforme se esperava. Segundo Goldman et. al. (1972, apud Beltrão, 1992), a redução do pH é devida a uma redução drástica da concentração de carbono pelo crescimento algal, levando ao rompimento do sistema tampão. Segundo König (1990 apud Silva, 1996), o aumento do pH em função do aumento do oxigênio decorre de que a intensa atividade fotossintética pode remover CO_2 mais rapidamente do que a sua reposição pela atividade bacteriana. Isto é determinado pela dissociação do íon bicarbonato, que libera, além do CO_2 necessário às algas, como subproduto, também o íon hidroxila responsável pela alcalinização do meio.

Lee (1982), estudando os fatores que influenciam o cultivo de *Chlorella vulgaris*, cita que o crescimento desta alga não é alterado com pH variando de 6,5 a 8,0. Abaixo de 6,0 há um decréscimo. No presente experimento, o pH foi estatisticamente homogêneo, variando de 8,14 a 8,42, do 6º ao 10º dia do experimento e para o crescimento algal não se observou diferença

significativa entre os tratamentos. O controle de aeração no tratamento 2 que visava reduzir o pH não surtiu efeito e, portanto não foi possível medir o efeito desta variável sobre o crescimento da alga *Chlorella minutissima*.

Os dados médios para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 relativos ao pH, concentração de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica obtidos no 5º e no 10º dia, são apresentados nas figuras 2, 3 e 4.

Os valores da variável pH, obtidos para o 5º dia variaram de 7,05 a 8,91, enquanto no 10º dia variaram de 7,09 a 8,05. Em ambos os períodos não houve diferença significativa entre os resultados obtidos para os diferentes tratamentos ($P > 0,05$). Na figura 2, com relação à variação do pH, pode-se observar uma homogeneidade entre os tratamentos 1, 2 e 3 no início, meio e fim. No tratamento 4 foram registrados menores valores.

A concentração de oxigênio, tanto na metade quanto próximo ao final do experimento foi homogênea entre os tratamentos e com pequenas variações, possivelmente, não influenciando direta ou indiretamente no crescimento da alga e na eficiência de remoção.

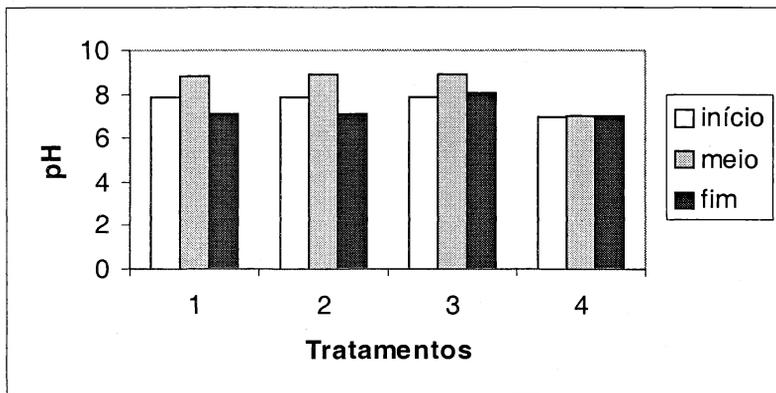


FIGURA 2: pH nos diferentes tratamentos (início, meio e fim).

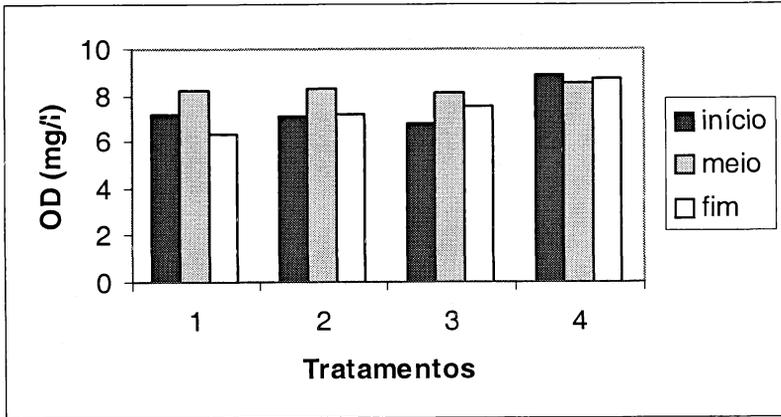


FIGURA 3: Oxigênio dissolvido nos diferentes tratamentos (início, meio e fim).

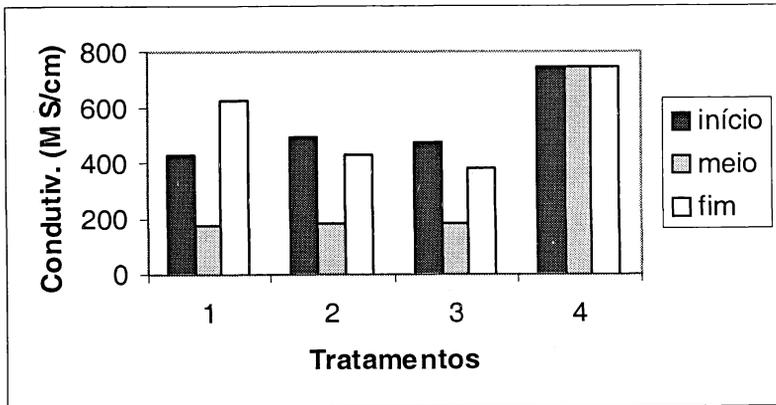


FIGURA 4: Condutividade elétrica nos diferentes tratamentos.(início, meio e fim).

Para a condutividade elétrica (Figura 4), no tratamento 4, os valores foram elevados no início, meio e fim e superiores aos demais. Nos tratamentos 1, 2 e 3, os valores de condutividade iniciaram-se elevados, reduziram no 5º dia e voltaram a subir no 10º dia. Observou-se que no período entre o 6º e o 10º dia ocorreram grandes variações (381,33 a 626 mScm⁻¹). O maior

valor médio de condutividade registrado no tratamento com adição de uréia em relação aos demais tratamentos, foi diretamente influenciado pela adição deste composto.

Baseado nos resultados obtidos pode-se obter as seguintes conclusões que se seguem:

- Em condições de laboratório, o processo de tratamento do efluente da suinocultura, tendo como base a ação de *Chlorella minutíssima*, num período de 10 dias, é eficaz na redução de amônia, fósforo, DQO solúvel e turbidez.
- A adição de uréia ao dejetos não influenciou na taxa de crescimento da alga *Chlorella minutíssima*.
- A redução da DQO foi significativa em todos os tratamentos testados, independentemente da adição de uréia e do controle de pH.
- A remoção dos sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos dissolvidos totais foi alta e não demonstrou ser influenciada pela adição de uréia.
- A suspensão da aeração não influenciou o rendimento algal.

Referências

Alfaro, O. G.; Juantorena, A.; Leal, A.; Ramírez, A. 1992. Biomassa de microalgas y tratamiento de residuales. **Anais do XXIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental**, Habana, Cuba, sem paginação.

APHA. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 12.ed. A.P.S., New York, USA, 769 pp.

Belli Filho, P. 1998. Suinocultura competitiva. **Revista Inovar**, **11**: 27.

Beltrão, M. I. 1992 **Cultivo de algas clorofíceas (*Ankistrodesmus densus*, *Chlorella vulgaris* e *Scenedesmus bijugatus*) em resíduos líquidos de indústria de suco de laranja concentrado**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil, 120 pp.

Lee, C. M. 1982. Practical aspects of aquatic toxicology. **Anais do Workshop sobre o Desenvolvimento de Técnicas em Toxidade Aquática da CETESB**, São Paulo, Brasil, p. 20-29.

Oliveira, P. A. V. 1993. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. 1.ed. EMBRAPA-CNPISA, Concórdia, Brasil, 188 pp.

Przytocka-Jusiak, M.; Duszota, M.; Matusiak, K.; Mycielski, R. 1984. Intensive culture of *Chlorella vulgaris* as the second stage of biological purification of nitrogen industry wastewaters. **Water Research**, **18** (1): 1-7.

Rodulfo, B. R.; Marmol, N. H.; Embralino, G. A. 1980. Production of *Chlorella* sp. in clarified effluent from hog manure biogas digester. **The Philippines Journal of Science**, **109**: 51-58.

Silva, F. C. M. 1996. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 115 pp.

Stokes, P. M.; Hutchinson, T. C. ; Krauter, K. 1973. Heavy metal tolerance in algae isolated from lakes contaminated near Sudbury-Ontario. **Canadian Journal of Botany**, **51**: 2155-2168.

Strickland, J. D. H.; Parsons, T. R 1968. A practical handbook of seawater analysis. **Bulletin Fisheries Research**, **167**: 1-311.

Venkataraman, L.V; Becker, E.W. 1985. **Biotechnology & utilization of algae- The Indian experience**. Central Food Technological Research Institute, Mysore, India, 257 pp.

Venkataraman, K.; Madhavi-Devi, K.; Mahadevas-Wamy, M.; Mohammed-Kunhi, A. A. 1982. Utilization of rural wastes for algal biomass production with *Scenedesmus acutus* and *Spirulina plantensi*, **India Agriculture Wastes**, **4**:117-130.