

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LAGOAS DE AGUAPÉS NO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE DEJETOS DE
SUÍNOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO

ANGELITA SILVEIRA DO LIVRAMENTO BAVARESCO

ORIENTADORA: REJANE HELENA RIBEIRO DA COSTA

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 1998
SANTA CATARINA - BRASIL



0.292.719-2

UFSC-BU



**LAGOAS DE AGUAPÉS NO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE DEJETOS DE
SUÍNOS**

ANGELITA SILVEIRA DO LIVRAMENTO BAVARESCO

**Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação**



Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador do Curso

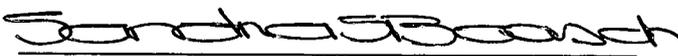
BANCA EXAMINADORA



Profa. Rejane Helena Ribeiro da Costa, Dra.
Orientadora



Prof. Waldir Medri, Dr.
Examinador Externo



Profa. Sandra Sulamita Nahas Baasch, Dra.

A meus pais, Rid e Armeli.

A meu esposo, Carlos.

Dedico com muito amor.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Dra. Rejane Helena Ribeiro da Costa, por sua incansável dedicação, pelo incentivo e amizade e principalmente por não me deixar desistir.

À Banca Examinadora: Sandra Sulamita Nahas Baasch e Waldir Medri, pelas críticas e sugestões ao trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e aos professores do Programa de Pós-Graduação, por oferecer esta valiosa oportunidade de aperfeiçoamento.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves (CNPSA) da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pelo apoio financeiro recebido.

À Bióloga, Giselle de Souza Paula e ao acadêmico do curso de Eng^a Sanitária e Ambiental, Jawilson Pereira Machado (Profeta) pela valorosa contribuição e apoio na realização deste trabalho.

Em especial ao Carlos, pelo estímulo, paciência, dedicação e apoio nas minhas horas de aflição.

E a Deus, por ter me dado forças para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivos.....	03

CAPÍTULO 2

2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA	04
2.1. Importância sócio- econômica da suinocultura brasileira.....	04
2.2. Problemática ambiental.....	07
2.3. Legislação.....	10
2.4. Dejetos de suínos.....	12
2.4.1. Produção.....	12
2.4.2. Composição.....	14
2.4.3. Propostas de tratamento e principais práticas de disposição.....	16
2.5. Lagoas de estabilização.....	21
2.5.1. Referências históricas.....	21
2.5.2. Lagoas para dejetos de animais.....	23
2.5.3. Tipos de lagoas.....	24
2.5.3.1. Lagoas anaeróbias.....	25
2.5.3.2. Lagoas facultativas.....	26
2.5.3.3. Lagoas de maturação ou aeróbias.....	26
2.6. O aguapé e a despoluição das águas.....	27
2.7. Custo de um sistema de lagoas de estabilização.....	34

CAPÍTULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. Lagoas Piloto.....	36
3.2. Lagoas em escala real.....	38

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS	41
4.1. Ensaio em batelada – Lagoas piloto.....	41
4.2. Ensaio em contínuo – Sistema em escala real.....	54
4.3. Metabolismo dos aguapés pelos suínos.....	62
4.4. Estudo econômico.....	63

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
--------------------------------------------	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
-----------------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Efetivo do rebanho suíno nos estados brasileiros (mil cabeças).....	06
Quadro 2 – Efetivo de suínos por mesorregião de Santa Catarina 1991 (no de cabeças)..	07
Quadro 3 – Consumo diário de água por suíno em função da fase produtiva.....	13
Quadro 4 – Composição média de dejetos de suínos estudados por diversos autores.....	15
Quadro 5 – Características dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação...	15
Quadro 6 – Composição química de aguapés cultivados em meio nutritivo e em dejetos de suínos.....	30
Quadro 7 – Características das lagoas da estação experimental do CNPSA.....	39
Quadro 8 – Valores de temperatura, OD e pH – ensaio E ₁ (verão).....	41
Quadro 9 – Valores de temperatura, OD e pH – ensaio E ₂ (inverno).....	41
Quadro 10 – Resultados das análises bacteriológicos (E ₂).....	51
Quadro 11 – Produtividade dos aguapés ao final de 30 dias de ensaio.....	52
Quadro 12a – Valores médios de pH, DQO, NT, PT e Coliformes Fecais (primavera/verão) primeira etapa.....	54
Quadro 12b – Valores médios de pH, DQO, NT, PT e Coliformes Fecais (outono/inverno) Segunda etapa.....	54

Quadro 13 – Eficiência de remoção (em %) do NT e PT na lagoa de aguapés.....	58
Quadro 14 – Taxa de remoção diária efetuada pelos aguapés (em mg/ (dia g aguapé)....	60
Quadro 15 – Cargas superficiais aplicadas e removidas na lagoa na lagoa de aguapés...	61
Quadro 16 – Características do feno de aguapé.....	62
Quadro 17 – Custos estimados para lagoas de aguapés/período 20 anos.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentuais de contribuição em Nitrogênio e Fósforo da suinocultura em relação à outras atividades agropecuárias na França.....	14
Figura 2 – Exemplos de algumas formas de disposição e/ou tratamento de dejetos de suínos.....	17
Figura 3 – Lagoas piloto de aguapés.....	36
Figura 4 – Esquema do sistema de tratamento de dejetos de suínos do CNPSA.....	38
Figura 5 – Vista da lagoa de aguapés do sistema experimental do CNPSA.....	39
Figura 6 – Eficiência de remoção do Nitrogênio Total.....	42
Figura 7 – Eficiência de remoção de DQO.....	43
Figura 8 – Eficiência de remoção de Fósforo Total.....	43
Figura 9 – Taxa diária de remoção de Nitrogênio Total.....	44
Figura 10 – Taxa diária de remoção de DQO.....	44
Figura 11 – Taxa diária de remoção de Fósforo Total.....	45
Figura 12a – Concentração de Fe nas lagoas (E ₁).....	46
Figura 12b – Concentração de Fe nas lagoas (E ₂).....	46

Figura 13a – Concentração de Cu nas lagoas (E ₁).....	47
Figura 13b – Concentração de Cu nas lagoas (E ₂).....	47
Figura 14a – Concentração de Zn nas lagoas (E ₁).....	48
Figura 14b – Concentração de Zn nas lagoas (E ₂).....	48
Figura 15a – Concentração de Mn nas lagoas (E ₁).....	49
Figura 15b – Concentração de Mn nas lagoas (E ₂).....	49
Figura 16a – Percentuais de remoção dos metais (E ₁).....	50
Figura 16b – Percentuais de remoção dos metais (E ₂).....	50
Figura 17 – Produtividade dos aguapés em função da concentração inicial de NT.....	53
Figura 18a – Evolução da DQO no tempo 1 ^a etapa (primavera/verão).....	56
Figura 18 b – Evolução do NT no tempo 1 ^a etapa (primavera/verão).....	56
Figura 18c – Evolução do PT no tempo 1 ^a etapa (primavera/verão).....	56
Figura 19a – Evolução da DQO no tempo 2 ^a etapa (outono/inverno).....	57
Figura 19b – Evolução do NT no tempo 2 ^a etapa (outono/inverno).....	57
Figura 19c – Evolução do PT no tempo 2 ^a etapa (outono/inverno).....	57
Figura 20a – Eficiência de remoção do NT e PT na 1 ^a etapa (primavera/verão).....	58

Figura 20 b – Eficiência de remoção do NT e PT na 2ª etapa (outono/inverno).....59

RESUMO

A atividade suinícola apresenta-se como um fator importante tanto social como econômico, gerando uma multiplicação de renda e emprego em vários setores da economia. Entretanto, a degradação ambiental causada por esta atividade é grande, devido principalmente, aos sistemas de criação de suínos em confinamento.

Os dejetos de suínos possuem concentrações elevadas de DBO_5 , sólidos em suspensão e nutrientes (Nitrogênio e Fósforo), degradando solos e corpos d'água quando lançados sem tratamento.

Os problemas ambientais na região Oeste de Santa Catarina, uma das maiores produtoras nacional de suínos, atingiram níveis inaceitáveis tanto no aproveitamento quanto no tratamento de dejetos.

O grande desafio é o desenvolvimento de processos que reduzam o poder poluente dessa atividade. Diversas alternativas têm sido apresentadas para tratamento da parte líquida. O tratamento de dejetos de suínos através de lagoas de estabilização vem sendo considerado, entre outros métodos, o mais eficiente, mais fácil e econômico.

Porém, como os dejetos de suínos são altamente concentrados em nutrientes, faz-se necessário uma etapa terciária de tratamento, para a remoção dos mesmos, adequando o efluente final aos padrões ambientais.

Este trabalho apresenta, estudos realizados com lagoas de aguapés em escala piloto e real, com o objetivo de buscar parâmetros operacionais e compreender os fenômenos envolvidos nesse processo de tratamento.

Os resultados obtidos, mostram que o uso de lagoas de aguapés, no tratamento terciário de dejetos de suínos, é viável, desde que observadas as condições de manejo correto das plantas ao longo do funcionamento do sistema. As variações sazonais são importantes no desempenho e na produtividade das plantas. As lagoas de aguapés mostraram-se capazes de remover cerca de 50% das cargas poluentes (DQO, NT e PT), mesmo para valores elevados de cargas superficiais aplicadas de Nitrogênio Total em torno de 110 kg/ha/dia. Para esse tipo de lagoa as remoções de metais e patogênicos também são importantes. Um período de 20 dias apresenta-se como um período de retenção hidráulica ideal.

Admitindo-se, taxa de juros de 15% ao ano durante 20 anos, obtém-se através de cálculos do fluxo de caixa um custo anual de R\$ 300,00 para uma lagoa com área aproximada de 280 m².

A utilização dos aguapés na complementação da dieta animal deve ser objeto de mais estudos, fechando, assim, o ciclo produtivo de forma auto-sustentável.

ABSTRACT

The swine activity shows itself as an important social and economical factor, generating an income and employment multiplication in several economic sector. However, the environmental degradation caused by this activity is big due to, mainly, the confining swine breeding systems.

The swine dejection has high concentration of Biochemical Demand for Oxygen (BOD_5), solid suspensions and nutrients (Nitrogen and Phosphorus), degrading soils and rivers when they are threw without treatment.

The environmental problems on the West region of Santa Catarina, the greatest national swine producer, have achieved unacceptable levels on the improvement and dejection treatment.

The great challenge is the process developments that reduce the pollutant power of this activity. Several treatment alternatives have been presented for the treatment of the liquid part. The swine dejection treatment, through stabilization lakes, has been considered, among other methods, as the most efficient, easiest and economical.

However, as the swine dejection is highly concentrated in nutrients, it is necessary a tertiary stage treatment to remove it, fitting the finished effluent to the environmental standars.

This work presents studies realized on the water hyacinth lake in a pilot and real scale with the objective of seeking operational parameters and understanding the involved phenomena in this treatment process.

The results obtained show that use of water hyacinth lakes, on the tertiary swine dejection treatment, are reasonable, since it is observed the correct management conditions of plants over the functioning system. The seasonal variations are important on the performance and

plants productivity. The water hyacinth lakes are able to remove about 50% of pollutant charges (DQO, NT and PT), even for high superficial charge values applied to Total Nitrogen which is around 110 kg/ha/day. For this kind of lake the removal of metals and pathogenic are also important. A period of 20 days, is presented as an ideal period hydraulic retention.

It is admitted interest rate of 15% a year for 20 years which can be obtained through the flow cash calculus an annual cost of R\$ 300,00 for a lake with an approximate area of 280 m².

The use of water hyacinth on an animal diet implementation must be an object of more studies, closing in this way the productive cycle in an auto-sustainable form.

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO - OBJETIVOS

O Estado de Santa Catarina possui aproximadamente 220.000 propriedades rurais, sendo que destas 60.000 propriedades possuem na suinocultura sua principal fonte de renda.

Do total do rebanho suíno catarinense, 3,5 milhões de cabeças, 86% estão concentrados em uma área de 30.000 Km², abrangendo 60 municípios no Oeste catarinense. A maioria dos produtores mantém seus animais confinados em pequenas áreas, trazendo como consequência grande produção em volume de dejetos no mesmo lugar.

Baseado em estimativas, a produção de suínos do Brasil gera de 32 a 51 milhões de toneladas de dejetos/ano. Este volume de resíduos apresenta um elevado potencial em nutrientes fertilizantes e alimentares, ou ainda um expressivo risco de poluição quando inadequadamente manejado e utilizado (Cavalcanti, 1984).

O Oeste catarinense apresenta um quadro ambiental crítico quanto à poluição proveniente do manejo desses dejetos. As reservas de águas superficiais e subterrâneas estão comprometidas pelas contaminações bacteriológicas e químicas, geradas pelas atividades de criação dos suínos e lançamento dos dejetos no solo ou nos cursos d'água sem tratamento (Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 1990).

Os processos de tratamento de dejetos de suínos são os mais diversos. No entanto, dentre as tecnologias utilizadas nessa região, as lagoas de estabilização têm sido utilizadas com mais frequência por médios e grandes produtores. Processo simples, com baixo custo operacional, possuindo credibilidade já demonstrada em grande escala a nível mundial, principalmente onde as condições climáticas são favoráveis e as áreas de terrenos disponíveis. Porém, faltam dados locais de trabalhos experimentais, que indiquem condições ótimas de funcionamento das lagoas.

A utilização de lagoas facultativas no tratamento dos dejetos apresenta como uma das principais vantagens a remoção dos compostos de Nitrogênio (N) e Fósforo (P). Ou seja, o sistema pode ser operado de tal forma que regule as quantidades desses compostos que serão introduzidos nos corpos receptores do efluente já tratado. Sendo assim, problemas graves como: eutrofização das águas superficiais e elevados teores de Nitrato em águas de abastecimento doméstico, poderão ser evitados. O uso de lagoas de aguapés (*Eichornia Crassipes*), como etapa terciária de tratamento, em um sistema de lagoas, apresenta-se como uma das alternativas possíveis para a remoção desses compostos dos efluentes.

Este estudo tem como tema a análise da viabilidade do uso de lagoas de aguapés como polimento, em um sistema de lagoas em série para tratamento de dejetos de suínos. Teve apoio técnico e financeiro da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) através do Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves (CNPSA) localizado em Concórdia, SC, conforme parceria firmada desde 1992 entre este Centro e a UFSC – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, cujas pesquisas compreendem todas as etapas do tratamento e/ou aproveitamento dos dejetos de suínos e conta atualmente com 8 sub-projetos, envolvendo cerca de 30 pessoas, entre pesquisadores, técnicos, professores, alunos de pós-graduação e graduação. O apoio financeiro também foi obtido através do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), sem o qual o trabalho não poderia se desenvolver.

O estudo se desenvolveu em duas etapas: inicialmente em escala piloto, com lagoas montadas na Universidade Federal de Santa Catarina (sistema em batelada) e depois em escala real, através de uma lagoa terciária funcionando em série no CNPSA/EMBRAPA.

1.1 - Objetivos

Objetivo geral

Avaliar o tratamento terciário de dejetos de suínos através de lagoas de aguapés, como alternativa minimizadora da degradação ambiental causada pelas atividades produtoras da suinocultura.

Objetivos Específicos

- estudar o desempenho de aguapés na remoção da matéria orgânica (DQO), remoção de nutrientes (N e P) e bacteriológica (Coliformes Totais e Fecais) de dejetos de suínos, em lagoas piloto funcionando em batelada;
- avaliar o funcionamento em contínuo de lagoa de aguapés, em escala real, no tratamento terciário de dejetos de suínos;
- estudo do aguapé: balanço do crescimento, taxas de remoção de poluentes e utilização na dieta animal;
- estudo econômico simplificado para implantação e manutenção de uma lagoa de aguapés.

CAPÍTULO 2

2 - SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Importância Sócio-Econômica da Suinocultura Brasileira

O desenvolvimento da suinocultura apresenta-se como um fator importante no desenvolvimento nacional, gerando multiplicação de renda e emprego em todos os setores da economia. A suinocultura é uma atividade fundamental para o Estado de Santa Catarina, não só em termos econômicos como também sociais.

O Brasil conta com mais de 30 milhões de suínos, responsáveis por uma oferta anual de 1,3 milhões de toneladas. O consumo per capita no Brasil está na faixa dos 7,5 quilos por habitante/ano. Esses números são expressivos, porém poderiam ser melhorados, especialmente em relação aos índices produção e consumo per capita.

Segundo Albuquerque (1995), a carne suína é a proteína animal mais produzida e consumida em todo o mundo. Mais de 70 milhões de toneladas são comercializadas anualmente, contra menos de 50 milhões de toneladas de carne bovina e pouco mais de 30 milhões de carne de frango. Porém, no Brasil as estatísticas são desfavoráveis em relação às outras carnes. De uma receita total de US\$ 30 bilhões/ano, a suinocultura participa com cerca de US\$ 4 bilhões/ano, especialmente com a oferta de industrializados de maior valor agregado. As estatísticas das entidades de classe mostram que cerca de 70% de toda a carne suína produzida no Brasil são transformadas em embutidos. Esta situação tem induzido os criadores a colocar na rua uma campanha de marketing para incentivar o consumo de carne suína “in natura”.

A importância da atividade suinicola no contexto nacional reside não somente na quantidade de produtores envolvidos, como também no volume de empregos diretos e indiretos gerados, 2,5 milhões apenas na região Sul e nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, e pela capacidade de produzir grande quantidade de proteína animal de alta qualidade, em reduzido

espaço físico e curto espaço de tempo, quando comparada a outras espécies animais de médio e grande porte (EMBRAPA/CNPSA, 1985).

Sem dúvida, o desenvolvimento da suinocultura é um importante fator de crescimento econômico nacional, trazendo efeitos multiplicadores de renda e emprego em vários setores da economia, aumentando a demanda em insumos agropecuários e a expansão e modernização dos setores de comercialização e agroindústrias.

A suinocultura encontra condições ideais para seu desenvolvimento na estrutura fundiária do estado e na sua topografia. Segundo , o Censo Agropecuário de 1985, o rebanho nacional é de 30.481.278 animais, distribuídos conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Efetivo do rebanho suíno nos estados brasileiros (mil cabeças)

ESTADO	REBANHO SUÍNO	PARTICIPAÇÃO %
Acre	158,55	0.520
Alagoas	85,46	0.280
Amapá	21,01	0.069
Amazonas	180,58	0.592
Bahia	1.511,60	4.959
Ceará	1.245,46	4.086
Distrito Federal	34,98	0.115
Espírito Santo	434,57	1.426
Goiás	1.442,03	4.731
Maranhão	2.552,83	8.375
Mato Grosso	671,15	2.202
Mato Grosso do Sul	400,65	1.314
Minas Gerais	3.008,82	9.871
Pará	1.256,74	4.123
Paraíba	248,30	0.815
Paraná	4.482,25	14.705
Pernambuco	545,65	1.790
Piauí	1.476,04	4.842
Rio de Janeiro	274,89	0.902
Rio Grande do Norte	133,25	0.437
Rio Grande do Sul	4.225,30	13.862
Rondônia	502,81	1.650
Roraima	43,91	0.144
Santa Catarina	3.085,30	10.450
São Paulo	1.888,39	6.195
Sergipe	74,16	0.243
Tocantins	396,47	1.301
BRASIL	30.481,27	100.000

Fonte: Censo Agropecuário de 1985 – IBGE

Neste quadro pode-se observar que Santa Catarina é o terceiro estado em número de cabeças de suínos. Sendo que o rebanho encontra-se distribuído como mostra o quadro 2.

Quadro 2. Efetivo de suínos por mesorregião de Santa Catarina – 1991 (nº de cabeças)

MESORREGIÃO	SUÍNOS	%
Oeste	2.179.577	66,55
Norte	273.580	8,35
Serrana	139.915	4,27
Vale do Itajaí	297.363	9,08
Grande Florianópolis	74.357	2,27
Sul	310.232	9,47
TOTAL DO ESTADO	3.275.024	100,00

Fonte: Censo Agropecuário de 1985 - IBGE

Observa-se que a mesorregião Oeste apresenta o maior rebanho suíno do estado, com 66, 55% do efetivo. É também nesta região que se concentram a produção estadual e o maior número de frigoríficos.

2.2 – Problemática Ambiental

De acordo com o Censo Agropecuário de 1985 (IBGE), existem em Santa Catarina 177.895 estabelecimentos que desenvolvem a criação de suínos, sendo que 101.094 caracterizam-se como pequenas propriedades com uma área total de 10 a 50 hectares.

A crescente tendência para adoção de “sistemas confinados de produção de suínos”, especificamente em Santa Catarina, tem produzido quantidades cada vez maiores de dejetos, onde a inadequação dos “sistemas de manejo e armazenamento” induzem o seu lançamento em rios e cursos d’água naturais. O lançamento de grandes quantidades de dejetos em rios e lagos pode levar a sérios desequilíbrios ecológicos e poluição em função da redução do teor

de oxigênio dissolvido na água, devido a alta demanda bioquímica do oxigênio (DBO), e da carga orgânica interante (Oliveira et al., 1993).

Ainda segundo esse autor, a situação dos recursos hídricos superficiais catarinenses tem despertado grandes preocupações tanto aos órgãos estaduais, responsáveis pela qualidade do meio ambiente e saúde pública, bem como à população em geral. O desmatamento irracional e não controlado tem diminuído consideravelmente o caudal dos mananciais, prejudicando o atendimento à demanda, principalmente nos períodos de estiagem. Já em termos de qualidade desses mananciais a Fundação do Meio Ambiente - FATMA, afirma que 80% destes recursos no território catarinense encontram-se seriamente comprometidos em decorrência da degradação ambiental ocasionada tanto por fatores autóctones (lançamento de esgotos sanitários urbanos, dejetos de animais, efluentes industriais e uso de fertilizantes e agrotóxicos) como naturais (erosão) (SEDUMA, 1990). Dentre os fatores de degradação da qualidade dos mananciais destacam-se os subprodutos originados da criação de animais em confinamento, especialmente os da atividade suinícola, pois os da avicultura, devido as suas propriedades e preço obtido no mercado, em relação aos insumos químicos, são rapidamente aproveitados.

A contaminação dos mananciais não fica restrita apenas ao município onde são lançados os dejetos, uma vez que esses mananciais muitas vezes atravessam vários municípios, no seu trajeto da nascente até a foz. É comum que um município capte água já poluída, advinda de outro a montante, para utilizá-la no abastecimento público de sua população. As estações de tratamento de água da região, em geral, não possuem tecnologia suficiente para uma efetiva descontaminação das águas contendo microrganismos patogênicos e substâncias químicas tóxicas ao homem (Costa, 1997).

Oliveira et al. (1993) relatam que quando o esterco líquido é aplicado em grandes quantidades no solo ou armazenados em lagoas sem revestimento impermeabilizante durante vários anos, poderá ocorrer sobrecarga da capacidade de filtração do solo e retenção dos nutrientes do esterco. Neste caso, alguns destes nutrientes podem atingir as águas subterrâneas ou superficiais acarretando grandes problemas de contaminação. O fósforo contido nos esterco difunde-se mais rapidamente no solo que o contido nos fertilizantes comerciais, pois a matéria

orgânica do esterco favorece a solubilização dos fosfatos. Isto só ocorre em solos altamente arenosos. Em solos argilosos isto jamais ocorre, pois o movimento vertical do fósforo orgânico é maior que do fósforo mineral, mas é insignificante e jamais causa problemas de contaminação em águas subterrâneas profundas. Embora o acúmulo de fosfato ocorra nas camadas inferiores do solo este não tem sido identificado no lençol freático. A aplicação permanente de esterco líquido excessivamente diluído, ou a precipitação constante após a aplicação do mesmo acelera o carreamento dos nutrientes para as camadas do solo. Outra substância que precisa ser considerada sob o aspecto de proteção ambiental é o nitrato.

Além dos problemas de contaminação do solo e das águas, a população dos municípios produtores de suínos convive há muitos anos com problemas ambientais, tais como: proliferação de moscas, borrachudos, mosquitos, maus odores e erosão dos solos. Esta última responsável por milhões de toneladas de solo fértil que chegam aos rios causando seu assoreamento e também a desertificação de extensas áreas produtivas. Estes problemas ambientais, aliados aos problemas econômicos da produção, intensificam o êxodo rural, o desemprego no setor agrícola, a descapitalização de setor primário e, conseqüentemente, o empobrecimento da região (Stallbaum, 1994).

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) lançou, em 1994, o “Programa de Expansão da Suinocultura e Tratamento dos seus Dejetos”, para a região Sul do Brasil, com financiamento que prioriza o Estado de Santa Catarina. Os recursos são destinados a financiar investimentos que possam solucionar problemas ambientais gerados pelos dejetos lançados nos rios. O objetivo do programa é permitir o aumento da produtividade, a expansão da produção de carne suína e a produção de fertilizantes a partir dos dejetos. O projeto deve ser expandido para as regiões Sudeste e Centro-Oeste. Porém, este financiamento não destina verbas para pesquisas, fazendo com que o produtor invista em tecnologias sem avaliações prévias e sem o conhecimento necessário de suas limitações (Costa, 1997).

2.3 – Legislação

Os aspectos da Legislação Ambiental brasileira e Legislação Ambiental de Santa Catarina, devem ser observados quanto ao licenciamento ambiental e quanto aos padrões de lançamento dos despejos, objetivando a preservação do meio ambiente e a correção de problemas ambientais, provenientes da suinocultura.

Através da Lei 6.938 de 1981, o sistema de licenciamento ambiental foi instituído a nível nacional, condicionando a construção, a instalação, a ampliação e o funcionamento de estabelecimentos e atividades considerados efetiva ou potencialmente poluidores. No Estado de Santa Catarina, o licenciamento ambiental segue a lei nacional, através do Decreto 14.250 de 1981.

Com a criação do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a lei nacional foi modificada, em parte, pela Lei 7.804/89. O processo de licenciamento se dá em três etapas obrigatórias: Licença Ambiental Prévia (LAP), Licença Ambiental de Instalação (LAI) e Licença Ambiental de Operação (LAO). O sistema funciona como um processo de acompanhamento das conseqüências ambientais de uma atividade econômica, desde as etapas iniciais de seu planejamento. O licenciamento de atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional, cabe ao IBAMA. Já vem sendo, em alguns estados, repassado ao município o controle ambiental de atividades de impacto localizado. Para a localização de novas atividades deve ser obedecido também o Código Florestal (Lei 7.803 de 18/07/89) quanto à preservação da vegetação defensiva à erosão, nas faixas marginais dos cursos d'água, de acordo com a largura do rio, partindo do mínimo de 30m para águas correntes e de 50m para lagoas e lagos.

A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) deve ser aplicada ao licenciamento de uma lista de empreendimentos que compreendem desde aterros sanitários até a construção de aeroportos, complexos agro-industriais e projetos urbanísticos. No Estado de Santa Catarina, a atividade de criação de animais em confinamento de médio porte, inclusive suínos, faz parte da lista de atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental, com o potencial poluidor G (grande), segundo Portaria Intersectorial 01/92/SC.

Segundo, Lindner(1995), a localização correta de uma atividade potencialmente causadora de degradação ambiental, como é o caso da criação de suínos em confinamento, possibilita a adequação dos dejetos através de armazenamento, tratamento ou disposição final sem ônus excessivo ao produtor rural. Recomenda que a implantação de novas granjas seja próxima às lavouras, receptoras dos despejos tratados na forma de biofertilizantes ou adubo orgânico.

O *Decreto 14.250/81/SC*, referente à proteção e melhoria da qualidade ambiental, regulamenta os padrões de qualidade da água, classificando-as em três classes segundo seus usos preponderantes. A *Resolução 20/CONAMA/86* (Conselho Nacional de Meio Ambiente) estabelece a nova classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, através da definição de nove classes. A emissão de efluentes líquidos em águas interiores, lagunas e estuários deve obedecer a padrões, que limitam as concentrações de parâmetros como: pH, DBO₅, temperatura, materiais sedimentáveis, óleos e gorduras, metais, nitrogênio, fósforo, micropoluentes e outros, e não devem conferir ao corpo receptor características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade da água, para a classe em que este foi enquadrado.

Com relação ao enquadramento em classes, os cursos d'água do Oeste do Estado de Santa Catarina foram enquadrados pela *Portaria 0024/79-GAPLAN*, em:

Classe 1: Rio Lajeado São José, das nascentes até a captação de água para abastecimento da cidade de Chapecó e seus afluentes nesse trecho, o mesmo para os rios Suruvi e Ditinho e seus afluentes, que abastecem as cidades de Concórdia e Xanxerê, respectivamente.

Classe 2: todos os cursos d'água não incluídos na Classe 1 e nem citados na Classe 3.

Classe 3: Rio Lageado Grande, Rio do Tigre, contribuinte da margem direita do Rio do Peixe e seus afluentes, e Rio dos Queimados, contribuinte da margem direita do Rio Uruguai e seus afluentes.

Pode-se então observar que os rios da região Oeste de Santa Catarina estão quase todos enquadrados na Classe 2. Os usos das águas estabelecidas por esta classe são: abastecimento

doméstico, após tratamento convencional, irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), sendo portanto uma classe que exige padrões rígidos quanto as teores de Oxigênio Dissolvido ($OD > 5\text{mg/l}$), $DBO_5 (< 5 \text{ mg/l})$ e NMP Coliformes totais/100 ml (até 5000) e fecais (até 1000).

Na legislação catarinense ainda predomina o aspecto corretivo em relação ao aspecto preventivo, que poderá ser alterado através do equacionamento das irregularidades existentes, da obtenção de um plano básico de desenvolvimento regional e zoneamento econômico-ecológico (PBDR/ZEE) e do envolvimento dos governos municipais, com atuação local (Lindner, 1995).

2.4 – Dejetos de Suínos

2.4.1 – Produção

Até a década de 70 os dejetos de suínos não constituíam fator importante, pois a concentração de animais era pequena, porém os dados apresentados no quadro 2 mostram que a situação ambiental no Oeste merece cuidados especiais no que diz respeito ao tratamento dos dejetos de suínos.

A quantidade de excrementos produzidos diariamente por suíno e o teor de umidade dos seus dejetos variam de acordo com o desenvolvimento corporal dos suínos, o tipo de alimentação, a quantidade de água ingerida, a estação do ano e a quantidade de água adicionada na higienização das baias (Silva, 1973; Andreadakis, 1992). Os dados de Andreadakis mostram para suínos nas fases de crescimento e terminação (25 a 100 kg) um volume de dejetos de 7 litros/suíno/dia, sendo que esse volume decresce à medida que aumenta o número de animais. Oliveira et al. (1993) perceberam produção média de dejetos líquidos de 8,6 litros/suíno/dia nas diferentes fases de produção. Sevrin-Reyssac et al. (1995) apresentam valores compreendidos entre 5,7 e 7,6 litros/suíno/dia para suínos em uma faixa de peso de 57 a 97 kg, lembrando que este volume de dejetos produzidos compreende entre 10 e 8% do peso vivo do animal.

O volume total dos dejetos, na forma líquida, de um sistema de criação, depende da quantidade de água desperdiçada pelos bebedouros e do volume de água utilizado na higienização das edificações e dos animais. O uso da água tem como finalidade diluir a concentração das fezes e urinas produzidas recentemente e tratá-las como resíduos líquidos, acarretando com isso um volume maior de resíduo a ser tratado podendo dificultar o tratamento. Para um sistema de uso mínimo de água de limpeza, pode-se considerar um gasto de 3,50 litros por suíno/dia, nas fases de crescimento e terminação (Oliveira et al., 1993). Os valores do consumo diário de água por suíno, apresentados por diversos autores (Taiganides, 1986; Oleszkiewicz e Koziarski, 1981; Jelinek, 1977) variam amplamente entre 6 e 45 litros/suíno/dia. Barbari e Rossi (1992) elaboraram dados que mostram as necessidades de água por suíno em função de sua categoria (quadro 3).

Quadro 3. Consumo diário de água por suíno em função da fase produtiva.

Fase do Ciclo Produtivo	Litros água/suíno/dia
Leitão em amamentação	0,1 a 0,5
Leitão em desmamentamento (7 a 25 kg)	1,0 a 5,0
Suíno em crescimento (25 a 50 kg)	4,0 a 7,0
Suíno em engorda (50 a 100 kg)	5,0 a 10,0
Suíno em engorda (100 a 150 kg)	7,0 a 15,0
Porca desmamada	5,0 a 15,0
Porca em gestação	10,0 a 20,0
Porca na maternidade	20,0 a 35,0
Cachaço	10,0 a 15,0

Fonte: Barbari e Rossi (1992).

Várias pesquisas mostram que a quantidade de dejetos produzidos por suínos diariamente é uma questão de manejo, podendo ser reduzida através da instalação de bebedouros que acabam com os desperdícios (A Lavoura, 1992) ou pelo tipo de processo produtivo (Oliveira et al., 1993).

2.4.2- Composição

O “liquame”, expressão adaptada do idioma italiano, é um líquido muito concentrado em matérias em suspensão e rico em elementos fertilizantes, principalmente em Nitrogênio Amoniacal, que constitui cerca de 80% do Nitrogênio Total presente. Este líquido é resultado da mistura das fezes e urina dos animais, das águas de lavagens das baias, resíduos de papel e plásticos, pelos de animais e restos de comidas.

Em países, como a França, a suinocultura gera cerca de 260 toneladas de Nitrogênio/dia e 200 toneladas de Fósforo/dia, produção considerada pequena quando comparada com a produção de fertilizantes por outras espécies de animais como bovinos e aves (Figura 1). O problema está na concentração espacial da produção suinícola. Um suíno produz ao longo de sua vida, cerca de 3 a 4 meses, 0,78 m³ de dejetos, o que representa 3,4 kg de Nitrogênio, 2,9 kg de Fósforo e 2,2 kg de Potássio (Sevrin-Reyssac et al., 1995). No Oeste de Santa Catarina o problema de concentração espacial também está presente, a região possui cerca de 30.000 km² e concentra um rebanho de aproximadamente 3,5 milhões de cabeças de suínos, isto em termos de DBO₅, corresponde àquela produzida por 12 milhões de pessoas, população superior à população do Estado.

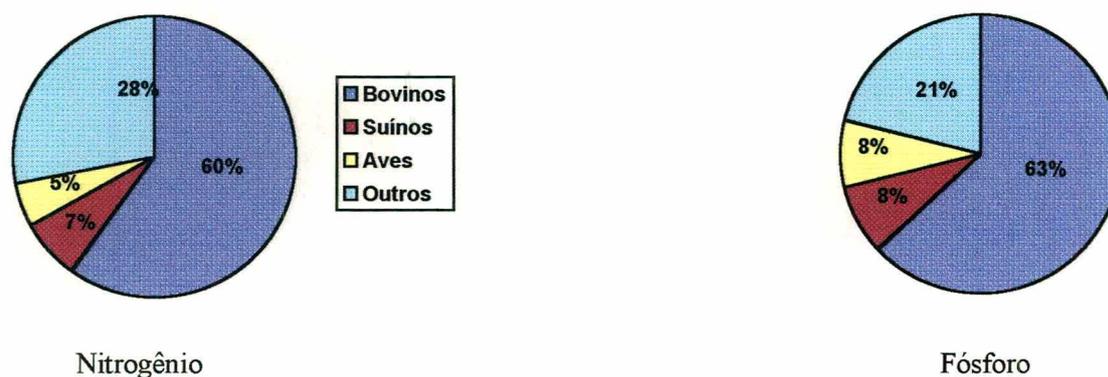


Figura 1 . Percentuais de contribuição em Nitrogênio e Fósforo da suinocultura em relação à outras atividades agropecuárias na França. Fonte: Sevrin-Reyssac et al. (1995).

Os dejetos de suínos apresentam uma composição extremamente variada, dificultando sua comparação, pois dependem das condições de produção, armazenamento, alimentação, fase de crescimento, manejo da água de bebida e diluição devido às águas de lavagens ou de

chuvas. O quadro 4 apresenta valores de composição de dejetos de suínos obtidos por três autores, em diferentes condições, mostrando a diversidade existente entre os valores para um mesmo parâmetro. O quadro 5 apresenta valores dos dejetos analisados no CNPSA durante o segundo semestre de 1995.

Quadro 4. Composição média de dejetos de suínos estudados por diversos autores.

Parâmetro	Konzen (1983)	Duarte et al. (1992)	Sevrin-Reyssac et al. (1995)
pH	6,94	7,46	----
DQO total	98.640	21.670	80.000
DBO ₅ total	52.270	7.280	40.000
NTK	6.000	2.150	8.100
N-NH ₄ ⁺	----	1.420	3.400
P total	2.500	----	7.100
Sólidos Totais	90.000	----	82.000
Sólidos Voláteis	75.050	----	----
Sól. Sus. Totais	----	----	66.000

Obs. Todos os valores em mg/l, exceto o pH.

Quadro 5. Características dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média
DQO total	11.530	34.448	25.543
Sólidos Totais	12.697	49.432	22.399
Sólidos Voláteis	8.429	39.024	16.389
Sólidos Fixos	4.268	10.408	6.010
Sól. Sedimentáveis	220	850	429
NTK	1.660	3.710	2.374
P total	320	1.180	578
K total	260	1.140	536

Obs. Valores em mg/l, exceto os sólidos sedimentáveis (ml/l).

Fonte : Silva (1996).

Os índices obtidos em Santa Catarina (Silva, 1996), são cerca de quatro vezes menores que os estabelecidos por Konzen (1983) e Sevrin-Reyssac et al. (1995), ficando mais próximos dos obtidos por Duarte et al. (1992). Pode-se concluir que os dejetos de suínos, independentemente dos fatores que levam a uma maior ou menor concentração dos mesmos, são efluentes orgânicos de boa biodegradabilidade, elevada carga de nutrientes (N e P) e próximos da neutralidade do pH.

2.4.3 – Propostas de Tratamento e Principais Práticas de Disposição

A criação de suínos em escala industrial resulta em grande produção de dejetos. Atualmente, apenas de 10 a 15% dos suinocultores brasileiros tem sistemas de tratamento ou aproveitamento dos dejetos. A falta de tratamento transformou-se na maior fonte poluidora dos mananciais de água onde existe produção (Sousa, 1995).

Os dejetos de suínos devem ser considerados como um produto fertilizador dos solos, somente as quantidades excedentes, que não foram utilizadas nessa prática, devem ser tratadas antes de serem lançadas nos cursos d'água. A figura 2 apresenta algumas das principais práticas para a disposição e/ou tratamento dos dejetos.

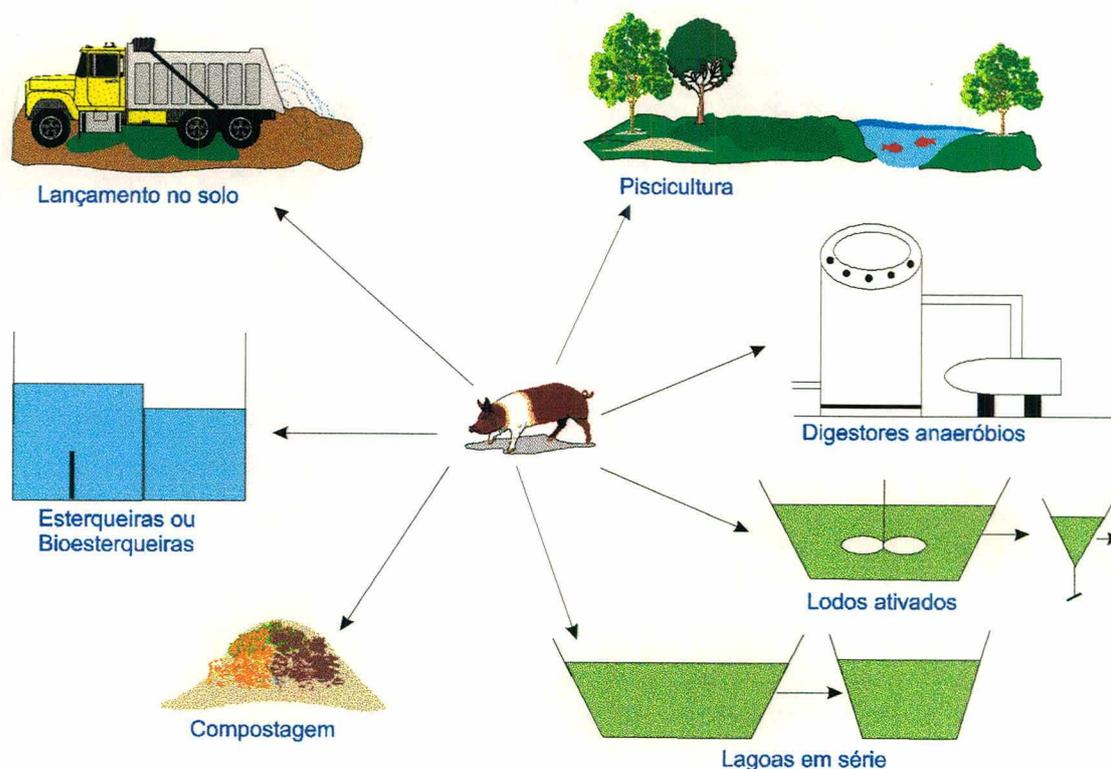


Figura 2 . Exemplos de algumas formas de disposição e/ou tratamento de dejetos de suínos
 Fonte: Costa (1997).

a) Lançamento no solo

Os dejetos de suínos são considerados como um resíduo rico em nutrientes e como tal devem ser aproveitados, isto é, o produtor pode lançá-los no solo, na menor área possível e por um custo mais baixo. Oliveira et al. (1993) recomendam aplicação máxima de 160 kg NTK/ha/ano. Muitas vezes o produtor não dispõe de área suficiente para a absorção de toda a carga de nutrientes, aplicando assim uma dosagem grande no solo, enquanto os excedentes líquidos são lançados nos cursos d'água mais próximos, sem tratamento. Porém essa prática, aceitável para o produtor, agride os interesses coletivos, pois causam problemas, como: produção de maus odores, poluição das águas superficiais e subterrâneas, poluição dos solos, modificação do valor alimentar e sanitário das culturas, desenvolvimento de moscas , etc.

Na verdade, os dejetos de suínos constituem-se em um produto de valor econômico. Se por um lado eles contêm água que será utilizada pelas plantas, muito útil em períodos de seca, por outro lado eles possuem um valor fertilizante, que varia em função da alimentação dos

animais e do tipo de produção. Seu valor comercial pode ser estimado em cerca de US\$ 5,00/m³ dejetos (Buson et al., 1977), ou US\$ 3,00/suíno de 85 kg, quando transformados, industrialmente, em um composto granular (Hilberts, 1990). Os dejetos “in natura” mostram-se como um fertilizante “desequilibrado” para assegurar nutrição adequada das plantas, seu uso impõe a necessidade de complementos, variáveis segundo o tipo de solo e de cultura.

A disposição no solo pode principalmente representar uma economia com insumos agrícolas e com processos de tratamento dos dejetos, seria então um desperdício não utilizá-los como fertilizantes. No entanto, esse lançamento no solo deve levar em consideração a natureza do solo, das culturas (milho, trigo, etc.) e do meio ambiente local: inclinação do terreno, proximidade de cursos d'água, zona urbana, etc. A poluição causada pelos odores pode ser sanada pelo lançamento em camadas mais profundas do solo, de aditivos químicos ou biológicos, ou mesmo tratamento biológicos preliminares. Também existe uma perda de Nitrogênio amoniacal por volatilização, que segundo Sevrin-Reyssac (1995) pode chegar até 50% da quantidade lançada no solo, causando poluição atmosférica.

b) Piscicultura

A disposição também pode ser feita em açudes de criação de peixes. Essa prática é muito utilizada nos países asiáticos: China, Tailândia e Vietnã; na Europa, desde a Idade Média, os açudes são considerados os melhores locais para a disposição desses dejetos, estimulando o desenvolvimento do fitoplâncton dentro da cadeia alimentar. Os dejetos podem ser introduzidos diretamente das criações, quando estão situadas ao lado do açude ou removidas para estes através de meios mecânicos. Conforme, Sevrin-Reyssac (1995), o número de animais (suínos) por hectare de açude varia entre 100 a 80 cabeças, ou seja, um animal por 100 m², podendo atingir 120 a 250/ha. Nos açudes tradicionais, não aerados, esses valores devem ser de 40 animais/ha. Existem relatos de produção de peixes superiores a 1,5 toneladas/ha/ano, com valores máximos de 7 a 10 toneladas/ha/ano. No Estado de Santa Catarina a EPAGRI recomenda 60 cabeças/ha, em fase de terminação.

c) Compostagem

A compostagem é um processo aeróbio ou anaeróbio que concentra os elementos fertilizantes no composto degradado, tornando mais fácil sua armazenagem e transporte para diversas zonas de cultivo. Existem diversos modos de se proceder a compostagem, mas a base do processo é a utilização de bactérias que transformam as substâncias orgânicas e o Nitrogênio amoniacal, contidos nos dejetos, em Nitratos e outros compostos fertilizantes de Fósforo e de Potássio, principalmente.

Os esterco de animais misturados com serragem de madeira (maravalha) ou restos de culturas, usadas como cama para os animais, devem ser tratados por compostagem para melhor aproveitamento do seu valor fertilizante, evitando-se com isto o desenvolvimento de moscas (Oliveira et al., 1993).

Segundo Goulart (1997) os sistemas de compostagem, de material retirado de camas de maravalha, são mais produtivos que a simples armazenagem desse material sob lonas, em relação a quantidade de nutrientes retidos e ao tempo de degradação. Produzindo um composto de boa qualidade, que pode ser lançado ao solo sem causar danos às sementes e ao próprio solo.

d) Bioesterqueira

Adaptada pelo serviço de Extensão Rural de Santa Catarina (ACARESC, hoje, EPAGRI) realiza o processamento dos dejetos na forma de digestão anaeróbia. Consiste na construção de câmara de alimentação e descarga contínua que permite a retenção dos dejetos por um período de 40 dias.

Quanto à forma, recomenda-se a construção circular, tendo em vista a redução de paredes e por conseqüente de material em relação às formas quadradas e retangulares, bem como uma melhor distribuição das pressões nas formas circulares (Oliveira et al., 1993). O depósito deve ser dimensionado para armazenar o material fermentado por um período de quatro a seis meses.

A definição do modelo a ser utilizado deve respeitar os seguintes critérios:

- tipo e tamanho de criação;
- condições e formas de distribuição;
- condições de aplicação na lavoura (declividade, distâncias e acessos);
- condições do local de construção do depósito.

Já a escolha do modelo e do material de construção deve orientar-se pelos seguintes princípios:

- funcionalidade;
- condições da propriedade;
- disponibilidade de recursos (Dias, 1995).

As dificuldades técnicas e financeiras de utilização dessas alternativas de tratamento, demandam a definição de uma estratégia global, associando os produtores, os pesquisadores, o poder público e os industriais no ajuste de tecnologias de aproveitamento dos resíduos da suinocultura às características regionais.

e) Sistema de camas

O sistema de camas para criação de suínos, foi desenvolvido no extremo oriente e está se difundindo por toda a Europa. No Brasil, mais especificamente em Santa Catarina, é um método novo o qual ainda encontra-se em estudo. Este sistema consiste em manter-se os animais durante o período de engorda e terminação sobre um leito de maravalha ou outro material que possua grande poder de embebição. Os dejetos em contato com a cama (leito), começam a sofrer um processo de fermentação. Este tipo de sistema, além de dar grande conforto aos animais, possibilita a completa eliminação dos dejetos líquidos que ficam retidos nestas camas.

f) Tratamento

O tratamento dos dejetos excedentes, que não foram aproveitados como fertilizantes de solos ou de açudes, é feito geralmente através de processos clássicos: tratamentos preliminares, seguidos de tratamentos biológicos secundários.

Os tratamentos preliminares tem o objetivo de reduzir o material sólido sedimentável e o material em suspensão de dimensões superiores a 1 μm . São usados geralmente processos físicos de separação de fases, como: decantadores, peneiras e centrífugas.

Os tratamentos biológicos tem a função de tratar a matéria sólida em suspensão coloidal e/ou dissolvida, transformando as moléculas orgânicas em matérias simples como gás carbônico, água e sais minerais. Os processos mais utilizados para tratar dejetos de suínos, são os “Lodos Ativados” e suas variantes: valos de oxidação, valos de fluxo carrossel, etc., as “Lagoas de Estabilização” e os “Digestores Anaeróbios”. Na região Oeste de Santa Catarina, as lagoas são preferidas aos outros processos, entretanto dimensionadas e construídas sem nenhum critério científico. A principal preocupação é a redução de sólidos e da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), não existindo nenhuma com a remoção de nutrientes dos dejetos (Costa et al., 1995).

2.5 – Lagoas de Estabilização

2.5.1 – Referências Históricas

Lagoas naturais ou artificiais que recebem despejos gerais de comunidades e que realizam os fenômenos típicos e próprios de depuração de lagoas de estabilização, existem há séculos mas esse processo de tratamento passou sem que fosse dado valor pelos especialistas da época durante longo tempo, portanto, não é possível determinar a época exata do aparecimento da primeira lagoa de estabilização; este processo de depuração das águas residuárias, originou-se da simples descarga acidental ou proposital em uma lagoa natural ou artificial (Jordão, 1995).

Nos Estados Unidos, lançou-se muitas águas residuárias em lagos, sem que se pensasse em uma melhoria do efluente, fato que foi posteriormente descoberto de maneira casual. Pelo que se tem notícias, na cidade de Santo Antônio, no Texas, na primeira década deste século, em 1901, construiu-se uma lagoa com a finalidade de servir na irrigação, que recebeu a denominação de “Lago Mitchell”.

Em 1911, a Califórnia começou a utilizar lagoas de estabilização, construindo uma no Condado de San Benedito, com a finalidade de tratar águas residuárias de estações de bombeamento de petróleo, de unidades geradoras de vapor e esgotos domésticos. Também na Califórnia, em 1924, a cidade de Santa Rosa, através de seu Conselho Representativo, com a intenção de conter despesas maiores com a construção de uma estação convencional de tratamento de águas residuárias, resolveu lançar seus esgotos sobre um leito natural de pedregulhos que funcionaria como um filtro natural, antes de ser lançado no Córrego Santa Rosa que na circunstância já era poluído. Esse esgoto lançado sobre este leito de pedregulho, em pouco tempo obstruiu seus poros, impedindo sua permeabilidade, formando assim uma lagoa de águas residuárias com aproximadamente 90 cm de profundidade, que para a cidade continuou tendo a mesma importância, pois o efluente da lagoa formado por essa obstrução, tinha qualidades semelhantes a de um filtro biológico (Auerswald, 1979).

Em 1928, em Dakota do Norte, também nos Estados Unidos, entrou em funcionamento uma lagoa construída na cidade de Fesseden em caráter de emergência. Surgindo, assim as primeiras pesquisas para obtenção de dados e com isso a primeira lagoa de estabilização projetada especificamente para receber e depurar esgoto bruto na cidade de Maddock, em 1948, construída baseada nas observações feitas nas lagoas acidentais, obtidas anteriormente (Auerswald, 1979).

A partir de 1943, técnicos começaram a dar a devida atenção, sentindo o processo natural de tratamento, como solução altamente satisfatória para o destino das águas residuárias. Novas publicações surgiram em 1950, resultado do trabalho de grandes pesquisadores e, já em 1960, definiu-se um intercâmbio de informações e experiências entre o meio técnico dos países que aceitavam o uso de lagoas de estabilização. Entre eles estão : Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Israel, África do Sul, Índia, Colômbia, Peru, Costa Rica e Brasil.

No Brasil, lagoas naturais também surgiram ao acaso, como o Dique da Fonte Nova, na Bahia, as lagoas do Parque Ibirapuera e a Represa Billings em São Paulo. As primeiras lagoas, construídas, com critérios técnicos de dimensionamento, foram implantadas em 1960 na cidade de São José dos Campos, São Paulo. Tidas como as primeiras no uso de pesquisa de parâmetros para projetos, tendo apresentado resultados satisfatórios e serviram de estímulo ao crescimento do uso de lagoas por todo o país. A eficiência, a simplicidade do processo, o reduzido custo de operação e as condições climáticas favoráveis, levaram o processo de depuração das águas residuárias por lagoas de estabilização a sua completa aceitação (Auerswald, 1979).

2.5.2 – Lagoas para Dejetos Animais

O desempenho de lagoas para dejetos de animais pode ser avaliado com base nos seguintes critérios: saúde pública, aspectos estéticos, ecológicos e econômicos em adição a eficiente remoção de poluentes (White, 1977).

Nos casos de médios (30 - 90 matrizes) e grandes (mínimo de 180 matrizes) produtores, os dejetos excedentes que não foram utilizados no solo como fertilizantes ou na alimentação animal, podem ser tratados através de lagoas areadas ou naturais. Estes processos de tratamento são extremamente simples. No caso de lagoas naturais, o custo de operação do sistema de tratamento é muito inferior ao de estações convencionais de tratamento de águas residuárias, possuindo credibilidade demonstrada através de adoção em grande escala em nível de Brasil e no mundo, principalmente onde as condições climáticas são favoráveis e as áreas de terrenos disponíveis.

A principal vantagem de se trabalhar com sistemas de lagoas, na etapa terciária, no tratamento de efluentes, está relacionada ao tratamento dos compostos de Nitrogênio e Fósforo. Até a década de 60 pensava-se que presença de nutrientes era causada pelo excesso de algas, morte de peixes e diminuição da diversidade biológica sendo que a partir desta época, o tratamento biológico terciário de efluentes, em termos de redução de nutrientes, começou a ser considerado uma prática. Ou seja, o sistema pode ser operado de tal forma que regule as quantidades desses compostos que serão introduzidas nos corpos receptores dos efluentes

tratados, evitando-se assim problemas graves como: eutrofização das águas superficiais e elevados teores de Nitrato em águas que serão fornecidas para o abastecimento doméstico.

A partir de 1991, foi instituído um decreto, na Europa, relativo à remoção de nutrientes no tratamento de águas residuárias domésticas, sendo seguido pelos países da Comunidade Européia, e mesmo por outros países fora da Comunidade (Costa, 1997).

A legislação brasileira aborda padrões quanto às concentrações de Nitrogênio e Fósforo na emissão de efluentes, porém seu controle, com raras exceções, é quase inexistente.

A remoção de nutrientes das águas residuárias é feita principalmente através dos seguintes processos (Henze, 1995):

- nitrificação: lodos ativados, sistemas com biofilmes, lagoas e lançamento no solo;
- desnitrificação: lodos ativados, sistemas com biofilmes, lagoas e lançamento no solo;
- desfosfatação biológica: lodos ativados, sistemas com biofilmes, lagoas;
- remoção de amônia por “stripping” e
- precipitação química do fósforo.

Para selecionar-se um processo correto para o controle de nutrientes, é importante conhecer-se bem as características dos despejos, as facilidades para o seu tratamento e o nível de remoção exigido pela legislação. Também devem ser consideradas as mudanças sazonais. A escolha do método de tratamento dependerá das exigências da qualidade do efluente final, flexibilidade de operação e custos (Costa, 1997).

2.5.3 – Tipos de Lagoas

As lagoas podem ser classificadas em três categorias ou tipos, de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias, com variantes segundo a intensificação do processo, como por exemplo, lagoas com plantas macrófitas, lagoas aeradas, lagoas de alta taxa de degradação, etc.

2.5.3.1 - Lagoas Anaeróbias

São lagoas que se caracterizam pela ausência de oxigênio devido a uma forte carga em DBO e sólidos em suspensão. São mais profundas (>3m) e com tempo de detenção menor que as lagoas facultativas (3 a 4 dias para despejos domésticos). Segundo Merkel (1981), o tratamento anaeróbio é um processo que segue uma seqüência : primeiro ocorre a hidrólise de materiais complexos, a matéria orgânica complexa é transformada em matéria orgânica simples solúvel via hidrólise e enzimática. Num segundo estágio, produção de ácidos, que são formados pelas bactérias anaeróbias e facultativas, convertendo compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos, e no terceiro estágio, fermentação metanogênica, onde os ácidos orgânicos simples são convertidos em metano e dióxido de carbono através de bactérias anaeróbias produtoras de metano.

Trabalhos mostram que as lagoas anaeróbias, para resíduos animais, são mais comparáveis aos digestores de lodo do que às lagoas usadas para esgotos domésticos (Hart, citado em Costa, 1997).

Mesmo sendo uma medida um tanto subjetiva, o odor desagradável é um dos principais critérios para aceitação ou rejeição de uma lagoa anaeróbia (Costa, 1997). O propósito principal das lagoas anaeróbias é a destruição e estabilização da matéria orgânica e não a purificação da água para posterior descarga em corpos receptores (Loehr, 1974). Suas condições ótimas ocorrem na ausência de oxigênio, não dependem da ação fotossintética das algas. Podendo ser descritas como processo de decomposição de matéria orgânica, por bactérias produtoras do metano. Porém, Saqqar (1988), através de experimentos, verificou que as lagoas anaeróbias com profundidades maiores produziam uma taxa de remoção de coliformes fecais mais baixa que outras lagoas mais rasas. Os fatores que influem na baixa remoção desses patógenos são: o pH que é praticamente neutro, há nutrientes em excesso e ausência de predadores de bactérias.

2.5.3.2 - Lagoas Facultativas

São lagoas menos profundas que as anaeróbias (1 a 2 m), possuem uma zona anaeróbia localizada no seu fundo, e uma zona aeróbia localizada na sua superfície, existindo ainda uma zona de transição entre essas duas.

Essas lagoas funcionam através da atividade fotossintética das algas sob a influência da luz solar e da ação das bactérias. O aparecimento de algas é devido à presença de nutrientes provenientes da mineralização da matéria orgânica pelas bactérias. As bactérias, na presença de oxigênio, convertem a matéria orgânica em compostos simples e inertes como o dióxido de carbono e água, além de sais de nitrogênio e fósforo. As algas utilizam esses compostos e através da fotossíntese ocorre a liberação do oxigênio molecular. Sendo este, por sua vez, utilizado pelas bactérias aeróbias e facultativas na sintetização de matéria orgânica. Os estudos de Medri et al. (1996), com dejetos de suínos, mostram reduções de DBO_5 da ordem de 50% em uma lagoa facultativa, funcionando em série com duas lagoas anaeróbias, sendo de 95% a redução de DBO_5 no sistema.

2.5.3.3 - Lagoas de Maturação ou aeróbias

São lagoas usadas no tratamento de descargas orgânica leves oriundas de efluentes de outras lagoas. Tem como objetivo principal a destruição de organismos patogênicos e os nutrientes. Possibilitam um polimento no efluente de qualquer dos sistemas de lagoas de estabilização ou, em termos mais simples, de qualquer sistema de tratamento de esgotos (Von Sperling, 1996). Caracterizam-se por uma pequena profundidade (0,8 a 1,5m) e forte concentração de algas. Segundo Pearson et al (1995) reduzindo a profundidade da lagoa reduz-se também o tempo de detenção, porém isto não afeta a qualidade do efluente. Ao contrário, isto mostra que as lagoas mais rasas são mais eficientes quanto à desinfecção natural do que as lagoas de maturação mais profundas.

2.6 - O Aguapé e a Despoluição das Águas

O aguapé (*Eichornia Crassipes*) macrófita da família das Pontederiaceas, mais conhecida como “Jacinto d’água”, no Brasil recebe ainda o nome de baronesa, camalote e outros. É uma planta aquática originária da região tropical da América Central, sendo hoje encontrada por mais de 50 países do mundo (Wolverton & McDonald, 1979). É uma planta suculenta constituída em cerca de 95% de água, consistindo de raízes, rizomas, estolões, pecíolos, folhas e inflorescências. Varia em altura desde alguns centímetros até cerca de um metro, suspensas na água ou fixas no fundo em águas rasas. Todas as partes da planta, com exceção da semente, tem peso específico inferior a 1, por isso são flutuantes.

A reprodução ocorre primeiro por processos vegetativos, plantas novas são produzidas por estolões e o crescimento lateral se faz a partir do rizoma. O tempo médio para duplicação da planta é cerca de duas semanas (Perazza et al., 1985).

Em 1975 a problemática do aguapé foi abordada pelos cientistas da National Aeronautical Space and Administration -NASA-, que demonstraram as inúmeras qualidades deste cultivar. Desde então tem sido realizadas pesquisas em diferentes países analisando o potencial energético e despoluidor do vegetal (Motta e Costa, 1984).

Nos últimos anos muitos pesquisadores têm dirigido seus trabalhos para a utilização do aguapé, considerando-o um poderoso agente biológico no tratamento de águas residuárias e conversão para alimentos. O aguapé é particularmente bem adaptado para este fim, porque ele é extremamente produtivo e devido ao seu extenso sistema de raízes direciona alimento para o corpo d’água (Wolverton, & McDonald, 1978).

A ação despoluidora do aguapé é realizada através de 4 mecanismos que são:

Ação filtrante: com suas raízes exuberantes como cabeleiras, esta planta retém o material particulado em suspensão como argila e partículas orgânicas.

Absorção: através de suas raízes o aguapé absorve de corpos d’água poluídos, metais pesados (Ag, Pb, Hg, Cd e outros), compostos organoclorados, organofosforados e fenóis.

Oxigenação: através de sua parte aérea, o aguapé transfere oxigênio do ar para o corpo hídrico, oxigenando a massa de água.

Ação Bioquímica: as raízes das plantas flutuando nas águas poluídas com nutrientes, desenvolvem um ecossistema complexo e dinâmico onde além da absorção de Nitrogênio e Fósforo pela planta se processa também uma intensa atividade bacteriana. Estas bactérias promovem a oxidação biológica dos compostos orgânicos degradáveis abaixando a DBO e DQO, índices indicadores de poluição orgânica (Roquete Pinto et al., 1992).

Rogers e Davis (1972), estimaram que 1 ha de aguapé, sobre condições ótimas, poderiam absorver diariamente uma contribuição de Fósforo e Nitrogênio de aproximadamente 800 pessoas.

Cornwell et al. (1977) realizaram uma pesquisa objetivando a determinação das taxas de crescimento do aguapé em efluente secundário para determinar a capacidade de remoção de nutrientes anualmente e para determinar as características de remoção de nutrientes em função do tempo de detenção. Concluíram que a capacidade de remoção de nutrientes por aguapés está diretamente relacionada com a área da superfície da lagoa. Tendo em vista que o nitrogênio geralmente é nutriente limitante nas águas residuárias de dejetos de animais, e visto que sistemas capazes de remover nitrogênio não têm sido apresentados de fácil controle, a remoção de nitrogênio por lagoas de aguapés pode ser um método econômico e eficiente contra a eutrofização em áreas onde a terra é barata e prontamente disponível.

Em geral, os aguapés são eficientes na remoção de metais pesados, nutrientes, algas, sólidos em suspensão, organismos coliformes cor, turbidez e DBO (Wolverton & McDonald, 1979; Mosse et al. 1980; Perazza et al. 1981; Salari e Rodrigues, 1982; Roquette Pinto et al. 1992).

A cultura do aguapé corretamente planejada e operada pode reduzir significativamente níveis de coliformes fecais e produzir um efluente com baixos sólidos suspensos e DBO. No Brasil, o aguapé vem sendo estudado pelo Instituto Nacional de Tecnologia, no Rio de Janeiro, onde existe o Núcleo de Tecnologia do Aguapé. Essa planta possui características especiais que possibilitam seu aproveitamento industrial nas seguintes áreas:

- tratamento de efluentes sanitários;

- tratamento de efluentes industriais;
- energia;
- recuperação de microcomponentes valiosos de rejeitos industriais;
- indústrias de rações, fertilizantes, papel e fibras;
- impacto ambiental;
- geoquímica ambiental e
- prospecção geoquímica .

Indústrias metalúrgicas, galvanoplásticas, plásticas e fotográficas, entre outras, freqüentemente perdem em seus efluentes consideráveis quantidades de metais pesados, tais como: Pb, Cd, Ag, Hg, Cr, Zn, e Cu, os quais além de serem altamente tóxicos para o meio ambiente, são elementos muito valiosos. Os métodos convencionais atuais usados para polir efluentes industriais, que contenham diversos metais pesados, incluem diferentes técnicas tais como: precipitação química, eletrodeposição, extração por solventes, ultrafiltração, troca de íons, resinas e outros métodos que são caros e freqüentemente ineficientes para alcançar concentrações mínimas desejáveis de metais (Roquette Pinto, 1987).

Em lagoas de estabilização com aguapés tratando efluentes químicos complexos de laboratórios de análise gerais, fotografias e pesticidas foram observadas reduções nos teores de Nitrogênio total na ordem de 86% e de Fósforo total de 75% (Wolverton and McDonald, 1979). Roquette Pinto et al. (1987 e 1992) mostram que uma das vantagens dessa planta é que, ao mesmo tempo em que ela trata os despejos, ela concentra em seus tecidos os materiais absorvidos, que poderão ser recuperados como é o caso de metais valiosos como a prata e o ouro.

O tratamento de efluentes industriais contendo metais pesados usando o aguapé (*Eichornia Crassipes*) é simples e econômico. Metais poluentes concentrados podem ser utilizados na produção de gás metano. Os elementos concentrados podem ser recuperados do lodo residual e reciclados no processo, diminuindo o custo operacional da indústria (Wolverton & McDonald, 1979). O percentual de gás metano no biogás produzido pela decomposição do aguapé contaminado com metal pesado é de 91,1%, enquanto as plantas não contaminadas

produzem biogás com 62,2% de gás metano. Um quilo (1Kg) de matéria seca produz 140 - 280 litros de gás metano em 23 dias (Wolverton & McDonald, 1979).

Segundo Obeid (citado em Perazza et al, 1985) há possíveis usos do aguapé, a partir do aproveitamento de plantas removidas por processos físicos tais como: adubo (simples ou em mistura com produtos químicos ou estrumes), forragem, matéria prima para indústria (por exemplo: de papel e plástico), fontes de proteínas e como fonte de gás e álcool combustíveis. Ainda de uma citação de Perazza et al., (1985), Biraghi diz que a utilização do aguapé como adubo beneficia os solos, principalmente os arenosos, elevando os teores de cálcio, nitrogênio, carbono e magnésio.

O valor nutritivo do aguapé tem sido estudado por diversos pesquisadores. O quadro 6 mostra resultados da composição de aguapés cultivados em dejetos de suínos e em meio nutritivo (Basseres citado em Costa,1997).

Quadro 6. Composição química de aguapés cultivados em meio nutritivo e em dejetos de suínos.

%	Meio Nutritivo	Dejetos de Suínos
Peso Seco	5 – 8,5	8 – 14
Proteínas	10 – 35	14 – 36
Gorduras	1,5 – 6,0	1,5 – 6,00
Fibras	17 – 19	9,5 – 12,3
Cinzas	14 – 24	12 – 25
Cálcio	1,31	1,55
Fósforo	1,035	1,08
Magnésio	0,64	0,55
Sódio	0,44	0,62
Potássio	1,57	2,55

Fonte: Basseres citado em Costa (1997).

O Sódio e o Magnésio são encontrados nos estômatos e nas raízes dos aguapés; o Cálcio, o Potássio, o Nitrogênio e o Fósforo nas folhas. Análises de composição de amino ácidos de aguapés, demonstram um potencial protéico de 31,3% podendo ser utilizado como complemento nutricional de suínos e bovinos (Wolverton & McDonald, 1979). Entretanto, o aguapé é rico em celulose, dificultando sua digestibilidade. O grande problema de lagoa de aguapé está na dificuldade de remoção e de destino final adequado das plantas, que tem umidade em torno de 95% e apresentam produtividade elevada de modo a dobrar o número de plantas em períodos de 6 a 15 dias. Para que os aguapés possam ser usados na alimentação animal, como suplemento energético, de forma economicamente viável, deve-se evitar processos mecânicos de desidratação das plantas; em lugares quentes e secos a simples exposição ao sol é suficiente para uma perda de umidade (Costa, 1997).

Jordão (1983) ressalta que independente do tipo de sistema de lagoa com aguapé deve-se estar preparado para a remoção das plantas, mantendo uma colheita periódica destas, com intervalos permitindo não só o crescimento horizontal mas também o vertical, chega-se a obter uma produção de 720 kg/ha.d ou cerca de 250 t/ha.ano, de matéria seca, ou 15 t/ha.d de peso total. O meio formado pela cobertura das plantas atua em benefício dos processos de redução e oxidação com os seguintes elementos favoráveis:

- a cobertura das plantas diminui o crescimento de algas;
- diminui também a variação de temperatura no meio líquido;
- a ação de mistura pelo vento é diminuída;
- a matéria em suspensão tem condições mais favoráveis à sedimentação, e a barreira formada pelas raízes das plantas coopera ainda mais para diminuir seu movimento horizontal;
- uma comunidade de organismos se apega às raízes, onde encontram o oxigênio que é absorvido da atmosfera e transportado desde as folhas e o talo;
- organismos maiores se alimentam desses microorganismos e da matéria orgânica, de modo que a maior parte da biota permanece próxima à superfície e nas raízes, assim, a parcela superior da lagoa permanece aeróbia, enquanto o fundo é anaeróbio e favorável ao desenvolvimento dos organismos bentônicos;

- além disso, os aguapés tem a propriedade de absorver pela raiz não só nutrientes, compostos de Nitrogênio e Fósforo, mas também outros compostos sem valor nutritivo, incluindo compostos orgânicos sintéticos, fenóis, metais pesados e poluentes químicos.

A cobertura vegetal da superfície aquática torna o meio líquido mais ou menos anaeróbio devido às plantas, por outro lado estabiliza a massa d'água, resultando uma decantação ótima da matéria em suspensão (Basseres, 1990). Devido as suas raízes em forma de "longos cabelos", é possível a remoção de sólidos em suspensão, metais pesados e micropoluentes. Nessa zona, oxigenada pelas plantas, se desenvolve uma micro-flora simbiótica, ativa na degradação da matéria orgânica e nitrificação do Nitrogênio amoniacal presente no meio. Para o pH, a temperatura e o Oxigênio dissolvido, é observado um efeito tampão. A desnitrificação pode ocorrer nas zonas anaeróbias dos sedimentos. Geralmente, as plantas macrófitas retiram do meio aquático todos os elementos necessários ao seu crescimento, com exceção do Carbono, que é retirado do CO₂ da atmosfera (Charbonnel, 1989).

Basseres (1990), através de seus estudos com lagoas piloto de aguapés (50 litros) e concentração inicial de Nitrogênio amoniacal de 100 mg/l, para dejetos de suínos após tratamento anaeróbio, verificou uma redução de 50% de Nitrogênio total até o 10º dia devido a nitrificação-desnitrificação (40%), assimilação pelas plantas (6,6%) e sedimentação (3,9%); estes valores caem para 36% ao final do 15º dia, sendo por assimilação vegetal de 7% e por sedimentação de 29%. A eliminação do Fósforo foi de quase 100% por meio de sedimentação (8,25%), assimilação vegetal (17,09%) e 77,5% não definido. Esses resultados apresentam remoções de Nitrogênio total de 86 a 234 mg/m²/dia e de Fósforo de 13 a 32 mg/m²/dia, bem abaixo daqueles obtidos por alguns autores citados no trabalho, como por exemplo Hauser (305 a 734 mg Nt/m²/dia e 72 a 157 mg Pt/m²/dia) e Reddy & Sutton (327 a 473 mg Nt/m²/dia e 88 a 106 mg Pt/m²/dia). Basseres atribui esse fato à baixa produtividade obtida pelas plantas: 11,6 g PS/m²/dia, onde PS é o peso seco das plantas, cerca de 2 a 3 vezes menor que o esperado, talvez devido às variações de temperatura.

Alguns trabalhos fazem referência a diminuição da carga bacteriana nas lagoas de aguapés. Mossé & Chagas (1984) obtiveram redução de apenas 1 unidade log para coliformes totais e fecais para uma lagoa de maturação com um tempo de retenção hidráulica de 7 dias, tratando

esgotos domésticos. Para um mesmo tempo de retenção Mandi et al. (1992) observaram reduções de germes de origem fecal da ordem de 2 unidades log, e uma redução de 100% nos ovos de helmintos parasitas em águas residuárias domésticas.

O uso de aguapés é feito em lagoas de maturação, após tratamento do efluente em lagoas facultativas, mas podem ser usados em lagoas facultativas primárias. Jordão (1983) apresenta critérios de dimensionamento de lagoas de maturação de aguapés, que permitem maior carregamento das lagoas, aumentando a eficiência e a produtividade do sistema:

- unidades longas e estreitas (comprimento/largura ~ 5);
- profundidade entre 0,6 e 1,0 m;
- lagoas em série ou com chicanas transversais;
- tempo de detenção superior a 5 dias;
- cargas de 1800 a 4500 m³/ha.dia e 100 kg DBO₅/ha.dia.

Kawai & Grieco (1983) recomendam também:

- carga máxima de Nitrogênio e Fósforo de 18 e 4 kg/ha.dia, respectivamente;
- máximo de 70% de área ocupada por aguapés.

Para se obter um crescimento máximo das plantas as temperaturas ótimas estão entre 27 e 30 °C. Quando a temperatura cai bruscamente há uma diminuição na sua produção. Segundo Reddy (1983), sua produção se anula para temperaturas inferiores a 10 °C. As plantas podem vir a morrer se a temperatura ficar abaixo de zero durante algumas noites consecutivas. O valor limite máximo é de 40 °C. Sendo assim, a temperatura apresenta-se como o fator mais limitante para o desenvolvimento das plantas em climas temperados, ficando explicado seu crescimento excessivo em climas tropicais.

No entanto, Záková et al. (1994), mostram que o uso do aguapé é viável para tratar efluentes com elevadas concentrações de nutrientes mesmo em países de clima frio da Europa Central, estando as lagoas sob condições especiais de cobertura. Ghetti et al. (1982) apresentam reduções de 88% de Nitrogênio total e Fósforo total de dejetos de suínos, para lagoas recebendo carga de 34 kg/ha/dia de Nitrogênio total e tempo de detenção de 25 dias, nas regiões continentais da Europa.

Segundo Basseres (1990), a grande densidade das plantas sobre o espelho d'água induz um aumento de evapotranspiração em cerca de 1,55 a 3,20, em relação à evaporação medida para uma superfície d'água livre.

A dificuldade de remoção e de destino final adequado das plantas, é o grande problema da lagoa de aguapés, a planta apresenta um teor de umidade em torno de 95% e produtividade elevada. A recuperação das plantas é importante por dois motivos: retirar os elementos removidos no tratamento e manter as plantas em fase de crescimento exponencial, otimizando o tratamento. Diferentes sistemas de coleta das plantas são sugeridos por Bonnal (1986), como pranchas flutuantes para as grandes superfícies e pás mecânicas ou grades, adaptadas às formas das lagoas. Perazza et al. (1981) apresentam diferentes métodos de controle dos aguapés através de meios mecânicos, biológicos e químicos. Kawai e Grieco (1983) apresentam várias alternativas para o processamento e a destinação final dos aguapés além da alimentação animal, tais como: compostagem para obtenção de composto orgânico para a agricultura; digestão para a produção de metano; prensagem para posterior disposição no solo; produção de papel; produção de carvão e produção de etanol. Roquette Pinto. (1995) enfatizam que a planta seca ao sol pode ser usada também como combustível, sendo seu poder calorífico de 3000 kcal/kg, o que não é desprezível.

2.7 - Custo de um Sistema de Lagoas de Estabilização

O uso de lagoas de estabilização é uma técnica antiga entre os sistemas de tratamento de águas residuárias. Porém de acordo com Meisheng e Xu, Meisheng et al, Kezhao e Li (citados em Medri, 1997), pesquisas recentes mostram que elas tem diversas vantagens, tais como: baixo custo de capital, baixos custos de operação e manutenção, além de operacionalização muito simples se comparada com outros sistemas; contudo, a ocupação de grandes áreas de terra torna-se uma importante desvantagem. Muitas informações sobre lagoas existentes nos apontam uma série de defeitos em seu funcionamento. Segundo Hess (também citado em Medri, 1997), projetos de lagoas consistem não apenas em determinar sua área superficial e profundidade, mas, principalmente, em resolver detalhes de construção e especificações que assegurem um funcionamento adequado do sistema ao longo de sua vida.

A seguir apresenta-se a metodologia desenvolvida por Medri (1997) para a avaliação de custos de implantação de sistemas de lagoas de tratamento de dejetos de suínos, criando assim, condições para o estudo da sua viabilidade.

Segundo esse autor, existem diversas maneiras para otimizar os sistemas de lagoas de estabilização sob diferentes condições. Contudo, a otimização destes sistemas significa minimizar o custo total (custo de área de terra ocupada, custos de construção e operação e custos auxiliares) e obter uma adequada eficiência em termos de matéria orgânica (DBO₅ ou DQO). No custo total de lagoas de estabilização deve estar incluído custo de capital (que pode ser dividido em custos de aquisição da terra e de construção do sistema), custos de operação e manutenção, os quais são inerentes com a distribuição da carga orgânica de cada lagoa. Devendo ser contabilizado no custo total, qualquer outro custo, chamado custo auxiliar.

Dessa forma, deve-se construir uma função objetivo de minimização de custos, dada pelo custo total, cuja restrição do sistema é a qualidade do efluente final em termos de matéria orgânica, ou seja, é a eficiência de remoção de DBO₅ ou DQO de cada lagoa do referido sistema.

Para analisar-se a capacidade de expansão do sistema de lagoas de estabilização para tratamento de águas residuárias, buscou-se obter uma estrutura de custos, com o seguinte resultado final:

$$C_T = C_t + C_c + C_o$$

onde, o custo total (C_T) de um sistema de lagoas é caracterizado pelos modelos de custo de área de terra ocupada (C_t), custo de construção (C_c) e custo de operação (C_o).

O modelo de custo de construção pode ser subdividido em custos de movimento de terra (limpeza do terreno, escavação mecânica, construção de taludes transporte e descarga de terra excedente e compactação ou revestimento das lagoas) e de colocação de chicanas, se for necessário. Já o modelo de custo operacional pode ser subdividido em custos de manutenção (despesas do servidor incluídos: salário, décimo terceiro, encargos sociais, etc.) e de monitoramento (despesas de coletas e análises de parâmetros), no entanto não se considera esse último uma vez que a Legislação Ambiental não regulamenta a frequência das análises.

CAPÍTULO 3

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram desenvolvidos em duas etapas: inicialmente foram estudadas lagoas de aguapés em batelada (escala piloto) e em seguida lagoas em escala real funcionando em contínuo. As características de cada sistema, bem como os parâmetros de controle são apresentados a seguir.

3.1 - Lagoas Piloto

O sistema experimental foi instalado no Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, considerando a necessidade de se proceder a um balanço, das cargas orgânicas e nitrogenadas. Para isso foram utilizados cinco tanques com capacidade de 250 litros cada, funcionando em batelada (Figura 3).



Figura 3. Lagoas piloto de aguapés

Cada tanque continha diferentes concentrações de Nitrogênio, que foram obtidas através da diluição dos dejetos. As mesmas foram de aproximadamente 50, 100, 200 e 300 mg/l, sendo que um dos tanques continha água limpa proveniente do sistema de abastecimento da cidade, servindo como testemunha. Os tanques foram denominados T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅, correspondendo a: água limpa, 50, 100, 200 e 300 mg/l de Nitrogênio, respectivamente.

Os ensaios tiveram duração de 30 dias, após a introdução dos dejetos. Foram realizados dois ensaios, o primeiro ensaio foi realizado no inverno durante os meses de julho e agosto, no período de condições menos favoráveis ao crescimento das plantas, quanto a luminosidade e a temperatura. O segundo ensaio foi realizado no meses de outubro, novembro e dezembro, quando a luminosidade e temperatura são maiores.

No primeiro ensaio (E₁) foi colocado em cada tanque cerca de 500g de aguapés, enquanto que no segundo (E₂) colocou-se 1000g de aguapés por tanque, perfazendo uma biomassa inicial de 964,5 g/m² e 1.929 g/m², respectivamente. Esses valores seguiram metodologia recomendada por Basseres (1990).

O sistema foi avaliado através de análises do líquido, da biodeposição dos sólidos no fundo dos tanques e do crescimento das plantas. O líquido foi coletado a 15 cm da superfície, para a biodeposição colocou-se seis recipientes de coleta com capacidade de 500 ml cada, em pontos diversos do fundo, os mesmos eram retirados aos pares nos dias de coletas. O líquido sobrenadante era desprezado, as análises foram realizadas para os sólidos depositados.

Para o líquido foram efetuadas as seguintes medidas:

- **leituras diárias:** pH, Oxigênio Dissolvido (OD), temperatura do ar e do líquido;
- **leituras semanais:** Nitrogênio total (NT), Fósforo total (PT), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Sólidos, Bacteriologia (Coliformes fecais e totais) e metais (Fe, Cu, Mn, Zn)

Para a biodeposição foram efetuadas leituras aos 10, 20 e 30 dias de: Nitrogênio total, Fósforo total, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos.

O crescimento das plantas (produtividade da massa vegetal) foi observado através de medidas do seu peso seco no início e no final de cada ensaio.

Todos os parâmetros foram determinados conforme "Standard Methods" (APHA-AWWA-WEF, 1992).

3.2 – Lagoa em Escala Real

A lagoa de aguapés em escala real faz parte do sistema de tratamento da estação experimental do CNPSA/EMBRAPA, sendo que a mesma foi projetada em função dos resultados obtidos com as lagoas em escala piloto, e funcionamento em batelada. O sistema consiste em um equalizador, seguido por decantador de palhetas ou de fluxo ascendente, duas lagoas anaeróbias (LA_1 e LA_2), uma lagoa facultativa (LF) e a lagoa de aguapés (LAG). As lagoas são retangulares, sendo suas áreas superficiais no topo maiores que no fundo, o esquema abaixo mostra a disposição das mesmas.

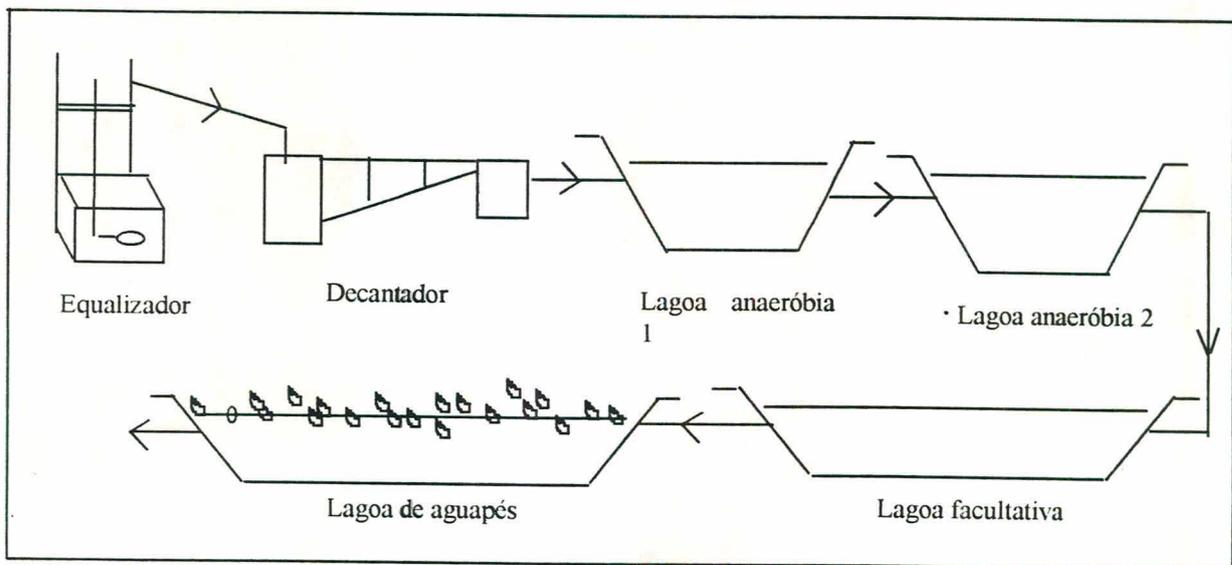


Figura 4. Esquema do sistema de tratamento de dejetos de suínos do CNPSA

Fonte: Medri et al. (1996).

O quadro 7 apresenta as características físicas e operacionais das lagoas

Quadro 7. Características das lagoas da estação experimental do CNPSA.

	LA1	LA2	LF	LAG
Área/Superfície (m ²)	83,62	83,62	105,60	100,00
Área/Fundo (m ²)	44,50	44,50	67,60	46,00
Profundidade (m)	1,70	2,20	0,85	0,80
Volume (m ³)	106,40	137,70	73,00	58,00
Vazão (m ³ /dia)	3,00	3,00	3,00	3,00
Tempo de detenção (dia)	35,00	46,00	24,00	19,30

O sistema de tratamento foi alimentado diariamente, pela manhã e/ou tarde. Os dejetos eram misturados no equalizador, através do acionamento de uma bomba, e daí conduzidos ao sistema de tratamento por gravidade, chegando ao decantador com uma DBO₅ de aproximadamente 10.000 mg/l, seguindo depois para as lagoas ligadas em série. A figura 5 apresenta uma vista da lagoa de aguapés.



Figura 5. Vista da lagoa de aguapés do sistema experimental do CNPSA.

O sistema começou a operar em novembro de 1995. A lagoa de aguapés porém, começou a funcionar em setembro de 1996; seu monitoramento realizou-se durante os meses de outubro/96 a fevereiro/97 (1ª etapa), iniciado quando da entrada da lagoa em regime permanente, isto é, 20 dias após sua partida, e no período de maio a agosto de 1997 (2ª etapa).

O monitoramento foi feito através de coletas semanais, exceto para a DQO que foi medida duas vezes por semana, ao longo da lagoa, em três pontos distintos localizados a 6,2; 12,5 e 18,7 metros a partir da entrada do afluente. Foram medidos os seguintes parâmetros: pH, Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (ST,SF,SV), DQO Total, DBO₅ Total, Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT), Coliformes Fecais (CF) e Temperatura, seguindo os procedimentos padrões do "Standard Methods" (APHA-AWWA-WEF, 1992).

Foram introduzidas cerca de 1500 plantas novas, com 75 a 80 g cada, perfazendo uma biomassa total de 115 a 120 Kg de aguapés na lagoa. As plantas foram distribuídas ao longo da lagoa em três setores separados por fios, em cada setor foram colocadas 500 plantas. As limpezas, previstas a cada 30 dias, foram realizadas, na 1ª etapa (primavera/verão), a cada 3 meses: a primeira em novembro /96 e a segunda em fevereiro/97. Nessas ocasiões, encontravam-se cerca de 35 plantas por m², pesando aproximadamente 430 g cada, com uma biomassa total estimada em 1500 kg.

Na 2ª etapa (outono/inverno) as limpezas ocorreram a cada 30 dias, existindo cerca de 83 plantas por m², pesando em torno de 115 g cada, com uma biomassa total estimada em 950 kg

Paralelo aos estudos com as lagoas, foi realizado no CNPSA um estudo da digestibilidade de "feno de aguapés" (Bertol, 1997). A metodologia usada consiste em ensaios de metabolismo com suínos, utilizando gaiolas, com coletas totais de fezes e urina, com 10 repetições para cada dieta. O óxido férrico foi utilizado como marcador fecal, na proporção de 1% da dieta. Os animais foram submetidos a 8 dias de adaptação às gaiolas e dietas, e 4 dias de coletas das fezes e urina. A alimentação era fornecida de forma controlada, de acordo com o consumo observado durante o período de adaptação. A dieta fornecida era a base de milho e farelo de soja, sendo 85% desta e 15% do "feno de aguapés".

CAPÍTULO 4

4 – RESULTADOS

4.1 – Ensaios em batelada – Lagoas Piloto

São apresentados os resultados dos ensaios com lagoas piloto realizados em duas épocas climáticas diferentes: E₁ (inverno) e E₂ (verão). Os quadros 8 e 9 apresentam os valores médios obtidos para as leituras diárias de Oxigênio Dissolvido (OD) a 10 cm da superfície do líquido, temperatura e os valores máximos e mínimos lidos para o pH, nos dois ensaios, respectivamente.

Quadro 8. Valores de temperatura, OD e pH –ensaio E₁ (inverno)

Parâmetro	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Temp.(°C)	18,2 ± 3,90	17,9 ± 3,90	17,7 ± 3,60	18,2 ± 3,70
OD (mg/l)	4,15 ± 2,42	2,25 ± 1,57	1,86 ± 1,71	1,39 ± 1,71
pH máx.	8,29	8,44	8,44	8,43
pH min.	6,90	7,57	7,48	7,40

Quadro 9. Valores de temperatura, OD e pH – ensaio E₂ (verão)

Parâmetro	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Temp. (°C)	29,5 ± 2,37	28,4 ± 2,90	27,8 ± 3,55	28,3 ± 2,70
OD (mg/l)	5,83 ± 1,34	3,85 ± 1,41	2,02 ± 1,60	2,03 ± 1,85
pH máx.	8,30	7,93	8,00	8,06
pH min.	6,72	7,02	7,38	7,66

T₂, T₃, T₄ e T₅ correspondem às lagoas com Ci = 50, 100, 200 e 300 mgNT/l, respectivamente.

As temperaturas médias do meio líquido estiveram compreendidas entre 17 e 19 °C no inverno e em torno de 30 °C no verão, mostrando uma diferença superior a 12 °C, entre as estações.

Os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) diminuíram com o aumento da carga de dejetos, introduzida nas lagoas, sendo inferior a 2 mg/l para as lagoas mais concentradas (T₄ e T₅) no ensaio E1, e em média de 2 mg/l para as mesmas lagoas no ensaio E2, demonstrando assim, uma correlação também com a variação sazonal. No verão, a presença de algas foi mais acentuada nas lagoas, oxigenando o meio.

Os resultados obtidos para o pH apresentam pequena variação sazonal e não demonstram correlação com a concentração de dejetos nas lagoas.

As figuras 6, 7 e 8 mostram a eficiência de remoção de Nitrogênio Total (NT), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Fósforo total (PT) em função das concentrações iniciais (Ci) introduzidas nas lagoas.

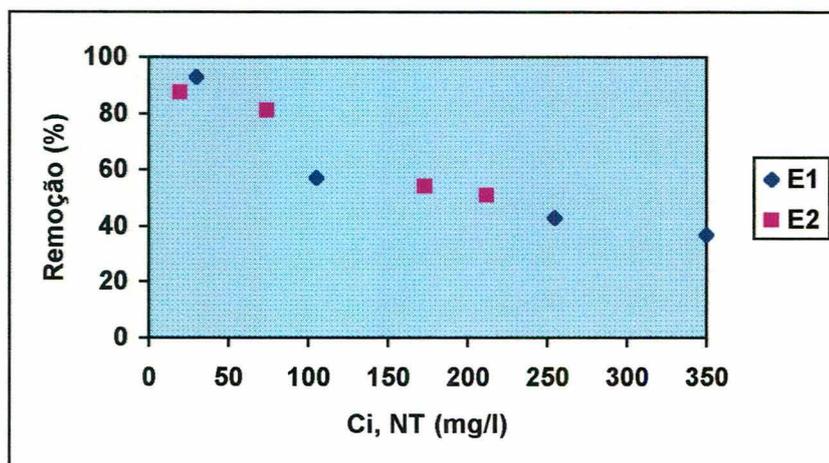


Figura 6. Eficiência de remoção de Nitrogênio Total.

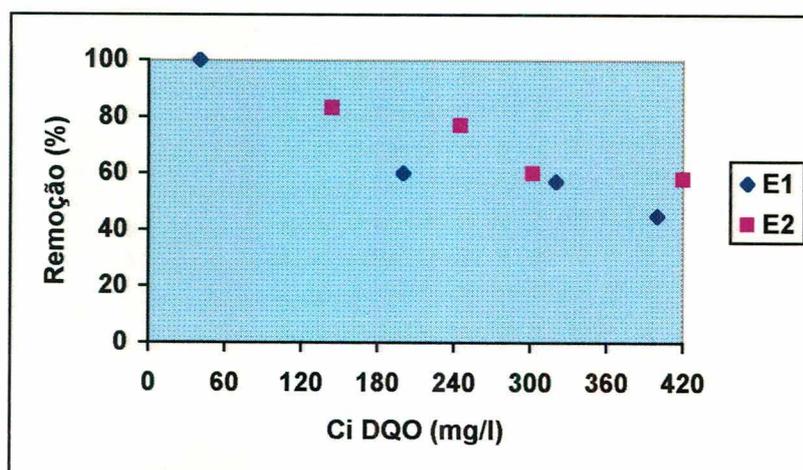


Figura 7. Eficiência de Remoção de DQO.

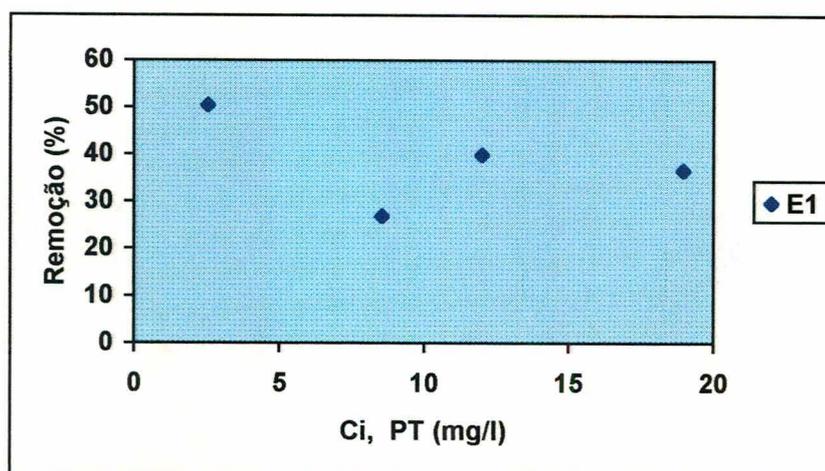


Figura 8. Eficiência de Remoção de Fósforo Total.

A eficiência na remoção diminui com o aumento da concentração de NT e DQO, sendo que os melhores resultados são obtidos para os tanques que receberam concentrações menores de dejetos. A remoção de NT foi pouco variável em relação aos dois ensaios (E_1 e E_2). Para a DQO, a eficiência de remoção foi maior no ensaio E_2 , realizado no verão quando houve um aumento de temperatura de cerca de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação ao ensaio E_1 . Quanto ao PT dispõe-se apenas dos resultados obtidos no 1º ensaio (inverno), uma vez que no 2º ensaio os resultados variaram para mais ou para menos ao longo das semanas, sem uma lógica de remoção dos compostos de fósforo. Estas variações podem ser atribuídas a dissolução do fósforo orgânico no meio, erros na amostragem e/ou morte das plantas ao longo dos ensaios devido a insolação.

Para a condição mais crítica (E_1) e as concentrações iniciais testadas sua remoção apresenta-se em média de $40 \pm 10\%$.

As taxas de remoção diária de NT, DQO e PT realizadas pelo aguapé, em função da massa inicial desses parâmetros, colocada em cada lagoa, são apresentadas nas figuras 9, 10 e 11, respectivamente.

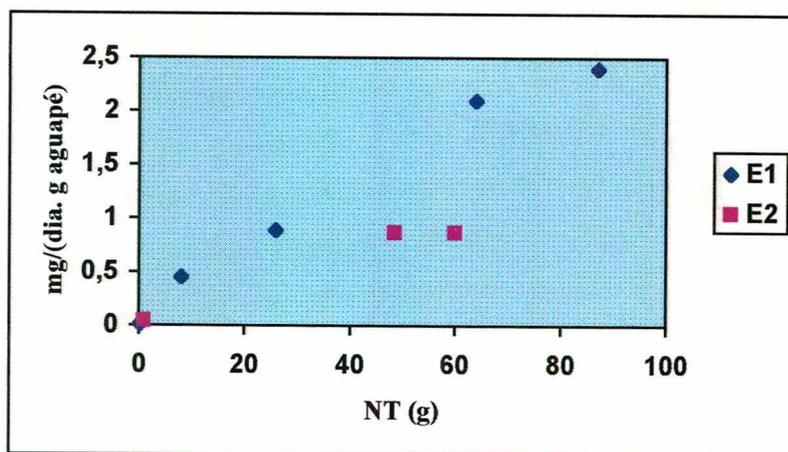


Figura 9. Taxa diária de remoção de Nitrogênio Total.

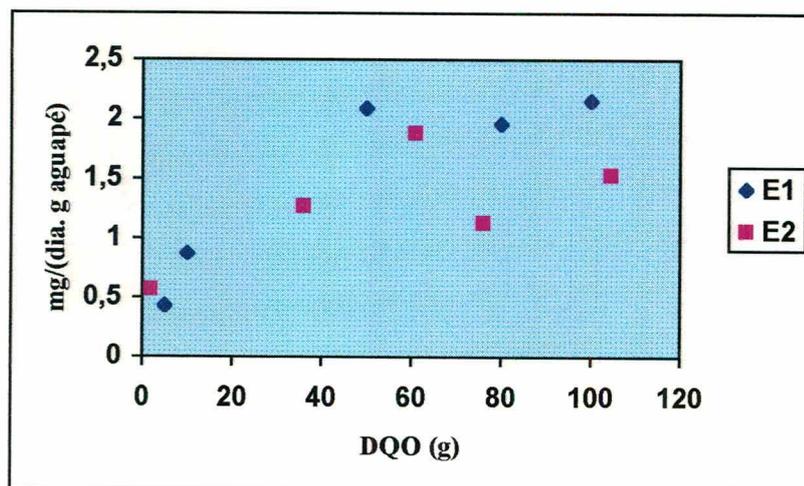


Figura 10. Taxa diária de remoção de DQO.

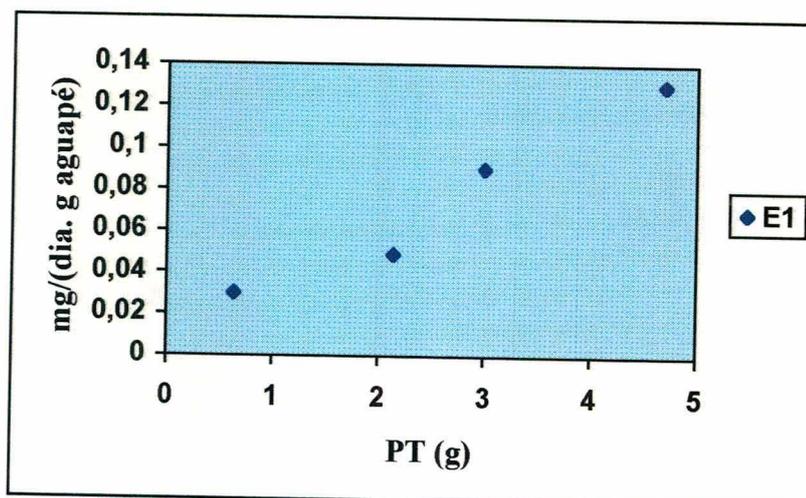


Figura 11. Taxa diária de remoção de Fósforo Total.

Nestas figuras observa-se, que os aguapés removem NT, DQO e PT em taxas que aumentam com a quantidade inicial desses parâmetros. Para o NT e a DQO os resultados mostram uma estabilização dessas taxas entre 2,0 e 2,5 mg/(dia. g aguapé) no E₁ (inverno) e entre 1,0 e 2,0 mg/(dia. g aguapé) no E₂ (verão), para as maiores concentrações estudadas. Essas taxas diárias de remoção apresentam-se maiores no inverno que no verão, possivelmente devido às condições de temperaturas mais baixas, que reduzem as velocidades das reações químicas e inibem o metabolismo bacteriano do meio líquido, fazendo com que os aguapés sejam os principais removedores da poluição nas condições de inverno, “trabalhando” mais que no verão. As taxas diárias de remoção do PT, obtidas apenas para as condições de inverno, variaram entre 0,05 e 0,15 mg/(dia. g aguapé).

As figuras 12 a e b, 13 a e b, 14 a e b e 15 a e b mostram a evolução das concentrações de metais (Fe, Cu, Mn e Zn) nas lagoas ao longo do tempo, para E₁ (inverno) e E₂ (verão), respectivamente.

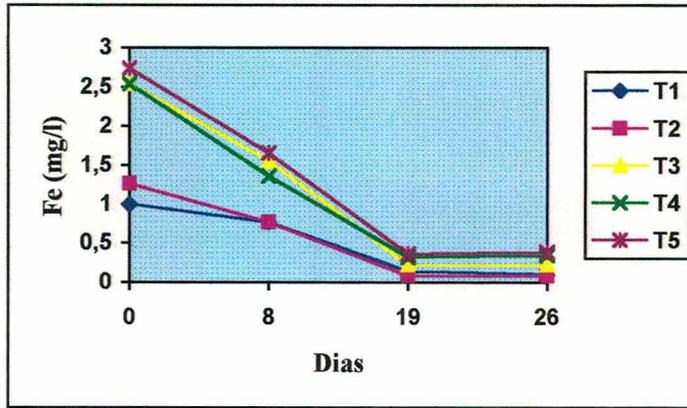


Figura 12a. Concentração de Fe na lagoas (E1).

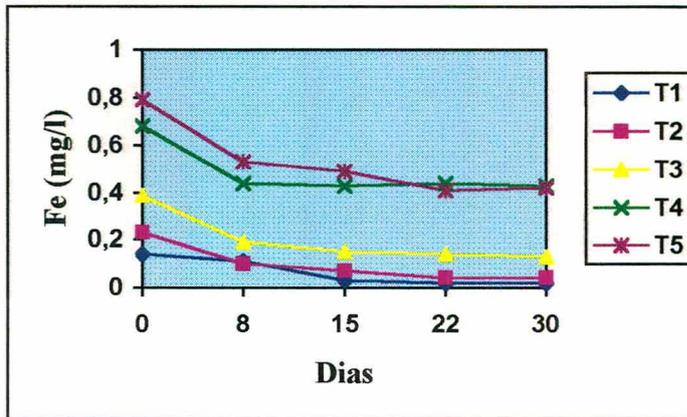


Figura 12b. Concentração de Fe na lagoas (E2).

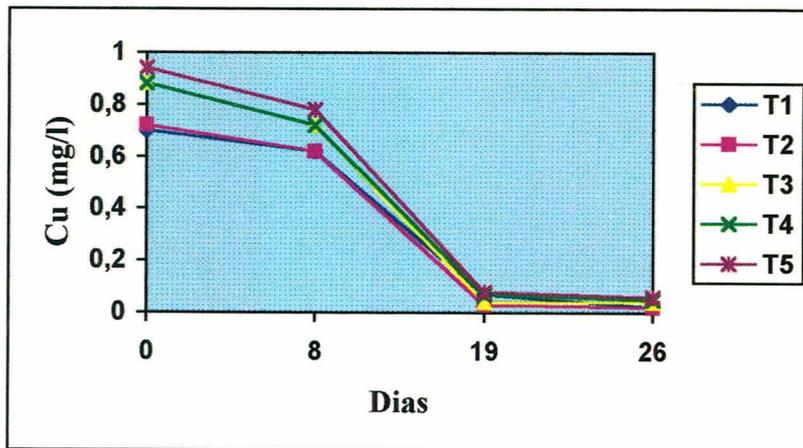


Figura 13a. Concentração de Cu nas lagoas (E₁).

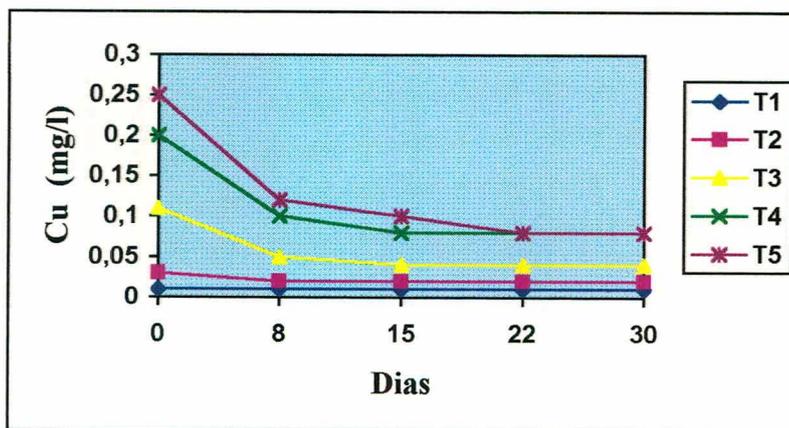


Figura 13b. Concentração de Cu nas lagoas (E₂).

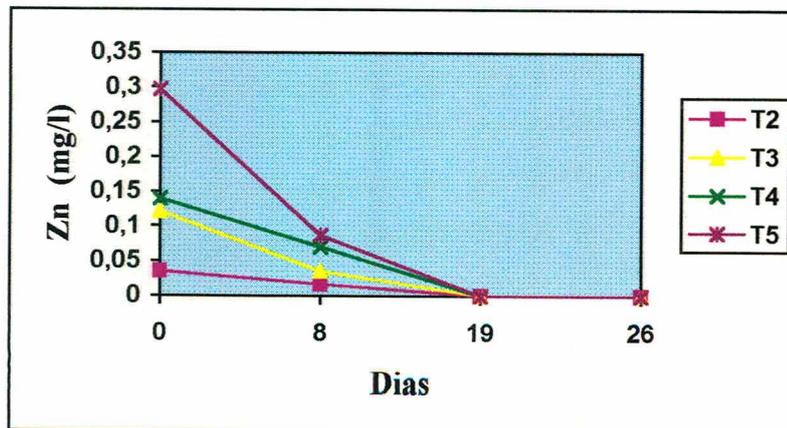


Figura 14a. Concentração de Zn nas lagoas (E₁).

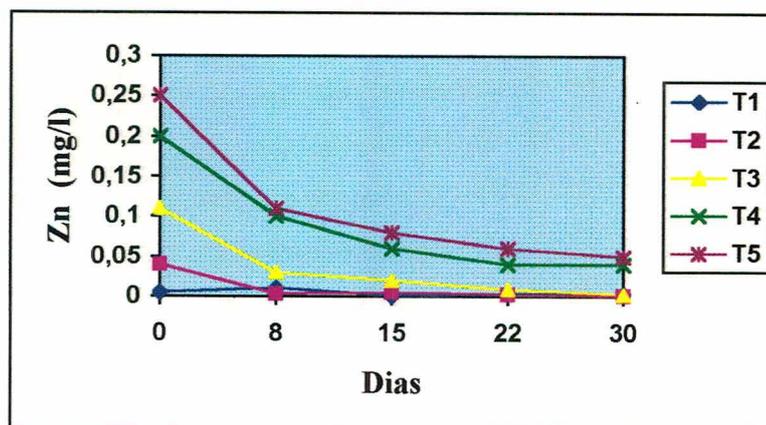


Figura 14b. Concentração de Zn nas lagoas (E₂).

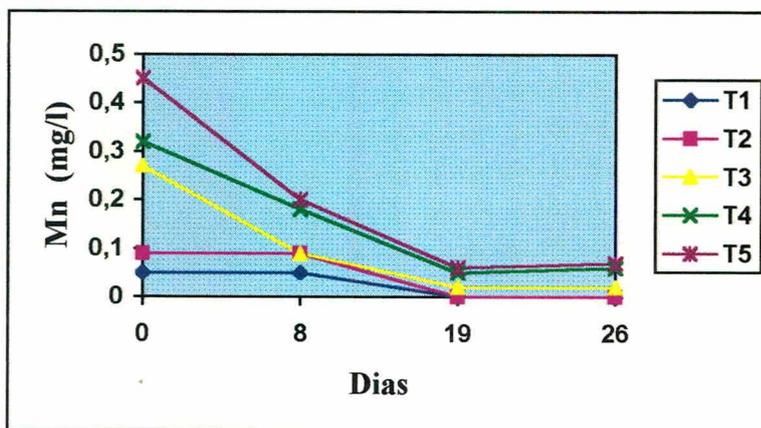


Figura 15a. Concentração de Mn nas lagoas (E₁).

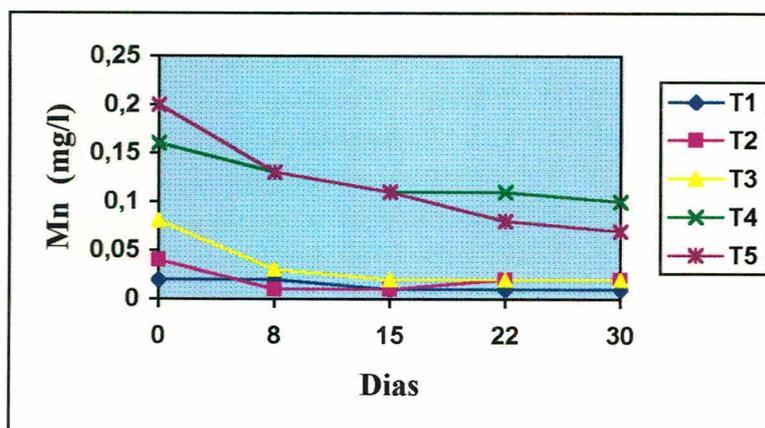


Figura 15b. Concentração de Mn nas lagoas (E₂).

A concentração de Ferro nas lagoas diminui ao longo do tempo de ensaio até o 20^o dia, quando então permanece constante, para o ensaio E₁.

No ensaio E₂ nota-se uma concentração estável já a partir do 15º dia. Porém, as concentrações finais de Ferro nas lagoas mais concentradas (T₄ e T₅) apresentam-se elevadas (> 0,4 mg/l).

Para os outros metais analisados (Cobre, Manganês e o Zinco) as concentrações finais são menores e em alguns casos não foram detectados a partir do 19º dia no E₁, como é o caso do Zinco

As figuras 16 a e b apresentam os percentuais de remoção dos metais (Fe, Cu, Mn e Zn), para os ensaios E₁ (inverno) e E₂ (verão), respectivamente.

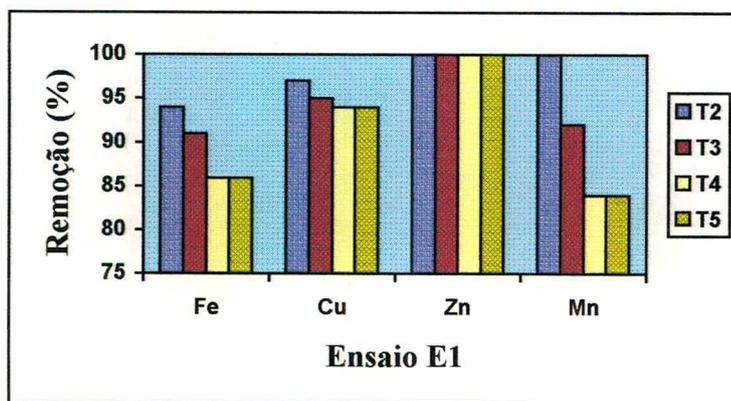


Figura 16a: Percentuais de remoção dos metais (E₁).

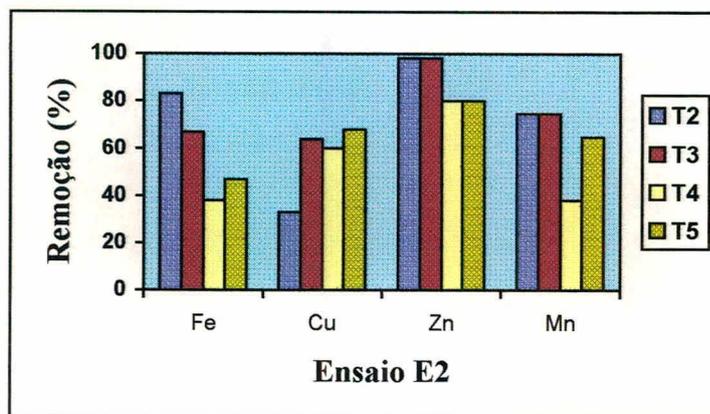


Figura 16b. Percentuais de remoção dos metais (E₂).

Pode-se observar que para o ensaio E₁ o desempenho na remoção de metais é melhor que o ensaio E₂, como já havia sido observado para os parâmetros Nt e DQO. Em geral, para as lagoas com maiores concentrações, o Ferro e o Manganês apresentam as menores eficiência de remoção pelos aguapés.

As análises bacteriológicas foram feitas apenas para o ensaio realizado no verão (E₂) e lagoas T₁, T₄ e T₅, o quadro 10 apresenta os resultados obtidos até o 15º dia de ensaio.

Quadro 10. Resultados das análises bacteriológicas (E₂)

Coliformes/100ml	Tempo (dias)	T ₁	T ₄	T ₅
Totais	0	< 3	$2,4 \times 10^6$	$4,6 \times 10^8$
	8	< 3	$4,3 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
	15	< 3	$2,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$
Fecais	0	< 3	$1,1 \times 10^6$	$4,6 \times 10^8$
	8	< 3	$4,3 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
	15	< 3	$2,1 \times 10^2$	$7,0 \times 10$

Os resultados bacteriológicos mostram um ótimo desempenho dos aguapés na remoção dos Coliformes, apresentando-se em conformidade com a Legislação Ambiental de Santa Catarina a partir do 15º dia. A lagoa T₄, porém apresentou uma remoção inferior à da lagoa T₅, nessa última conseguiu-se redução dos Coliformes Totais de 5 unidades log e dos Coliformes Fecais de 7 unidades log, em relação à concentração inicial.

A produtividade em peso seco de aguapés, medida em cada lagoa no final dos ensaios, considerando-se um teor de umidade de 95% segundo Kawai e Grieco (1983), é apresentada no quadro 11.

Quadro 11. Produtividade dos aguapés ao final de 30 dias de ensaio.

Produtividade (g/m ² . dia)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Ensaio E ₁	1,91	0,34	(*)	(*)	(*)
Ensaio E ₂	1,51	6,33	15,35	6,53	2,71

(*) Morte dos aguapés antes do 30º dia.

Para a lagoa testemunha (T₁) a produtividade dos aguapés observada, apesar do meio não possuir nutrientes, pode ser explicada pelo fato de que os aguapés possuem reservas suficientes para se desenvolverem em meios pobres (Wolverton & McDonald, 1979). Para as lagoas T₃, T₄ e T₅ a produtividade não foi determinada no inverno (E₁), devido a morte dos aguapés, ocorrida por volta do 23º dia, antes do término do ensaio; as causas mais prováveis para esse fato estão ligados a estação climática (inverno), com a ocorrência de temperaturas mais baixas que danificaram as plantas, como já evidenciado por Reddy (1983).

No verão (E₂), a produtividade dos aguapés apresentou-se máxima para a lagoa T₃, que continha concentrações iniciais de Nt em torno de 80 mg/l e DQO de 200 mg/l as quais, de acordo com Basseres (1990), interferem negativamente na produtividade, considerando 200 mg N-NH₄⁺/l como concentração limite máxima de toxicidade, e 100 mg N-NH₄⁺/l uma concentração que pode inibir o crescimento das plantas; há uma diminuição nos valores obtidos, para as concentrações maiores de Nitrogênio total estudadas (T₄ e T₅), como mostra a figura 17, encontrando-se entretanto, dentro da faixa daqueles obtidos por Basseres (1990) com dejetos de suínos, bem como por vários autores citados por Kawai e Grieco (1983) para esgotos domésticos.

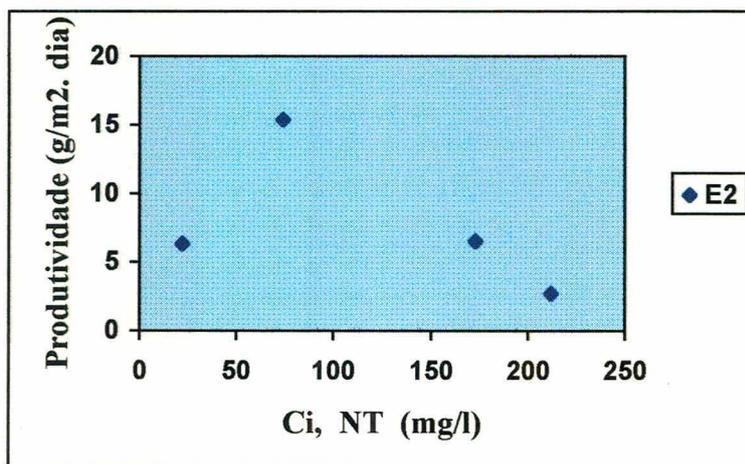


Figura 17. Produtividade dos aguapés em função da concentração inicial de NT.

A área livre disponível na lagoa tem uma estreita relação com a produtividade como mostram alguns autores, segundo Kawai e Grieco (1983) a ocupação da superfície pelos aguapés se dá de forma sigmóide com taxas de crescimento da ordem de 5% ao dia na fase exponencial, para despejos domésticos. Debusk et al, citados por Costa (1997), mostram também que desequilíbrios na composição mineral do efluente levam a baixas produtividades.

Dentro das condições estudadas, os resultados obtidos indicam que as concentrações dos poluentes no meio líquido (cargas superficiais aplicadas) são determinantes para o desempenho das lagoas de aguapés no tratamento dos despejos. Porém, para um mesmo tipo de despejo, a influência das condições climáticas são muito importantes, a eficiência das lagoas depende das variações sazonais, uma vez que os aguapés baixam sua produtividade no inverno.

4.2 – Ensaio em Contínuo – Sistema em Escala Real

Serão apresentados, a seguir, os resultados observados no monitoramento da lagoa de aguapés, em escala real, funcionando em fluxo contínuo, em duas etapas: a primeira de outubro/96 a fevereiro/97 (primavera/verão) e a segunda de maio a agosto/97 (outono/inverno). Os quadros 12 a e b mostram os valores médios obtidos para as leituras dos seguintes parâmetros: pH, DQO, NT e PT.

Quadro 12.a – Valores médios de pH, DQO, NT, PT e Coliformes Fecais (primavera/verão) - Primeira etapa.

	pH	DQO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)	Coli Fecal (NMP/100ml)
Afluente	7,8	821	362	49	$1,3 \times 10^4$
Efluente	7,8	377	178	26	$2,7 \times 10^3$
Remoção (%)	-	54	51	46	79

Temperatura média 24,7 °C

Quadro 12.b – Valores médios de pH, DQO, NT, PT e Coliformes Fecais (outono/inverno) - Segunda etapa.

	pH	DQO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)	Coli Fecal (NMP/100ml)
Afluente	7,7	883	494	64	$1,7 \times 10^4$
Efluente	7,4	317	167	26	$4,7 \times 10^3$
Remoção (%)	-	64	66	59	72

Temperatura média 17,5 °C

Os valores obtidos mostram que os dejetos, mesmo após passarem por tratamentos primários (decantador) e secundários (lagoas anaeróbias e facultativa), chegam à lagoa de aguapés ainda com elevadas concentrações de DQO, NT e PT. A remoção destes através da lagoa de aguapés apresenta-se em torno de 50% na primavera/verão e em torno de 60% no outono/inverno, conferindo com os resultados obtidos nas lagoas piloto, em batelada. Para os Coliformes Fecais, o sistema de lagoas do CNPSA/EMBRAPA, segundo Medri (1997) apresentou um bom desempenho, obtendo-se um efluente com NMP de CF em torno de $3,7 \times 10^3/100\text{ml}$, ficando um pouco acima das condições exigidas pela Legislação Ambiental de Santa Catarina ($<1000 \text{ CF}/100\text{ml}$). Observa-se que a sazonalidade não interfere na remoção dos Coliformes Fecais, pois, a redução ficou em torno de 1 log para ambas as etapas.

Admitindo-se cada lagoa, do sistema acima citado, funcionando com cinética de primeira ordem e regime de mistura completa, o valor médio encontrado para a constante de mortandade (k_b) de CF, foi de $1,6 \text{ d}^{-1}$, para um tempo de detenção total de 125 dias (Medri, 1997). Os resultados obtidos no CNPSA estão de acordo com os encontrados por Mills et al. (1992), que obtiveram baixas taxas de remoção de CF, principalmente para as lagoas de maturação. Oragui et al. (1987) observaram que os valores de k_b têm sido mais altos para as lagoas primárias do que para as lagoas de maturação, provavelmente devido à grande porcentagem de remoção se dar por sedimentação dos sólidos. Porém, Mills et al. (1992) argumentaram que os baixos valores de k_b , na série de lagoas, poderiam ser explicados pelos baixos valores nas lagoas anaeróbias e facultativas primárias, tendo em vista que, nas lagoas de maturação as taxas de remoção são, normalmente, mais altas. Contrário à isso, verificaram que as taxas de remoção mais altas foram das lagoas primárias, ficando as lagoas de maturação com baixas remoções, e concluíram que isto se deve a dois fatores importantes:

- I) uma grande porcentagem da população de CF afluyente sendo removida por sedimentação dos sólidos na primeira lagoa; e/ou
- II) os CF remanescentes nas lagoas de maturação sendo, de fato, os sobreviventes mais resistentes da população original.

O comportamento dos parâmetros DQO, NT e PT ao longo do período de monitoramento pode ser observado nas figuras 18 a, b e c para a 1ª etapa (primavera/verão) e nas figuras 19 a, b e c para a 2ª etapa(outono/inverno) respectivamente.

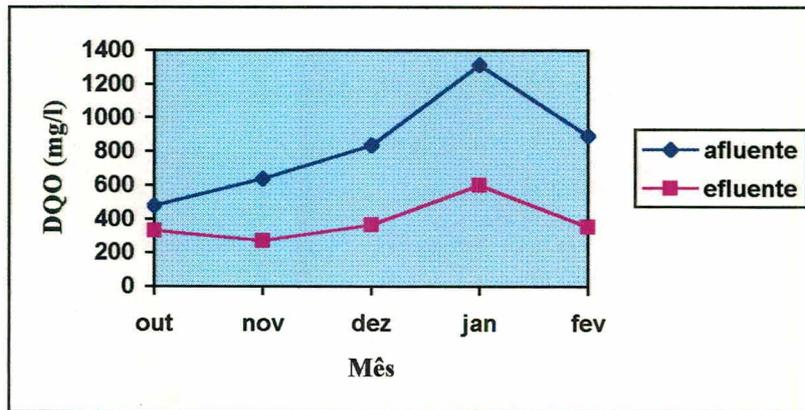


Figura 18a. Evolução da DQO no tempo 1^a etapa (primavera/verão).

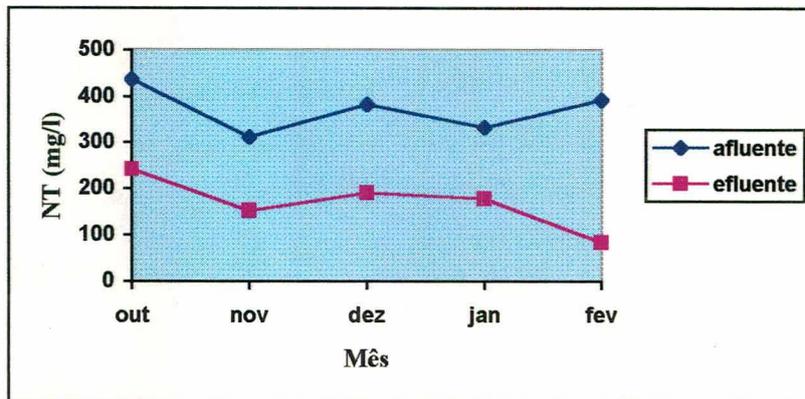


Figura 18b. Evolução do NT no tempo 1^a etapa (primavera/verão).

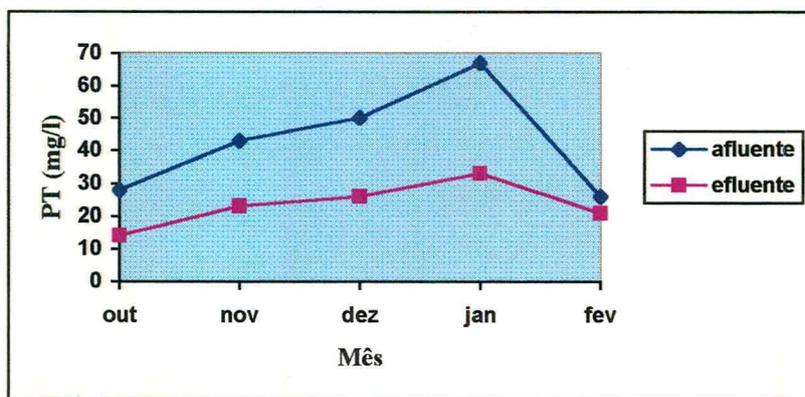


Figura 18c. Evolução do PT no tempo 1^a etapa (primavera/verão).

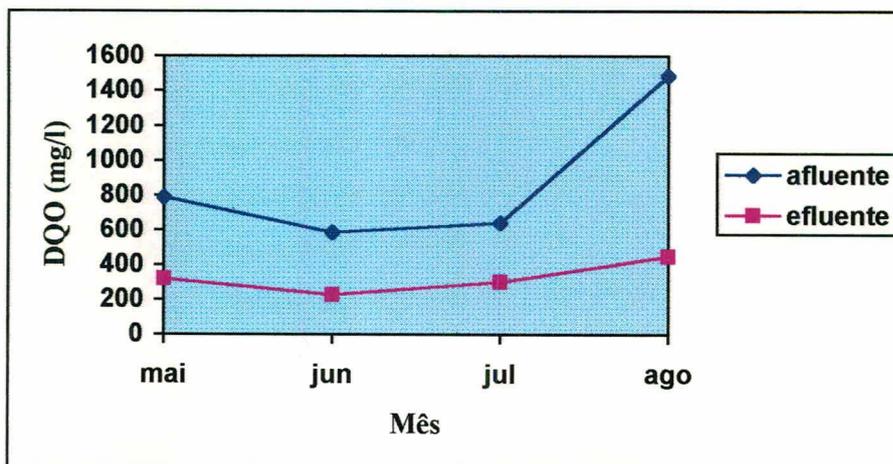


Figura 19a. Evolução da DQO no tempo 2ª etapa (outono/inverno)

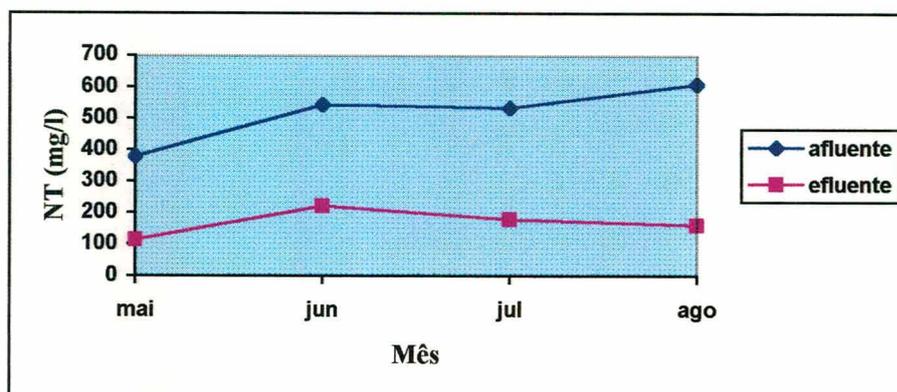


Figura 19b. Evolução do NT no tempo 2ª etapa (outono/inverno)

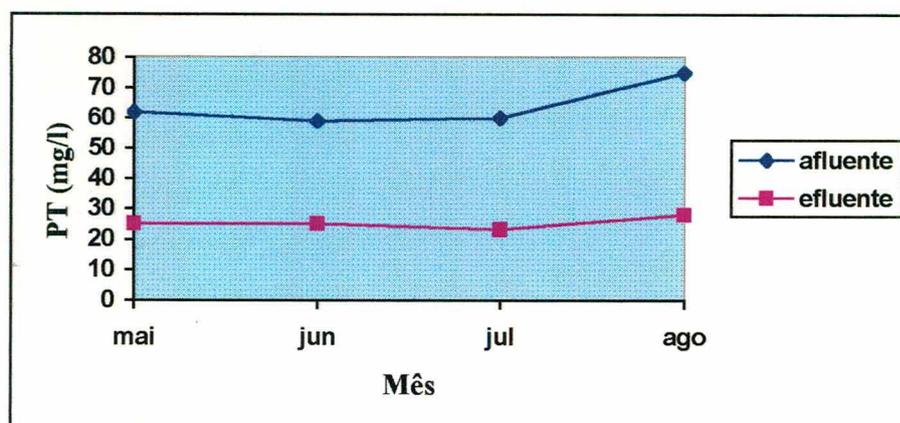


Figura 19c. Evolução do PT no tempo 2ª etapa (outono/inverno).

A qualidade do efluente da lagoa de aguapés apresenta-se variável em função das concentrações afluentes, porém pode-se observar que os valores do efluente tendem a uma estabilização na lagoa, para os parâmetros NT e PT.

O quadro 13 apresenta a eficiência de remoção do Nitrogênio Total e Fósforo Total, ao longo do tempo nas duas etapas do ensaio.

Quadro 13. Eficiência de remoção (em %) do NT e PT na lagoa de aguapé.

	Primavera/Verão Temperatura média 24,7 °C M E S E S					Outono/Inverno Temperatura média 17,5 °C M E S E S			
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mai	Jun	Jul	Ago
	Nitrogênio	45	51	50	47	79	70	59	66
Fósforo	50	46	48	51	19	60	58	62	63

Os percentuais de remoção do Nitrogênio Total e do Fósforo Total para as duas etapas do ensaio, 1ª etapa (primavera/verão) 2ª etapa (outono/inverno), pode ser verificado nas Figuras 20 a e b, respectivamente.

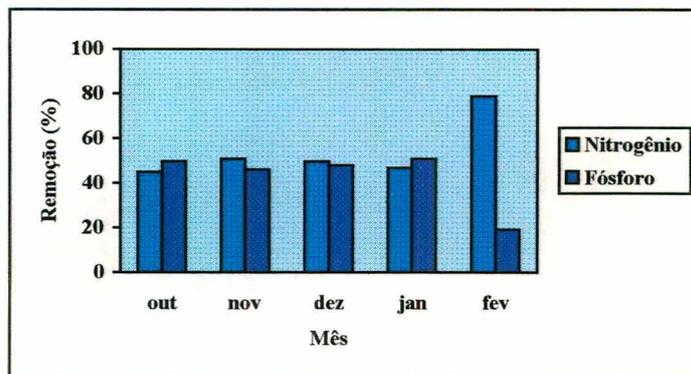


Figura 20 a. Eficiência remoção do NT e PT na 1ª etapa (primavera/verão).

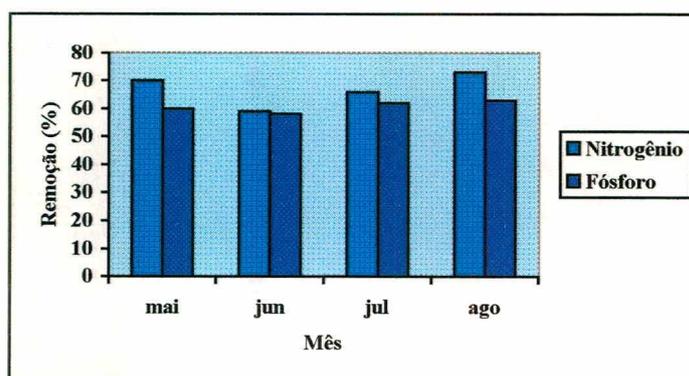


Figura 20 b. Eficiência de remoção do NT e PT na 2ª etapa (outono/inverno).

Observa-se que a lagoa de aguapés teve um melhor rendimento na 2ª etapa do ensaio (outono/inverno) do que na 1ª etapa (primavera/verão), ou seja, em temperaturas mais baixas ($T_m = 17,5 \text{ } ^\circ\text{C}$) do que em temperaturas mais elevadas ($T_m = 24,7 \text{ } ^\circ\text{C}$). Um dos fatores que podem ter influenciado neste rendimento é o manejo das plantas, tendo em vista que na época quente as plantas excedentes foram retiradas da lagoa somente a cada 2 ou 3 meses, não sendo seguidas as recomendações que a retirada fosse realizada a cada 30 dias no máximo, pois as plantas necessitam de um espaço livre para crescerem, correndo o risco de sua produtividade cair e conseqüentemente a eficiência no tratamento dos despejos. Na época fria o excedente foi retirado mensalmente. Outro fator citado por Costa et al (1997b), é que as taxas diárias de absorção apresentam-se mais elevadas no inverno do que no verão, provavelmente devido às condições de temperaturas menores, que reduzem as taxas de reações químicas e inibem o metabolismo bacteriano do meio líquido, fazendo com que os aguapés sejam os principais removedores da poluição nas condições de inverno,

O quadro 14 mostra as taxas médias de remoção diária de DQO, NT e PT pelas plantas, na 1ª e 2ª etapa do monitoramento.

Quadro 14. Taxa de remoção diária efetuada pelos aguapés (em mg/ (dia. g aguapé).

Mês	DQO	NT	PT
Outubro	0,288	0,379	0,027
Novembro	0,713	0,309	0,039
Dezembro	0,910	0,370	0,046
Janeiro	1,315	0,360	0,056
Fevereiro	1,040	0,597	$9,66 \times 10^{-3}$
Média 1ª etapa	0,807	0,355	0,042
Maio	1,441	0,812	0,113
Junho	1,102	0,977	0,104
Julho	1,044	1,078	0,113
Agosto	3,175	1,364	0,143
Média 2ª etapa	1,691	1,058	0,118

As taxas encontradas para o sistema real, em contínuo, durante a 1ª etapa do monitoramento, são inferiores àquelas obtidas no sistema piloto, em batelada, mostrando que o funcionamento dessa lagoa não está otimizado; uma das causas deve-se ao manejo dos aguapés, como já foi comentado acima. Para a 2ª etapa do monitoramento as taxas de remoção diária são semelhantes àquelas obtidas nas lagoas piloto para o mesmo período climático (outono/inverno).

A produtividade média estimada da massa seca de aguapés ficou em torno de $7,7 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia}$, na 1ª etapa (primavera/verão) e $4,61 \text{ g/m}^2 \cdot \text{dia}$ na 2ª etapa (outono/inverno), valores acima do esperado para as concentrações iniciais médias de Nitrogênio total (362 mg/l e 494 mg/l) na 1ª e 2ª etapas respectivamente, quando comparado aos resultados dos ensaios em batelada; na realidade, os valores menores, do sistema piloto, em batelada, podem ser explicados uma vez

que a produtividade tende a cair no decorrer do tempo, acompanhando a queda na concentração de nutrientes no meio líquido. Os valores de produtividade obtidos no sistema em contínuo, entretanto, estão abaixo daqueles apresentados por Kawai e Grieco (1983) (20 a 25 g/m². dia) para esgotos domésticos, referendando as constatações de Basseres (1990) que mostram uma inibição no desenvolvimento das plantas para concentrações de Nitrogênio total superiores a 100 mg/l.

Pode-se observar no quadro 15 os valores médios das cargas superficiais aplicadas e removidas em termos de DQO, NT e PT, para a 1ª e 2ª etapas, respectivamente.

Quadro 15. Cargas superficiais aplicadas e removidas na lagoa de aguapés.

Carga (kg/ha. dia)	Aplicada	Removida	% Remoção
DQO 1ª etapa	246,3	133,2	54,1
NT 1ª etapa	108,6	54,6	50,2
PT 1ª etapa	14,4	6,6	45,8
DQO 2ª etapa	264,90	169,80	64,10
NT 2ª etapa	148,20	98,10	66,20
PT 2ª etapa	19,20	11,40	59,40

Mesmo o manejo das plantas não sendo o mais adequado e as taxas de remoção diária não sendo tão elevadas quanto às obtidas nos ensaios em batelada, a lagoa de aguapés em funcionamento contínuo apresentou um bom desempenho na remoção de parâmetros básicos como: DQO, NT e PT, tendo-se o conhecimento de que o que chega nessa lagoa já passou por tratamentos preliminares e secundários, sobrando concentrações de poluentes em formas refratárias ao tratamento biológico; podendo-se, então, comparar aos resultados obtidos por Ghetti et al. (1982), que conseguiram 88% de remoção de NT para lagoas de aguapés com dejetos suínos, recebendo uma carga de 34 kg NT/ha/dia

4.3 – Metabolismo dos aguapés pelos suínos

O teste de metabolismo dos aguapés pelos suínos (Bertol, 1997), apresentou os seguintes resultados que caracterizam o feno de aguapé (quadro 16).

Quadro 16. Características do feno de aguapé

Componente	%
Matéria seca	89,51
Proteína bruta	16,06
Extrato etéreo	0,78
Fibra bruta	19,88
Cinza	16,41
Fósforo	0,61
Energia digestível	1.122 kcal/kg
Energia metabolizável	1.067 kcal/kg

Esses resultados acompanham aqueles obtidos por Grandi, et al. (1984) e Kawai e Grieco (1983), os quais mostram que a composição química das plantas aquáticas varia de acordo com as características ambientais do meio onde se desenvolvem; maiores teores de componentes minerais são encontrados em águas poluídas do que em ambientes preservados.

Para os valores do quadro 16 conclui-se que o valor nutricional do feno de aguapé para suínos é bastante limitado, em função dos baixos valores de energia digestível e da energia metabolizável. Entretanto, a utilização dos aguapés na complementação da dieta de suínos e de coelhos, na forma de alimento “in natura” seco ao sol, apresentou ótimos resultados, não sendo constatados problemas nutricionais ou de saúde animal, segundo Solly et al. (1984) e Kashem et al. (1984). Alaa El-Din, citado por Mota e Costa (1984), refere-se aos chineses

que usam a biomassa do aguapé para alimentar porcos, coelhos e patos, indica a produção de 2,17 ton/ha.ano de proteínas. Embora, a ração seja de qualidade inferior, as taxas de engorda dos animais permanecem dentro das aceitáveis para a produção confinada. Essas constatações servem para incentivar a continuação dos estudos com aguapés, vindos de lagoas de tratamento de dejetos de suínos, na complementação da dieta animal, para as condições da região Oeste de Santa Catarina.

4.4 – Estudo econômico

O estudo econômico, baseado na metodologia desenvolvida por Medri et al. (1996) foi realizado para uma lagoa de aguapé, considerando sua área superficial igual a 105,6 m² e acréscimo de 164% para circulação e manutenção da lagoa, resultando em um total de 280 m². De acordo com as leis trabalhistas, o custo horário de um servidor para o empregador pode ser estimado em R\$ 2,56, incluindo-se os encargos sociais. Admitindo-se um servidor trabalhando 1 (um) dia por mês para limpeza da lagoa e área adjacente, admitindo-se ainda, taxa de juros de 15% ao ano durante 20 anos, os custos estimados para tratamento de dejetos de suínos dessa lagoa são apresentados no quadro 17.

Quadro 17. Custos estimados para lagoas de aguapés / período de 20 anos.

Custo	Quantidade	Custo/Unidade	Custo Total
Aquisição de terra	280m ²	R\$ 3.000,00/ha	R\$ 84,00
Limpeza do terreno	280m ²	R\$ 0,33/m ²	R\$ 92,40
Escavação e transporte de terra excedente	73m ³	R\$ 1,20/m ³	R\$ 87,60
Compactação	15m ³	R\$ 0,66/m ³	R\$ 10,00
Manutenção	20 anos	R\$ 20,00/mês	R\$ 1.604,00
Total			R\$ 1.878,00

Obs. R\$ 1,00 ≅ US\$ 1,00.

Através de cálculos de fluxo de caixa chega-se ao custo anual de R\$ 300,00 para uma lagoa com as características pré-definidas acima. Este valor pode ser maior dependendo do monitoramento que venha a ser feito na lagoa. O custo das análises físico-químicas e bacteriológicas para uma amostra é de aproximadamente R\$ 1.000,00, considerando-se apenas as análises de: pH, DBO, DQO, NT, PT, Sólidos, Coliformes Totais e Fecais e Metais (Fe, Zn, Ni, Cu), assim o custo total anual da lagoa, incluindo monitoramento, dependerá da adequação do efluente final às exigências da legislação ambiental pertinente, em termos de seu lançamento e das características do corpo receptor quanto à classe na qual está enquadrado.

CAPÍTULO 5

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em Santa Catarina, principalmente na região Oeste os problemas ambientais provenientes da suinocultura requerem soluções a curto, médio e longo prazo. Tais soluções não podem ser improvisadas, exigindo o envolvimento de diversas categorias: produtores, pesquisadores, do poder público e dos industriais, buscando tecnologias de aproveitamento e tratamento dos dejetos de suínos, dentro de concepções econômicas e físicas da região.

Como o uso de lagoas de estabilização tem sido divulgado com sucesso em todo o mundo, orientado mais precisamente para efluentes domésticos de baixa concentração, sua aplicação em efluentes muito concentrados, como os dejetos de suínos, aparece então como uma alternativa interessante para responder às exigências da Legislação Ambiental no licenciamento das atividades produtivas.

Os estudos apresentados nesse trabalho concerne em um tipo de lagoa: lagoa de aguapés, para tratamento terciário de dejetos de suínos, com o objetivo principal de remoção de nutrientes.

Esta lagoa foi estudada em dois momentos: lagoas piloto e lagoa em escala real, com regime de batelada e em contínuo, respectivamente. Com as lagoas piloto procurou-se parâmetros de projeto e operacionais, que foram então utilizados para a construção e o funcionamento da lagoa em escala real, onde observou-se o desempenho como etapa terciária de tratamento.

Os resultados das lagoas piloto de aguapés permitem concluir, para as condições do estudo com dejetos de suínos:

- um tempo de detenção hidráulica de 20 dias como o ideal para lagoas de aguapés;

- os aguapés são capazes de tratar dejetos de suínos, como etapa terciária, adequando-se aos padrões da Legislação Ambiental nas remoções de DQO, NT, PT, metais (Fe, Cu, Mn e Zn) e Coliformes Fecais, em função de suas concentrações iniciais;
- as taxas de remoção dos poluentes são melhores no inverno que no verão, porém as plantas são sensíveis às baixas temperaturas, diminuindo sua produtividade.

Os resultados da lagoa de aguapés em escala real, com funcionamento em contínuo, permitem concluir:

- para elevadas cargas superficiais aplicadas de DQO, NT e PT em torno de 300, 160 e 20 kg/ha.dia, respectivamente, a lagoa de aguapés consegue remoções superiores a 50%, para cada parâmetro, com tempo de detenção de 19,3 dias;
- o abatimento dos Coliformes Fecais, pelos aguapés, deixa a lagoa dentro dos padrões ambientais;
- a lagoa de aguapés foi monitorada em duas épocas climáticas distintas: primavera/verão ($T_m = 24,7 \text{ }^\circ\text{C}$) e outono/inverno ($T_m = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$), apresentou melhor desempenho na época fria, devido a competitividade por alimento;
- o desempenho dessa lagoa, é, porém, função do manejo das plantas dentro da lagoa e das concentrações afluentes de poluentes, principalmente os compostos de Nitrogênio;
- esse processo de tratamento com aguapés é adequado para médios e grandes produtores, porém, pequenos produtores, associando-se em forma de consórcio, podem utilizá-lo

Para o desenvolvimento de futuros trabalhos recomenda-se:

- observar as variações sazonais (inverno e verão) na lagoa de aguapés em funcionamento contínuo, quanto à remoção dos poluentes, estabelecendo critérios para otimização do manejo das plantas e em relação as taxas superficiais aplicadas;

- estudo das possibilidades de utilização do aguapé na alimentação animal e outros usos, de modo a fechar o ciclo produtivo de forma auto-sustentável;
- estudos de custos no manejo correto dos aguapés;
- estudos comparativos com outros tipos de lagoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. A caminho de crescimento . **Suinocultura Industrial**, n. 117, p. 9-15, maio, 1995.
- ANDREADAKIS, A.D. Anaerobic digestion of piggery wastes. **Wat. Sci. Tech.**, v. 25, n. 1, p. 9-16, 1992.
- APHA – AWWA – WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 18 th ed. Washington, D. C.: American Public Health Association , 1992.
- ASAE EP403.1 Design of anerobic lagoons for animal waste management. **AGRICULTURAL SANITATION AND WASTE MANAGEMENT COMIMTTEE**, 1993.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS – ACCS. **Relatório Anual de 1994**, Concórdia, SC, 1995.
- AUERSWALD, W. A. **Estudo de lagoas facultativas na região Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. UFPb- Campina Grande, Pb, 158p. , 1979.
- BARBARI, M.; ROSSI, P. Rispiamare acqua conviene: meno liquami da Smaltire. **Suplemento a l'Informatore Agrario**, Verona, n. 18, p. 11-17, 1992.
- BASSERES, A. **Performance des microphytes et des macrophytes dans l'épuration d'effluents organiques à forte charge en ammoniacque**. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 1990.

BAVARESCO, A. S. L.; COSTA, R. H. R.; PERDOMO, C. C. Lagoas de aguapés em sistemas de tratamento de dejetos de suínos. XXV CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL: Tratamiento de Aguas Residuales, (1996: México, D.F.). México: AIDIS, Tomo I, p. 41-47, 1996.

BERTOL, T. M. Uso do feno de aguapé na alimentação de suínos. Artigo em preparação. 1997.

BOLETIM CODETEC 7702. O aguapé: o binômio aguapé/cana.

BONAL, O. Quantification du pouvoir épurateur de la jacinthe d'eau (E.C.) en lagunage naturel d'effluent de collectivité à forte variation estivale des populations. Gestion de la culture et valorisation par compostage. DEA, ENSA, Montpellier, 50p., 1986.

BOYD, Claude E. The nutritive value of three species of water weeds. *Economic Botany*, V.23, n. 2, p. 123-127, 1969.

BUSON, C. et AUROUSSEAU, P. Lisiers et protection de l'environnement. *Géométrie*, v. 3 p. 29-32, 1977.

CAVALCANTI, S. S. Produção de Suínos. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, SP, 1984.

CHARBONNEL, Y. Manual of aquatic weeds lagooning. Université Paul Satier, Toulouse France, 1989.

- COELHO, T. Aguapé, a planta aquática que despolui. **Ecologia e Desenvolvimento**. vol. 38, abril, 1994.
- COOLEY, T. N.; MARTIN, D. F. A preliminary study of metal distribution in three water hyacinth biotypes. **Water Research**, vol.13, n. 4, p. 343-348, 1979.
- CORNWELL, David, et al. Nutrient removal by water hyacinths. **Journal WPCF**, n. 70, p. 57-65, 1977.
- COSTA, R. H. R. **Lagoas de alta taxa de degradação e de aguapés no tratamento terciário de dejetos de suínos**. Florianópolis, 1997. Trabalho apresentado como parte dos requisitos de concurso público para Professor Titular. Universidade Federal de Santa Catarina.
- COSTA, R. H. R.; BAVARESCO, A. S. L.; MEDRI, W. Lagoas de aguapés para dejetos de suínos. SIDISA – SIMPOSIO INTERNAZIONALE DE INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE. (1997a Ravello, Italia). Ravello: ANDIS/ABES/AIDIS, p. 988-994, 1997a.
- COSTA, R. H. R.; MEDRI, W.; PERDOMO, C. C. Otimização do sistema de tratamento: decantador de palhetas e lagoas anaeróbias, facultativa e de aguapés de dejetos de suínos. SIDISA - SIMPOSIO INTERNAZIONALE DE INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE. (1997b Ravello, Italia). Ravcello: ANDIS/ABES/AIDIS, p. 1018-1025, 1997b.
- COSTA, R. H. R.; SILVA, F. C. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Preliminary studies on the use of lagoons in the treatment of hog waste products. In: 3rd. IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP. Waste Stabilization ponds: Technology na Aplications. (1995: João Pessoa, Pb). João Pessoa, Pb: IAWQ, 1995.

- COUNCIL OF EUROPEAN COMMUNITIES (CEC). Directive concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC). Official Journal L135/40, 30 May 1991.
- DEBUSK, T. A. et al. Performance of a pilot-scale water hyacinth based secondary treatment systems. **Water Pollution Control Federation**, n.61, p.1217-1225, 1989.
- DIAS, L. F. X. Armazenagem de dejetos. **Suinocultura industrial**. n. 117 p.40-42, maio, 1995.
- DUARTE, E. A.; MENDES, B.; OLIVEIRA, J. S. Valorization of solid wastes from biomethanisation of pig breeding effluents. **Wat. Sci. Tech.**, v. 26, n. 9-11, p. 2097-2100, 1992.
- EMBRAPA-CNPSA. Análise prospectiva do complexo agro-industrial de suínos no Brasil. Série Publicações. Ed. EMBRAPA-CNPSA, Concórdia, SC, 1995.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE- Censo Agropecuário-1985, Brasil, Rio de Janeiro: IBGE, 1991, 400p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE- Censo Agropecuário, 1985- Santa Catarina. Rio de Janeiro: IBGE, 1985, 600p.
- GHETTI, P. F. et al. Perspectives en phyto-épuration par les macrophytes flottants dans les régions continentales. In: Communications Scientifiques "L'Épuration par lagunage". Montpellier, 234p., 1982.

- GOULART, R. M. **Processo de compostagem: alternativa complementar para tratamento de camas biológicas de dejetos de suínos.** Dissertação de Mestrado, Engenharia Ambiental – UFSC, 129p., 1997.
- GRANDI, A.; MARZETTI, P.; DE ANGELIS, A. Impiego del giacinto d'acqua disidratadi nelle dieti per suini. **Revista di Suinicoltura.** N. 7, p. 45-48, 1984
- HARMON, B. G.; et al. Nutritive value of aerobically sustained swine excrement. **Journal of Animal Science.** V. 34, n. 3, p. 403-407, 1972.
- HAUSER, J. R. Use of water hyacinth aquatic treatment systems for ammonia control and effluent polishing. **Journal WPCF.** V. 56, n. 3, p. 219-225, 1984.
- HEGG, R. O. et al. Irrigation of swine lagoon effluent onto pine and hardwood forests. **Transactions of the ASAE.** P. 1411-1418, 1984.
- HENZE, M. Nutrients removal from wastewater. **New World Water.** Ed. Roy Harris Sterling Publications Limited, London, p.114-117, 1995.
- HILBERTS, I. B. Large scale manure processing in the Netherlands. Nitrates, agriculture, eau. Paris, p. 67-74, 1990.
- INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA-ICEPA/SC. Síntese anual da agricultura de Santa Catarina, 1990-91. Florianópolis. SAAI, 1991. V.1, 352p.
- JELINEK, T. Collection, storage and transport of swine wastes. **Animal Wastes.** Ed. Taiganides, E.P., Essex, England Applied Science, p. 165-174, 1977.

- JOHN, C. K. Treatment of agro-industrial wastes using water hyacinth. **Wat. Sci. Tech.** v. 17, p. 781-790, 1984.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 3ª Ed. ABES, Rio de Janeiro, RJ. 720p., 1995.
- JORDÃO, E. P. Revisão de critérios de concepção e dimensionamento de lagoas de estabilização e de aguapés. ANAIS 12º Congresso Engenharia Sanitária, Bal. Camburiu, SC, 1983.
- KASHEM, M. A., et al. Mangement of water Hyacinth: Utilization of water hyacinth for animal feed. In: Water Hyacinth – UNEP Reports and Proceedings Series, 7 Ed. G. Thyagarajan, Nairobi, p. 387-397, 1984.
- KAWAI, H.; GRIECO, V. M. Utilização do aguapé para tratamentos de esgoto doméstico. Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. **Revista DAE**. N. 135, p. 79-90, 1983.
- KONZEN, E. A Manejo e utilização dos dejetos de suínos. **Circular Técnica n. 6**. EMBRAPA-CNPSA. 32p., 1983.
- LAVOURA, A. Suinocultura – Novo bebedouro acaba com desperdícios. Ed. Sociedade Nacional de Agricultura, p.16-17, 1992.
- LINDNER, E. A. Legislação Ambiental vigente. In: Aspectos Práticos do Manejo de Dejetos de Suínos. Ed. EPAGRI/EMBRAPA-CNPSA, 106 p. 1995.

- LOEHR, R. C. **Agricultural waste management: problems, processes and approaches.** New York: Academic Press, 576p., 1974.
- LÓPEZ, E. G.; et al. Control de malezas acuáticas en México. **Ingeniería Hidráulica en México.** v. IX, n. 3, p. 15-34, 1994.
- MANDI, L. et al. Essais d'épuration des eaux usées de Marrakech par la jacinthe d'eau. (Charge organique, bactérienne et parasitologie). **Revue des Sciences de l'eau.** v. 5, n. 3, p. 313-333, 1992.
- MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos de suínos.** Tese de Doutorado. UFSC, SC, 206p., 1997.
- MEDRI, W.; COSTA, R. H. R.; PERDOMO, C. C. Estudo econômico e avaliação preliminar de sistema de tratamento: lagoas anaeróbia e facultativa para dejetos suínos. In: XXV CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL: Tratamiento de Aguas Residuales, (1996: México, D.F.). México: AIDIS, p. 388-395, 1996.
- MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes.** Avic Publishing Company, Inc., 419 p., 1981.
- MILLS, S. W. et al. Efficiency of faecal bacterial removal in waste stabilization ponds in Kenya. **Wat. Sci. Tech.**, v. 26, n. 7-8, p. 1739-1748, 1992.
- MOSSÉ R. et al. Utilização de lagoas de maturação com aguapé na remoção de algas e coliformes em efluentes de lagoas de estabilização. **Revista Engenharia Sanitária,** v. 19, n.1, p. 56-65, 1980.

- MOSSÉ, R. A. e CHAGAS, J. M. Utilization of water hyacinth in the tertiary treatment of domestic sewage. In: Water hyacinth – UNEP – Reports and proceedings Series, 7. Ed. G. Thyagarajan, Nairobi; p. 635-645, 1984.
- MOTTA, F. S. e COSTA, S. S. P. Possibilidades energéticas do vegetal aquático “baronensa” *Eichornia Crassipes*. **Rev. Pernambucana Tecnologia**. V. 4 n. 1, p. 9-38, 1984.
- MURAMOTO, S. & OKI, Y. Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth (*Eichornia Crassipes*). **Bull. Environm, Contam. Toxicol.** v. 30, n. 2, p. 170-177, 1983.
- OLESZKIEWICK, J. A. and KOZIARSKI, S. Management and treatment of wastes from large piggers. **Agricultural Wastes**, V.3, n. 2, p.123-144, 1981.
- OLIVEIRA, P. A. V., coord. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Ed. EMBRAPA – CNPSA, Documentos No 27-0101/6245, Concórdia, SC, 188p., 1993.
- ORAGUI, J. I. et al. The removal of excreta bacteria and viruses in deep stabilization ponds in northeast Brazil. **Wat. Sci. Tech.**, v. 19, n. 3-4, p. 569-573, 1987.
- PEARSON, H. et al. The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilization pond performance and efficiency. **Wat. Sci. Tech.**, v.31, n. 12, p. 129-139, 1995.
- PERAZZA, M. C. et al. O aguapé: meios de controle e possibilidades de utilização. **Revista DAE**. N. 125, p. 18-24, 1985.

- REDDY, K. R. Fate of nitrogen and phosphorus in a waste water retention reservoir containing aquatic macrophytes. **Journal Env. Quality**. V.12, n. 1, p. 137-141, 1983.
- ROQUETE PINTO, C.L. Tecnologia inovadora de tratamento de águas através de processo bio-tecnológico utilizando a planta aquática Jacinto d'Água (*Eichornia Crassipes*). In: 3rd. IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP. Waste Stabilization ponds: Technology na Aplications. (1995: João Pessoa, Pb). João Pessoa, Pb: IAWQ, 1995.
- ROQUETE PINTO, C.L. et al. Utilização de planta aquática Jacinto d'Água para remoção e recuperação de mercúrio de efluentes industriais. In: 1^o SIBESA – Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. (1992: Rio de Janeiro, RJ.). Rio de Janeiro, RJ: 2 Tomo III, p. 290-303, Ed. ABES/ANDIS, 1992.
- ROQUETE PINTO, C.L. et al. Utilization of Water Hyacinth for removal and Recovery of silver from Industrial wastewater. **Wat. Sci. Tech.**, V.19, n.10, p. 89-101, 1987.
- ROQUETE PINTO, C. L. et al. Utilização da planta aquática "*Eichornia Crassipes*" (Aguapé) para controle da poluição e aproveitamento industrial- Uma tecnologia alternativa. **Informativo INT**, v. 18, n.37, 1986.
- SAFLEY, L. M. JR. What you want to know about lagoons: design, operations, fertily value, methane collection, etc. Livestock Waste Management Conference, 1991.
- SALARI, E. e RODRIGUEZ, N. S. De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé. **Revista Brasileira de Tecnologia**, v. 3, n. 3, p. 23-32, 1982.

- SAQQAR, M. M. Coliform die-off in waste stabilization ponds in Jordan. PROC. REGIONAL SEMINAR ON WASTEWATER RECLAMATION NA REUSE CAIRO EGGIPT, 1988 Rome: In. Food and Agriculture Organization.
- SEDUMA- Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente. Projeto integrado de controle de poluição pela suinocultura. (Projeto Água Limpa), Florianópolis -SC, 12p., 1990.
- SEVRIN-REYSSAC, J. et al. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Technique & Documentation – Lavoisier, Paris. 118p., 1995.
- SILVA, P. R. **Lagoas de estabilização para tratamento de Resíduos de Suínos**. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, São Paulo, SP, 76p., 1973.
- SILVA, F. C. M. **Tratamento de dejetos de suínos utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Ambiental, UFSC, SC, 97p., 1996.
- SOLLY, R. K., et al. Water Hyacinth as feed suplement for small animals. In: Water Hyacinth – UNEP Reports and Proceedings Series, 7. Ed. G. Thyagarajan, Nairobi, p. 398-407, 1984.
- SOUZA, A. Como tratar e utilizar os dejetos de suínos – **Suinocultura Industrial**, maio de 1995
- STALLBAUM, I. Consciência ecológica é restrita em Santa Catarina. Diário Catarinense, p. 40-45, 5 de junho de 1994.

- TAIGANIDES, E. P. Animal farming effluent problems – na integrated approach resource recovery in large scale pig farming. **Wat. Sci. Tech.** V.18, n. 10, p. 47-55, 1986.
- VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, DESA-UFMG, 1996, 134p.
- WHITE, R. K. Lagoon systems for animal wastes. **Animal Wastes Applied Science** Publishers, London, 1977.
- WOLVERTON, B. C. and McDONALD, R. The water hyacinth from prolific pest to potencial provider. **Ambio**, v. 8, n. 1, p. 2-9, 1979.
- WOLVERTON, B. C. and McDONALD, R. Nutritional composition of water hyacinths grown on domestic sewage. **Economic Botany**. v. 32, n. 4 , p. 363-370, 1978.
- ZÀGOVÁ, Z. et al. Is it realistic to use water hyacinth for wastewater treatment and nutrient removal in Central Europe? **Wat. Sci. Tech.**, v. 30, n. 8, p. 303-311, 1994.