



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS BAGÉ
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE BIOMASSAS VEGETAIS COMO
PROCESSO ALTERNATIVO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE
GERADO NO BENEFICIAMENTO DE ARROZ PARBOILIZADO**

Trabalho de conclusão do curso

Autor: Paula Martins Feijó Miguelis

**Bagé
2012**

PAULA MARTINS FEIJÓ MIGUELIS

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE BIOMASSAS VEGETAIS COMO
PROCESSO ALTERNATIVO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE
GERADO NO BENEFICIAMENTO DE ARROZ PARBOILIZADO**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química, da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Químico.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Meth

**Bagé
2012**

PAULA MARTINS FEIJÓ MIGUELIS

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE BIOMASSAS VEGETAIS COMO
PROCESSO ALTERNATIVO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE
GERADO NO BENEFICIAMENTO DE ARROZ PARBOILIZADO**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química, da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Químico.

Trabalho de Diplomação defendido e aprovado em: 12 de janeiro de 2012.
Banca examinadora:

Prof. Dr. Sérgio Meth.
Orientador
Engenharia Química – UNIPAMPA

Prof^a. Dra. Luciana Machado Rodrigues
Engenharia Química – UNIPAMPA

Prof. Dr. Felipe Amorim Berutti
Engenharia Química – UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que é a mão formadora das coisas mais importantes que cruzaram em minha vida, concebendo sempre meus desejos e vontades, mesmo quando de forma oculta.

A uma pessoa que se transformou em luz e que ilumina meus pensamentos e meu caminho sempre que há dificuldades, me guiando na direção certa. Pessoa esta que guardo em meu coração com todo o amor do mundo, meu avô Nestor. Obrigada meu velho por sua dedicação em vida e pelo zelo, hoje, meu anjo da guarda... saudades. Amor eterno!

Aos meus pais Paulo Fernando e Maria Cenir, a minha avó Idenia e meu irmão Tiago, pessoas de fundamental importância em minha vida, não só por oportunizarem a conclusão de mais uma etapa, a graduação, mas sim, por serem minhas referências. Desculpa pela ausência e por muitas vezes deixar minhas fraquezas e minhas dúvidas chegarem a vocês de forma agressiva. Obrigada por estarem sempre presentes na minha vida de uma forma indispensável, mesmo com a distância física que enfrentamos estes anos, pelo apoio e o amor incondicional e por sempre acreditarem em mim, obrigada por estarem ao meu lado... AMO MUITO VOCÊS!

A minha irmã Ângela, meu cunhado Paulo Caruso e minha sobrinha Luiza pelo incentivo, apoio e por acreditarem em mim. Vocês transmitem paz, harmonia e amor. No momento em que tive vocês se fizeram presentes em minha vida senti que minha família agora sim estava completa.

Ao meu namorado Rodrigo, que compartilhou desta fase de meu trabalho sempre de maneira compreensiva e carinhosa, mesmo quando eu manifestava minhas preocupações com atos incoerentes, exaltando-me. Obrigada por tua compreensão, teu companheirismo e teu carinho, enfim, obrigada por tua presença na minha vida, pois ela tornou estes dias leves e muito felizes, dando sentido e razão para querer viver cada um deles intensamente, assim como é nosso sentimento... TE AMO!

A toda minha família pela preocupação, apoio e amor, compreendendo minha ausência com todo o carinho possível de transmitir quando mais precisamos, mesmo sem falar.

A tia Vera que com sua paciência sempre soube dizer a palavra certa no momento exato. Obrigada tia pelas manhãs, tardes, noites e mensagens de conversa e apoio sempre quando mais precisei. Minha mãe de coração, a senhora meu obrigada por fazer parte desta caminhada.

A meu colega de curso Isaac Nunes pelas conversas a respeito da proposta deste trabalho... muito obrigada pela ajuda.

A minha amiga e companheira de apartamento, Bruna, que durante diversas noites deixou seu sono de lado e me acompanhou, incondicionalmente, nestas jornadas de trabalhos no laboratório, sempre disposta a ajudar e nunca esperando nada em troca. Mas, mesmo não pedindo nada, te ofereço meu carinho e meu respeito eterno. CALMA O CORAÇÃO!

A todos os professores, meus exemplos de profissionais, do curso de Engenharia Química que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho, meu profundo e sincero carinho. Obrigada pelo ensino, paciência e dedicação.

Ao meu orientador, professor Sérgio Meth, por aceitar o desafio desta proposta de trabalho de diplomação.

A professora Luciana, pessoa que admiro muito pela sua disposição de sempre ajudar quando necessário, contribuindo muito para meu crescimento. Muito obrigada pelo conhecimento transmitido.

Ao professor Felipe, que embora nossas diferenças, sempre tive grande estima, ainda mais nestes últimos meses, pois, em nenhum momento me negou ajuda, recebendo a mim e minhas amostras no LACER. Agradeço também a sua esposa Anne pela recepção e por não medir esforços em realizar as análises solicitadas.

Ao professor Estevão, do curso de Engenharia de Alimentos, pelo qual tenho grande carinho. Sempre estive pronto para escutar e aliviar minhas dúvidas. Ao senhor meu mestre e amigo, meu respeito e meu carinho de filha muito obrigada pelo apoio e carinho que sempre tive do senhor.

A Aline, Paloma e Vanessa (está em ordem alfabética, não de preferência), pela ajuda, paciência e compreensão. Pelo conhecimento que absorvi no dia a dia com vocês. Obrigada pelo apoio... a vocês meu carinho mais do que especial.

A cerealista que cedeu o material necessário para a realização deste trabalho. A todos os funcionários que me auxiliaram durante este período, meu agradecimento.

Deixo aqui a todos meu carinho e meu MUITO OBRIGADA!

*“Ninguém ignora tudo.
Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa.
Todos nós ignoramos alguma coisa.
Por isso aprendemos sempre.”*
(Paulo Freire)

RESUMO

Com a preocupação da limitação dos recursos hídricos e a crescente poluição dos mesmos, as indústrias desenvolveram preocupações ambientais, seguido da conscientização do uso racional da água. O processamento do arroz parboilizado é uma prática industrial que também pode favorecer a geração de efluentes líquidos e resíduos em abundância. O beneficiamento do arroz parboilizado consome em média de quatro a cinco litros de água para cada quilo de arroz produzido, promovendo a produção de uma grande quantidade de efluente rico em nutrientes e matéria orgânica. O excedente de casca de arroz oriundo da etapa de descascamento e a cinza da casca de arroz que advém da queima desta casca para a geração de calor, às caldeiras e fornos, são os resíduos sólidos deste tipo de agroindústria. Estes resíduos são volumosos, de difícil armazenamento, e quando descartados de maneira inadequada, oferecem riscos ao meio ambiente. Diante da problemática apresentada, este trabalho visa investigar um uso a estes resíduos sólidos, existentes em abundância na região do Pampa, utilizando-os no tratamento do efluente líquido gerado no beneficiamento de arroz parboilizado. Os resíduos avaliados como material adsorvente foram a casca de arroz *in natura*, a casca de arroz submetida a um pré-tratamento com NaOH 0,5M e a cinza da casca queimada a diferentes temperaturas (250, 750 e 1.000°C). Foram avaliados os parâmetros de turbidez, pH, demanda bioquímica de oxigênio e condutividade elétrica no efluente bruto e tratado. A cinza da casca de arroz foi o material que apresentou uma melhor resposta quanto aos parâmetros de turbidez e demanda bioquímica de oxigênio. Não foi obtida uma melhora quanto à condutividade elétrica do efluente tratado. E o pH foi o único parâmetro, dentre os analisados neste trabalho, que ajustou-se ao valor indicado pela Resolução 357 do CONAMA, aqui utilizada como referencial, sendo considerado adequado para o descarte ao meio ambiente.

Palavras-chave: Tratamento de Efluente. Casca de Arroz. Cinza. Adsorção.

ABSTRACT

In the interests of the limited water resources and increasing pollution of the same, the industry developed environmental concerns, followed by the awareness of water conservation. The parboiled rice processing is an industry practice that can also promote the generation of wastewater and waste in abundance. The rice parboiling consumes an average of four to five liters of water for each pound of rice produced, promoting the production of a large amount of wastewater rich in nutrients and organic matter. The surplus rice hulls coming from the stripping stage and rice husk ash that comes from this shell burning to generate heat, boilers and furnaces, are the solid wastes of this type of agribusiness. These residues are bulky, difficult to store, and when disposed of improperly, pose risks to the environment. Given the issues presented, this paper aims to investigate a use of these solid wastes existing in abundance in the Pampa region, using them to treat wastewater generated in the processing of parboiled rice. The residues were evaluated as adsorbent material rice husk fresh, the rice husk subjected to pre-treatment with 0.5 M NaOH and husk ash sintered at different temperatures (250, 750 and 1000 ° C). We evaluated the parameters of turbidity, pH, biochemical oxygen demand and conductivity in the raw effluent and treated. The rice husk ash was the material that had a better answer as to the parameters of turbidity and biochemical oxygen demand. There was obtained an improvement on the electrical conductivity of the treated effluent. And the pH was the only parameter, among those analyzed in this work, which was adjusted to the value indicated by the CONAMA Resolution 357, which is used as a reference and is considered suitable for disposal to the environment.

Keywords: Effluent Treatment. Rice hulls. Gray. Adsorption

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Primeiras subespécies da <i>Oryza Sativa</i> – arroz – cultivadas	19
FIGURA 2 – Esquema da migração dos nutrientes da casca para o grão de arroz	20
FIGURA 3 – Etapas básicas do processamento industrial do arroz parboilizado: (1) encharcamento; (2 e 3) gelatinização do amido; (4) secagem.....	22
FIGURA 4 – Fluxograma representativo do processo de beneficiamento do arroz parboilizado	23
FIGURA 5 - Turbidímetro utilizado nas análises de caracterização do efluente líquido	40
FIGURA 6 – Ilustração do condutivímetro utilizado nas análises	41
FIGURA 7 – Parcela de CA submetida ao pré-tratamento com base antes de ser moída (esquerda) e parcela de CA <i>in natura</i> (direita)	42
FIGURA 8 – Amostras de CA sendo calcinada no bico de bunsen dentro da capela de exaustão	43
FIGURA 9 – Ilustração de todas as biomassas preparadas para serem utilizadas no tratamento do efluente	53
FIGURA 10 – Curvas comparativas entre a DBO ₅ do efluente bruto com a DBO ₅ do efluente tratado com a CA <i>in natura</i>	69
FIGURA 11 – Curvas comparativas entre a DBO ₅ do efluente bruto com a DBO ₅ do efluente tratado com a CA pré-tratada	70
FIGURA 12 – Curvas comparativas entre a DBO ₅ do efluente bruto com a DBO ₅ do efluente tratado com a CCA obtida na temperatura de 250°C.....	71
FIGURA 13 – Curvas comparativas entre a DBO ₅ do efluente bruto com a DBO ₅ do efluente tratado com a CCA obtida na temperatura de 750°C.....	72
FIGURA 14 - Curvas comparativas entre a DBO ₅ do efluente bruto com a DBO ₅ do efluente tratado com a CCA obtida na temperatura de 1.000°C.....	73
FIGURA 15 – Curvas do comportamento da DBO ₅ dos tratamentos do efluente com cada biomassa vegetal.....	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Valores médios de turbidez do efluente bruto e da água destilada.....	47
TABELA 2 – Valores da turbidez do efluente bruto e da água destilada em $[mg \cdot L^{-1}]$	47
TABELA 3 – Valores da condutividade do efluente bruto e da água destilada.....	48
TABELA 4 – Comportamento da concentração da DBO ₅ do efluente bruto durante os cinco dias	49
TABELA 5 – Resultados da análise granulométrica da CA <i>in natura</i>	50
TABELA 6 – Resultados da análise granulométrica da CA com pré-tratamento.....	51
TABELA 7 – Diâmetro médio das partículas das amostras das CCA a 250, 750 e 1.000°C obtidas no CILAS	51
TABELA 8 – Área superficial das partículas da biomassa em cada temperatura de queima ..	52
TABELA 9 – Caracterização da CCA quanto a composição.....	53
TABELA 10 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CA <i>in natura</i>	55
TABELA 11 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CA <i>in natura</i>	55
TABELA 12 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CA pré-tratada.....	56
TABELA 13 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CA pré-tratada	56
TABELA 14 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CCA – 250°C	57
TABELA 15 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CCA – 250°C	57
TABELA 16 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CCA – 750°C	59
TABELA 17 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CCA – 750°C	59
TABELA 18 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CCA – 1.000°C	60
TABELA 19 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CCA – 1.000°C.....	60

TABELA 20 – Tabela demonstrativa das melhores condições de ensaio para o tratamento do efluente	61
TABELA 21 – Resumo dos valores encontrados para os parâmetros analisados na caracterização do efluente que foi tratado com cada biomassa e também a caracterização do efluente bruto.....	62
TABELA 22 – Valores calculados para a eficiência (referente a redução de 80% e pela equação) de cada tratamento	64
TABELA 23 – Concentração da DBO do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CA <i>in natura</i>	69
TABELA 24 – Concentração da DBO ₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CA pré-tratada.....	70
TABELA 25 – Concentração da DBO ₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CCA obtida na temperatura de 250°C	71
TABELA 26 – Concentração da DBO ₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CCA obtida na temperatura de 750°C	72
TABELA 27 – Concentração da DBO ₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CCA obtida na temperatura de 1.000°C	73
TABELA 28 – Tabela 29Comportamento da DBO ₅ do efluente tratado com cada biomassa vegetal	74

SIMBOLOGIA

CA	Casca de Arroz	-
CCA	Cinza da Casca de Arroz	-
Ø	Diâmetro	-
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio para 5 dias de análise	<i>mgO₂. L⁻¹</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio	<i>mgO₂. L⁻¹</i>
DBO _{eflu}	Demanda Bioquímica de Oxigênio do Efluente Tratado	<i>mgO₂. L⁻¹</i>
DBO _e	Demanda Bioquímica de Oxigênio do Efluente Bruto	<i>mgO₂. L⁻¹</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio	<i>mgO₂. L⁻¹</i>
OD	Oxigênio Dissolvido	<i>mgO₂. L⁻¹</i>
BOD	Incubadora para a análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio	-
ATH	Desnitrificante	-
pH	Potencial Hidrogeniônico	-
IRRI	Instituto Internacional de Pesquisa em Arroz	-
IRGA	Instituto Rio Grandense de Arroz	-
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	-
EUA	Estados Unidos da América	-
ABIAP	Associação Brasileira de Indústrias de Arroz Parboilizado	-
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	-
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes	-
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	-
E	Eficiência	-

NBR	Normas Brasileiras	-
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo	
NTU	Nephelometric Turbidity Unit	NTU
UNT	Unidade Nefolometrica de Turbidez	NTU
ETA	Estação de Tratamento de Água	-
BET	Brunauer, Emmett e Teller	-
a	Volume gasto de sulfato ferroso amoniacal na titulação do branco (DQO)	$mgO_2 \cdot L^{-1}$
b	Volume gasto de sulfato ferroso amoniacal na titulação da amostra (DQO)	$mgO_2 \cdot L^{-1}$
c	Normalidade da solução de sulfato ferroso amoniacal	$mgO_2 \cdot L^{-1}$
NaOH	Hidróxido de Sódio	-
M	Molaridade	-
O ₂	Oxigênio molecular	-
LACER	Laboratorio de Materiais Cerâmicos	-
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa	-

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	O Arroz	18
3.1.1	Arroz Parboilizado.....	20
3.1.2	Produção Brasileira de Arroz Parboilizado.....	24
3.2	Efluentes Líquidos Industriais	25
3.2.1	A Água.....	25
3.2.2	Efluente Líquido Gerado pela Parboilização.....	26
3.3	Tratamento de Efluentes Líquidos	26
3.3.1	Oxigênio Dissolvido – OD	27
3.3.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	27
3.4	Tipos de Tratamento de Efluentes Líquidos.....	30
3.4.1	Tratamento Biológico	30
3.4.2	Tratamento Físico-Químico.....	31
3.4.3	Tratamento por Adsorção	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Materiais	35
4.1.2	Biomassas Vegetais	35
4.1.3	Caracterização do Efluente Bruto.....	35
4.1.4	Preparação das Biomassas Vegetais.....	36
4.1.5	Caracterização das Biomassas.....	36
4.1.6	Tratamento do Efluente.....	37
4.1.7	Caracterização do Efluente Tratado.....	38
4.2	Métodos.....	39
4.2.1	Coleta e Caracterização do Efluente Bruto	39
4.2.2	Coleta e Preparação das Biomassas Vegetais	41
4.2.3	Caracterização das Biomassas Vegetais.....	43
4.2.4	Tratamento do Efluente Líquido.....	45
4.2.5	Caracterização do Efluente Tratado	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	Caracterização do efluente bruto.....	47
5.2	Caracterização das biomassas vegetais.....	50

5.3	Tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com as biomassas vegetais.....	54
5.3.1	Ensaio de dosagem de massa e tempo de contato das biomassas vegetais.....	54
5.3.2	Caracterização do efluente tratado	62
6	CONCLUSÃO	66
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	68
	APÊNDICES	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

O arroz é uma das mais antigas e populares plantas do mundo. Há mais de cinco mil anos é cultivado na região da Ásia, sendo até os dias atuais um dos principais pilares culturais e econômicos deste povo. Devido a sua versatilidade e capacidade nutritiva, os benefícios que este alimento fornece são altamente reconhecidos.

A ciência do arroz vem atingindo grandes avanços ao longo do tempo, principalmente nas últimas décadas, onde uma crescente demanda por esse produto pode ser percebida, especialmente após a Revolução Verde ocorrida nos anos 70. Esta evolução fez com que mais variedades de arroz e maior tecnologia de produção e tratamento surgissem.

Uma das variedades existentes é o arroz parboilizado. Este tipo de cereal representa um meio termo entre o arroz polido e o arroz integral, apresentando um valor nutricional mais elevado que os demais tipos. A justificativa para esta diferença está nas etapas básicas que caracterizam o processamento industrial do arroz: encharcamento, gelatinização do amido e secagem.

O processo de parboilização gera muitos impactos ambientais, principalmente na etapa de encharcamento que, pode ser causado pela elevada temperatura de saída da água e/ou pela concentração de DBO_5 e turbidez quando não devidamente tratados, ocasionando a deposição destes materiais nos leitos de rios e solos, prejudicando as formas de vida ali existentes.

O presente trabalho realizado, utilizando rejeitos agroindustriais de uma cerealista do município de Bagé, tem a finalidade de propor um tratamento alternativo a partir de diferentes preparos para a casca do arroz (CA) no tratamento do efluente gerado na parboilização do arroz.

Também foi analisada a adequação do efluente tratado aos níveis de atendimento da Legislação vigente, pois, segundo Amato *et al.* (2002), este é um assunto praticamente equacionado na indústria nacional, seja pela crescente consciência empresarial, seja pela atividade política dos órgãos responsáveis pela preservação do ambiente.

A CA é considerada um dos resíduos sólidos volumosos do processo de beneficiamento do arroz. Sabe-se que destinos alternativos são dados a esse rejeito. A mistura da CA em ração de animais; a queima desse subproduto para a geração de energia são alguns dos destinos conhecidos. Por fim, esta última solução também gera outro resíduo, as cinzas da casca de arroz (CCA) são utilizadas na construção civil como aditivo para a formulação de cimento.

Macêdo (2001) afirma que o grande problema está na forma inadequada da disposição dos resíduos sólidos e líquidos. Sendo assim, o não tratamento dos resíduos lançados nos corpos hídricos e no solo é um fator importante que agrega um consumo excessivo de água por parte desta atividade.

Embora haja mercados que absorvam o excedente destes resíduos agroindustriais, ainda há um excedente não utilizado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi tratar o efluente líquido que é gerado no beneficiamento do arroz parboilizado por uma cerealista localizada no município de Bagé/RS, empregando a mesma biomassa vegetal em diferentes condições de preparo. Esta biomassa também é de origem agroindustrial – a casca de arroz (CA) que será aplicada ao tratamento do efluente após seu preparo como: CA *in natura*, CA pré-tratada e a CCA obtida nas temperaturas de 250, 750 e 1.000°C.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- i. Caracterização do efluente bruto;
- ii. Caracterização das biomassas vegetais;
- iii. Tratamento do efluente bruto com as biomassas vegetais;
- iv. Caracterização do efluente tratado com as biomassas vegetais;
- v. Comparação entre o desempenho de cada biomassa vegetal no tratamento;
- vi. Avaliação da viabilidade quanto ao emprego destas biomassas vegetais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Arroz

“... Nenhuma outra atividade econômica alimenta tantas pessoas, sustenta tantas famílias, é tão crucial para o desenvolvimento de tantas nações e apresenta mais impacto sobre o nosso meio ambiente.

A produção de arroz alimenta quase a metade do planeta todos os dias fornecem a maior parte da renda principal para milhões de habitações rurais pobres, pode derrubar governos e cobre 11% da terra arável do planeta.”

(Ronald Cantrell, 2002).

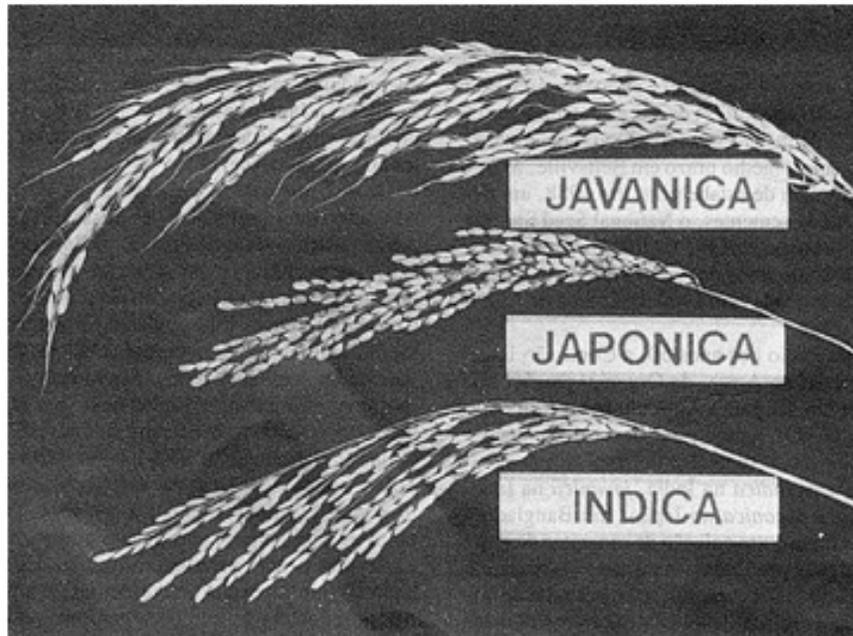
O trecho, acima referenciado, divulgado pela Embrapa Meio Ambiente (2011), onde o diretor-geral do Instituto Internacional de Pesquisa em Arroz (IRRI), Ronald Cantrell, define a importância da produção do arroz em nível mundial.

O arroz, proveniente do gênero *Oryza* (palavra derivada do tAMIL), demoninação dada pelos gregos e romanos, é um dos mais importantes grãos em termos de valor econômico e nutricional.

A *Oryza Sativa*, inicialmente, apresentava-se mais comumente em três subespécies:

- i. *Oryza Sativa indica* – compreendia as variedades tropicais e subtropicais da Índia e da China;
- ii. *Oryza Sativa japonica* – correspondia as variedades de grão curto e redondo do Japão;
- iii. *Oryza Sativa javanica* – correspondia as variedades com barba cultivadas na Indonésia.

As características descritas para cada subespécie podem ser observadas na FIGURA 1.



Fonte: <http://www.almanaquedoarroz.com.br> – acessado em 29/05/2011
FIGURA 1- Primeiras subespécies da *Oryza Sativa* – arroz – cultivadas

Atualmente, existem cerca de 8.000 variedades de arroz. É considerado o cultivo alimentar de maior importância em muitos países em desenvolvimento, desempenhando papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social. O Brasil é um dos dez principais produtores mundiais, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor (IRGA, 2011).

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o arroz é um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína necessária ao homem, e sendo uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, é considerada a espécie que apresenta maior potencial para o combate a fome no mundo.

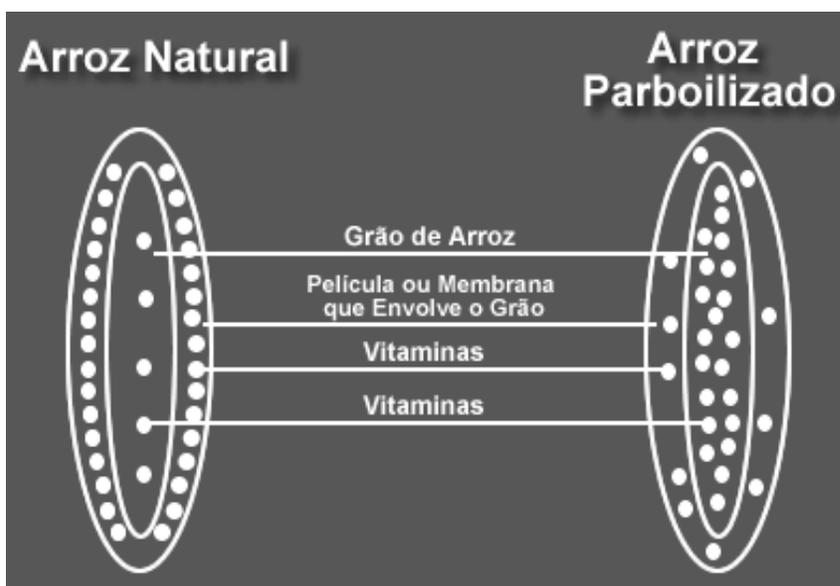
Apesar da versatilidade de preparação, no Brasil, o consumo de arroz é feito, predominantemente, na forma de grãos inteiros de três tipos do produto: arroz branco polido, arroz parboilizado e arroz integral. O arroz parboilizado pode ser consumido polido, mais comum, ou na forma integral (DE CASTRO *et al.*, 1999).

3.1.1 Arroz Parboilizado

No processo de parboilização, palavra esta derivada do inglês *parboiled*, aglutinação de *partial* com *boiled*, que pode ser expressa como cozimento/fervura parcial, e remete a características de seu processamento.

O arroz com casca, submetido a tratamento hidrotérmico antes das etapas de descascamento e polimento. O cereal tem quatro camadas principais: casca, película, endosperma e germe. A película é a camada localizada imediatamente abaixo da casca, e que detém a maior concentração de proteínas, minerais e vitaminas do complexo B. A cor do arroz integral é conferida pela presença da película.

Na produção do arroz parboilizado, a ação da água sobre os componentes solúveis do grão (vitaminas hidrossolúveis e sais minerais) provoca sua migração da camada externa, onde estão mais concentrados, para o interior do grão, deixando-o mais rico do ponto de vista nutricional. Uma vez transferidos para o interior do grão, como ilustrado na FIGURA 2, os nutrientes são aí fixados através da gelatinização do amido, pelo calor. Por isso a denominação de processo hidrotérmico.



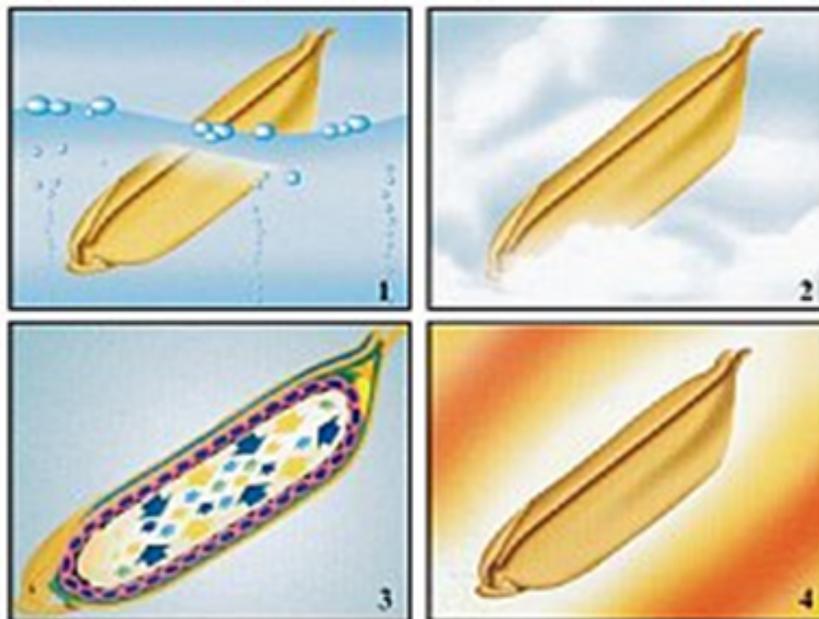
Fonte: <http://arrozsolzinho.com.br/parboilizacao.htm>

FIGURA 2 – Esquema da migração dos nutrientes da casca para o grão de arroz

O processo de umedecer e secar o arroz começou a ser empregado há centenas de anos, em povoados da Ásia e da África. A sua descoberta provavelmente foi por acaso, com o grão sendo mergulhado acidentalmente em água ao ser depositado em potes de barro. Na tentativa de ainda aproveitá-los, esses grãos teriam sido postos para secar ao sol. O procedimento passou a ser repetido de forma intencional, depois de observado que facilitava o descascamento no pilão. A primeira empresa de arroz a utilizar tecnologia de parboilização do grão estabeleceu-se nos EUA, na década de 1940. No Brasil, esta tecnologia foi introduzida na década de 1950 (ABIAP, 2006).

A FIGURA 3 apresenta uma ilustração das etapas do processamento de parboilização. Três etapas básicas caracterizam o processamento industrial do arroz que será denominado parboilizado (AMATO *et al.*, 2002):

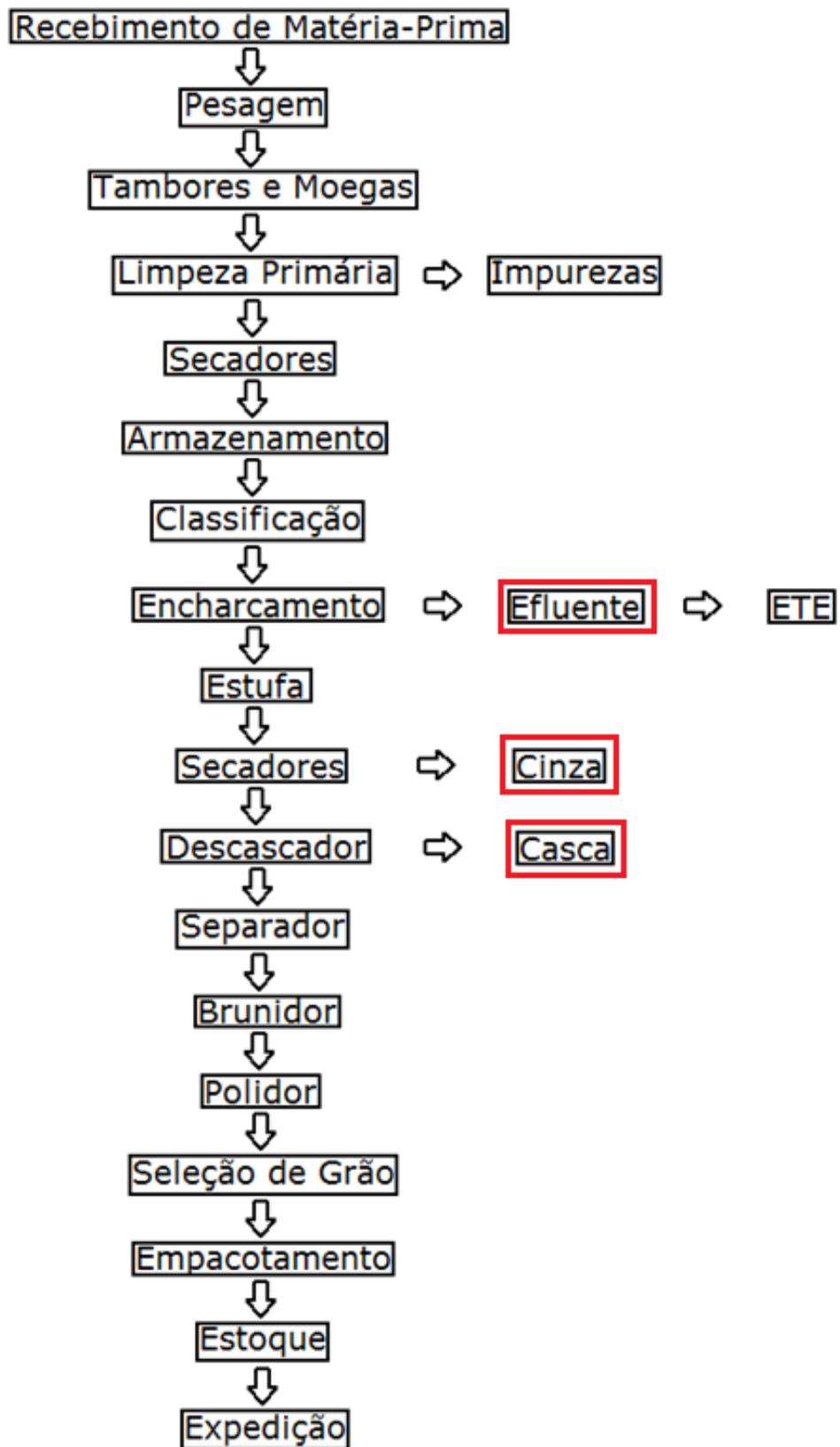
- i. Encharcamento – o arroz com casca, previamente selecionado e lavado é colocado em tanques com água quente, na faixa de 60°C a 70°C, por algumas horas. Os nutrientes presentes na película e no germe se solubilizam em direção ao interior. Essa etapa também tem o objetivo de proporcionar um teor de umidade adequado no centro do grão, preparando-o para a etapa seguinte (1).
- ii. Gelatinização do amido: o arroz úmido é submetido a uma temperatura mais elevada, em contato com vapor e sob pressão, provocando modificação na estrutura do amido. Ao final da etapa, o grão fica mais compacto e as vitaminas e sais minerais são fixados em seu interior (2 e 3).
- iii. Secagem: etapa que reduz a umidade dos grãos a valores seguros, garantindo uma boa conservação do produto final. Em seguida, os grãos ainda serão descascados, polidos e novamente selecionados, antes de serem embalados e distribuídos ao comércio (4).



Fonte: <http://www.almanaquedoarroz.com.br> – acessado em 29/05/2011

FIGURA 3 – Etapas básicas do processamento industrial do arroz parboilizado: (1) encharcamento; (2 e 3) gelatinização do amido; (4) secagem

A FIGURA 4 apresenta o fluxograma do processo de beneficiamento do arroz parboilizado, destacando a etapa em que o processo necessita de maior quantidade de água e, também, o ponto em que há a maior geração de efluente líquido.



Fonte: Adaptado DELLA, 2006

FIGURA 4 – Fluxograma representativo do processo de beneficiamento do arroz parboilizado

3.1.2 Produção Brasileira de Arroz Parboilizado

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado, a produção brasileira de arroz está na casa dos 11,5 milhões de toneladas, deixando o Brasil como sétimo maior produtor na classificação mundial. O Rio Grande do Sul é um importante pólo de produção de arroz e ocupa uma posição de destaque como principal centro de beneficiamento deste cereal e de seus subprodutos (ABIAP, 2006).

Dados do Anuário Brasileiro do Arroz (2011) apontam o estado do Rio Grande do Sul como sendo o mais importante pólo beneficiador de arroz do mundo e na safra de 2010/11 foi responsável por mais de 65% da produção nacional deste grão, assegurando o abastecimento doméstico e ainda garantindo o excedente exportável.

A cidade de Pelotas responde por grande parcela desta produção nacional, contribuindo para a posição de destaque que o Rio Grande do Sul e em especial a região sul ostentam no cenário nacional (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ARROZ, 2011).

No Brasil, aproximadamente um quarto do total de arroz produzido é parboilizado. Porém, a estranheza provocada pelo nome e pelo aspecto, leva muitos consumidores a ter certo receio de experimentar esse produto, e de se beneficiar de suas propriedades nutricionais.

Principalmente para esta prática de cultivo se faz necessário uma grande disponibilidade de água, característica disponível em algumas regiões do território brasileiro, mas, escassa em outras. Esta água, por sua vez, deixa o processo rico em matéria orgânica e nutrientes, sendo obrigatória a aplicação de tratamento, com a finalidade de reduzir ou eliminar riscos e impactos que podem ocorrer no meio ambiente.

3.2 Efluentes Líquidos Industriais

3.2.1 A Água

O efluente líquido industrial é gerado, muitas vezes, a partir do uso de água potável em um processo industrial. Para isso, enormes quantidades de água são consumidas por dia. A superfície da Terra é recoberta por 71% de água distribuída em oceanos, rios, lagos, lençóis e geleiras, mas, apenas 2,5% desse total é água doce. Desta quantidade, a maior parte já foi usada, apropriada e finalmente degradada (VILLIERS, 2000).

O uso não discriminado desses recursos hídricos gera enormes problemas para o meio ambiente devido à sua escassez, fato este que pode ser confirmado com o avanço de estudos para conseguir uma dessalinização satisfatória. Este é apenas um dos indícios, pois, o descontrole do uso da água, bem como, a poluição que atinge os leitos hídricos, são fatos comumente observados em ambientes industriais.

De acordo com Pereira (2000) *apud* Miguel *et al.* (2002), a grande diversidade das atividades industriais ocasiona durante o processo produtivo a geração de resíduos líquidos, os quais podem poluir/contaminar o solo e água, sendo preciso observar que nem todas as indústrias geram resíduos impactantes no ambiente. Todavia, as diferentes composições físicas, químicas e biológicas, as variações de volumes gerados em relação ao tempo de duração do processo produtivo, a potencialidade de toxicidade e os diversos pontos de geração na mesma unidade de processamento recomendam que os mesmos sejam caracterizados, quantificados e tratados adequadamente antes da disposição final no meio ambiente, de acordo com a Resolução nº 357 de 17/03/2005 do CONAMA.

Ainda, segundo Pereira (2000) *apud* Miguel (2002), por muito tempo não existiu a preocupação de caracterizar a geração de efluentes líquidos industriais e de avaliar seus impactos no meio ambiente. No entanto, a legislação vigente e a conscientização ambiental fazem com que algumas indústrias desenvolvam atividades para quantificar a vazão e determinar a composição dos resíduos líquidos industriais.

As características físicas, químicas e biológicas do efluente líquido industrial são variáveis com o tipo de indústria da qual este efluente está sendo analisado, com o período de operação, com a matéria-prima utilizada.

3.2.2 Efluente Líquido Gerado pela Parboilização

O processo industrial do arroz consome grande volume de água, a qual depois de utilizada transforma-se em efluente com importantes alterações físico-químicas e, difícil de monitorar. A geração deste efluente se dá em volumes elevados e, além do volume, há outros complicadores no seu tratamento.

Logo, fica evidente que diversas são as variáveis que influenciam no meio ambiente que são geradas por este efluente líquido, e uma delas é a temperatura no qual o efluente chega para o tratamento, em torno de 60°C (AMATO, 2002). Em algumas empresas a temperatura da água sai um pouco mais baixa, dependendo de como este efluente é conduzido até a ETE.

As condições desse efluente fazem com que se tenha a necessidade de um sistema de tratamento eficaz, mas que em muitos casos torna-se economicamente inviável, dificultando a implantação do mesmo pela empresa.

3.3 Tratamento de Efluentes Líquidos

As metodologias adotadas para tratamento estão diretamente ligadas ao efluente gerado, ao sistema operacional utilizado e às características da água envolvida em todo o processo industrial (FREIRE *et al.*, 2000 *apud* BELISÁRIO *et al.*, 2009).

O objetivo do tratamento de efluentes consiste na remoção da poluição presente (inorgânica ou orgânica) pelo uso de processos químicos, físicos e biológicos para posterior lançamento nos corpos receptores.

Alguns parâmetros para avaliação da qualidade e para o controle de carga poluidora são especificados na Resolução nº 357, e caracterizados pelo Ministério do Meio Ambiente (disponível em <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/zoneamen/anexo2.pdf>), transcrito a seguir:

3.3.1 Oxigênio Dissolvido – OD

Representa a quantidade de oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água. Expresso, geralmente, em $[mgO_2.L^{-1}]$. Provém naturalmente de processos de dissolução/aeração das águas e como produto da reação de fotossíntese; varia em função da temperatura e salinidade da água e da pressão atmosférica; reduções significativas nos teores de OD podem ser provocadas por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) e/ou com elevada temperatura, que pode diminuir a solubilidade do oxigênio na água.

3.3.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

Parâmetro mais usual de indicação da poluição por matéria orgânica. A determinação envolve a medida do oxigênio dissolvido utilizado pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica. A DBO é empregada na determinação da quantidade aproximada de oxigênio que será necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica presente na água. Ocorre naturalmente nas águas em nível reduzido em função da degradação de matéria orgânica (folhas, animais mortos, fezes de animais).

O cálculo da eficiência do tratamento aplicado para a redução desse parâmetro é obtido com a Equação 1 (adaptado VON SPERLING, 2005):

$$DBO_{eflu} = \left(1 - \frac{E}{100}\right) \cdot DBO_e \quad (1)$$

Onde:

DBO_{efl} = DBO_5 do esgoto efluente do tratamento $[mgO_2.L^{-1}]$

DBO_e = DBO_5 do efluente bruto $[mgO_2.L^{-1}]$

E = eficiência do tratamento na remoção da DBO_5 [%]

Aumentos de DBO são provocados por efluentes de origem predominantemente orgânica. Altos índices podem gerar a diminuição e até a eliminação do oxigênio presente nas águas. Nessas condições, os processos aeróbicos de degradação orgânica podem ser

substituídos pelos anaeróbicos, gerando alterações substanciais no ecossistema, inclusive extinção das formas de vida aeróbicas.

3.3.3 Demanda Química de Oxigênio – DQO

Representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. É um parâmetro utilizado no monitoramento de sistemas de tratamento de efluentes e na caracterização de efluentes industriais. A DQO está relacionada com a matéria orgânica total – não biodegradável e biodegradável. O teste de DQO é importante na medida da matéria orgânica em despejos que contenham substâncias tóxicas à vida, inclusive as bactérias e outros microorganismos que oxidam a matéria orgânica biodegradável.

Aumentos de DQO decorrem principalmente de despejos de origem industrial. O teste é valioso na medida de matéria orgânica em efluentes que contenham substâncias tóxicas. Neste caso, valores de DBO baixos são encontrados mesmo na presença de grande quantidade de matéria orgânica, pois as substâncias tóxicas levam à morte os microorganismos que catalisam a decomposição aeróbica da matéria orgânica.

A DQO em um efluente industrial, em geral, é mais alta que a DBO, em virtude da maior facilidade com que grande número de compostos pode ser oxidado por via química em vez da via biológica. Esses compostos que são oxidados apenas por via química são os chamados não biodegradáveis.

Existem três métodos utilizados para se determinar o índice de DQO: método de refluxo aberto; método de refluxo fechado titulométrico e método do refluxo fechado colorimétrico. A descrição da execução dos ensaios segue a normativa NBR 10357: Águas – Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) – Métodos de refluxo aberto, refluxo fechado – Titulométrico e refluxo fechado – Colorimétrico. Dentre os três métodos expostos, o de refluxo aberto é o mais indicado, inclusive publicado pela CETESB.

Esta metodologia consiste basicamente no preparo de uma solução com o efluente em que se deseja analisar a DQO e uma amostra em branco, adicionando uma solução ácida de dicromato, que é um oxidante forte, colocando o frasco com a mistura em um bloco digestor

com aquecimento e com refluxo aberto, titulando, posteriormente, com uma solução de sulfato ferroso o qual terá sua normalidade calculada pela Equação 2:

$$\text{Normalidade da solução} = c = \frac{10 \times 0,25}{\text{ml gasto na titulação}} \quad (2)$$

Para a o cálculo do índice da DQO para 20 ml de amostra é empregada a Equação 3:

$$DQO [mgO_2.l^{-1}] = (a - b) \times c \times 400 \quad (3)$$

Onde:

$a = \text{ml de } Fe(NH_4)(SO_4)_2 \text{ gastos com o branco}$

$b = \text{ml de } Fe(NH_4)(SO_4)_2 \text{ gastos com a amostra}$

$c = \text{normalidade da solução } Fe(NH_4)(SO_4)_2$

Em certas situações a DQO não pode ser considerada um parâmetro, pois, o uso da solução ácida oxida substâncias que consumiriam oxigênio muito lentamente em águas naturais, e que, portanto, não constituem uma ameaça real para seu conteúdo de oxigênio.

Logo, o tratamento do efluente líquido industrial dependerá da sua origem e da carga poluidora contida no mesmo.

3.3.4 Turbidez

A turbidez é uma característica física da água que se caracteriza pela presença de sólidos em suspensão, finamente divididos ou em estado coloidal, e de organismos microscópicos. O grau de turbidez é determinado pelo tamanho das partículas em suspensão. A presença destas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, deixando a água com aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa.

Através da técnica de Nefelometria mede-se a quantidade de material suspenso. O equipamento mais utilizado para medir a turbidez são os nefelômetros que é constituído basicamente por fonte luminosa, cuba de amostra e fotodetector, instalado em ângulo de 45 ou

90° em relação à fonte de luz. A unidade comumente utilizada é Unidades Nefelométricas de Turbidez - UNT (ou Nephelometric Turbidity Unit – [NTU] em Inglês).

Atualmente não se utiliza a unidade de turbidez em $[mg.l^{-1}]$, como uma relação entre a turbidez e o peso da matéria em suspensão, pois, quanto mais subdividida uma quantidade de determinada substância maior será a turbidez, mas esta relação pode ser realizada.

Uma metodologia comprovada por Tomazoni *et al.* (2005) propõe um processo simples e rápido para efetivar esta transformação, representada pela Equação 3:

$$Turbidez\ em\ [mg.l^{-1}] = NTU \times 0,6937 \quad (4)$$

O produto da turbidez em [NTU] multiplicada pelo fator de conversão será a concentração de material particulado suspenso em $[mg.l^{-1}]$. Portanto, esse é um método preciso e que dispensa tanto o transporte de amostras quanto as rotinas de laboratório para determinação desse parâmetro, que pode ser determinado em campo (TOMAZONI *et al.*, 2005).

3.4 Tipos de Tratamento de Efluentes Líquidos

3.4.1 Tratamento Biológico

Para Braile e Cavalcanti (1979) *apud* Della (2006), os processos biológicos dividem-se em dois tipos: aeróbico e anaeróbico. Os processos aeróbicos são realizados por bactérias de origem aeróbica, onde os microorganismos, mediante processos oxidativos, degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como fonte de energia. O tratamento biológico pode ser realizado por processos de lodo ativado, filtro biológico e lagoas de estabilização aeróbia.

Ainda de acordo com os autores, dentre os processos aeróbios, o processo de lodo ativado é um dos mais aplicados e também, o de maior eficiência. O termo lodo ativado designa a massa microbiana floculenta que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos à aeração.

As lagoas de estabilização aeróbias incluem lagoas aeradas, lagoas de estabilização fotossintéticas e lagoas aeradas mecanicamente. O processo de aeração mecânica tem o objetivo de fornecer oxigênio às bactérias. Nas lagoas fotossintéticas aeróbias o fornecimento de oxigênio é oriundo da aeração natural e pelo processo de fotossíntese realizado pelas algas (BRAILE e CAVALCANTI, 1979 *apud* DELLA, 2006).

Estes tipos de tratamento biológicos aeróbicos são aplicados geralmente a efluentes de ETE's de indústria têxtil e celulose, dentre outras.

Já os processos anaeróbios são realizados estritamente sem a presença de oxigênio molecular. Os microorganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica dividem-se em dois grupos: o primeiro grupo realiza a hidrolização e fermentação de compostos orgânicos complexos, transformando-os em ácido orgânico simples; o segundo grupo faz a transformação do ácido orgânico simples em gás metano e gás carbônico (BRAILE e CAVALCANTI, 1979 *apud* DELLA, 2006).

O tratamento anaeróbio é geralmente apropriado para tratamento de efluentes contendo altas concentrações de substâncias orgânicas.

3.4.2 Tratamento Físico-Químico

Segundo Nunes (1996), o tratamento físico-químico destaca-se em relação ao tratamento biológico devido a menor área ocupada e o menor tempo de tratamento, pois, o mesmo tem como sequência de tratamento a sedimentação, decantação, filtração e/ou floculação, etapas estas que são melhoradas e aceleradas com a adição de coagulantes e floculantes que geralmente são nocivos à natureza.

As etapas do tratamento de águas residuárias industriais são semelhantes ao tratamento aplicado nas estações de tratamento de água ETA, onde as impurezas em estado coloidal são transformadas em flocos com a adição de produtos químicos para posteriormente serem removidos em decantadores (NUNES, 1996). Ainda este tratamento pode ser aplicado em efluentes oriundos de cromagens, pinturas, zincagens, entre outros existentes.

3.4.3 Tratamento por Adsorção

De acordo com Foust *et al.* (1982), a adsorção envolve a transferência de um constituinte de um fluido para a superfície de uma fase sólida. Para completar a separação, o constituinte adsorvido deve então ser removido do sólido.

Conforme Atkins (2006), o processo de adsorção ocorre quando há a ligação de partículas a uma superfície. Sendo assim, um fator importante para uma adsorção satisfatória é a escolha do adsorvente. A capacidade de adsorção depende do tipo e tamanho dos poros, bem como da sua distribuição, e da natureza da superfície do adsorvente. Logo, grande área superficial e estrutura porosa são características principais do adsorvente. A adsorção pode ocorrer de duas maneiras: adsorção química e adsorção física.

A adsorção física, também chamada de fisissorção, ocorre principalmente por forças de van der Waals, através de interação dipolo-dipolo e forças de polarização, envolvendo dipolo induzido, são de longo alcance, porém fracas e a energia liberada na adsorção é aproximadamente a mesma da entalpia de condensação. Esta energia pode ser absorvida com vibrações da rede do adsorvente (vibrações do retículo) e, dissipadas com movimento térmico. A molécula em deslocamento sobre a superfície perde gradualmente energia e termina por ser adsorvida. Este processo é chamado de acomodação. O equilíbrio é atingido rapidamente, na adsorção física, sendo o princípio da maioria dos processos de purificação. É um fenômeno reversível onde se observa a deposição de mais de uma camada de adsorbato sobre a superfície do adsorvente (ATKINS, 2006).

Já na adsorção química, ou quimissorção, a união dos átomos ou moléculas na superfície do adsorvente se dá por ligações químicas covalentes. A efetiva troca de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida ocasiona a formação de uma única camada sobre a superfície sólida, caracterizando a irreversibilidade do processo. A liberação de energia é considerável, na ordem de uma reação química, sendo muito maior que na adsorção física a dessorção decorre de uma energia de ativação para o processo. A distância é menor entre a superfície e o átomo adsorvido mais próximo (adsorbato).

Descoloração de materiais alimentares, como óleos vegetais e concentrados açucarados, a secagem de gasolina e a purificação de rejeitos líquidos para o controle da poluição das águas, são algumas das aplicações dos métodos de adsorção exploradas por Foust *et al.* (1982) *apud* Moreira (2011).

- Emprego de biomassas vegetais em tratamento de efluentes

O emprego de biomassas vegetais em tratamento de efluentes tem apresentado resultados satisfatórios, fazendo com que, estudos sobre as diversas aplicabilidades para diferentes casos sejam desenvolvidos, de acordo com as características atribuídas ao material, como por exemplo, a morfologia e a área superficial. No caso de derivados de resíduos agroindustriais, torna-se ainda mais relevante, devido ao grande volume ocupado por estes rejeitos gerando um problema ambiental. Um exemplo é a CA que tem se destacado como potencial biomassa na remoção de muitas espécies metálicas (MIMURA *et al.*, 2010).

Conforme Pinheiro e Gaidzinski (2009), estudos revelaram que materiais lignocelulósicos, como alguns subprodutos da agricultura, têm se mostrado como bons adsorventes naturais para a redução da concentração de metais dissolvidos em águas superficiais. Devido ao seu baixo custo, estes materiais podem ser utilizados como alternativa ou complemento aos métodos de tratamento de efluentes mais comumente utilizados.

Ainda de acordo com os mesmos autores, a retenção de íons metálicos em materiais como bagaço de uva e cascas de soja, maçã, amendoim e arroz ocorre por meio de um processo de troca catiônica nestes resíduos. Tal processo forma sítios ativos, que podem ser atribuídos à presença de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos, os quais existem tanto na matriz celulósica ou nos materiais associados com a celulose, como por exemplo, hemicelulose e lignina.

As características de cada adsorvente dependem das suas propriedades físicas e químicas. As características adsorventes da CA são dadas pela presença de sílica, celulose, hemi-celulose e lignina neste material (TARLEY *et al.*, 2004; TARLEY e ARRUDA, 2004).

Como resíduo da combustão direta, ao ser utilizado na geração de energia, a cinza da casca de arroz torna-se um subproduto que ameaça a preservação ambiental quando disposta de forma inadequada. Se for utilizada para alguns fins comerciais, esta matéria-prima proveniente da lavoura reduziria, expressivamente, sua disposição no ambiente e, conseqüentemente, seu potencial risco de poluição.

A CA e a CCA podem apresentar diferentes tipos de composição quanto aos elementos orgânicos e inorgânicos presentes; que podem ser resultado de condições culturais, fatores geográficos, ano da colheita, preparação da amostra e métodos de análise. Mesmo assim apresentam bom desempenho quando aplicadas a processos como biossorvente (HUSTON, 1972 *apud* FERREIRA, 2005).

Para Holffmann *et al.* (2002) *apud* Ferreira (2005), como a CCA contém grande teor de sílica, isto a torna um resíduo valorizado. Mas, só terá alto valor econômico se tiver alta qualidade, que é mensurada pela alta área superficial específica, tamanho e pureza de partícula. A partir desta justificativa, isso seria um grande desperdício de matéria-prima nobre, já que pode ser usada em vários ramos industriais, sendo uma delas como biomassa vegetal para emprego como bioissorvente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Nesta seção são listados os materiais utilizados durante o desenvolvimento da prática, na forma de tópicos, identificando assim, a área em que foram empregados.

4.1.1 Efluente

Para o desenvolvimento desse trabalho utilizou-se amostras do efluente líquido gerado no beneficiamento do arroz parboilizado. As amostras foram cedidas por uma Empresa Cerealista da região do Pampa.

4.1.2 Biomassas Vegetais

As biomassas vegetais empregadas neste tratamento do efluente gerado no processo de parboilização do arroz são resíduos sólidos agroindustriais:

- Casca do arroz (CA) e;
- Cinza da casca do arroz (CCA).

As amostras foram cedidas pela mesma Cerealista.

4.1.3 Caracterização do Efluente Bruto

Para as análises de caracterização realizadas no efluente bruto, foram empregados os seguintes equipamentos:

- Incubadora BOD Oxylab – OXY - 101;
- Bloco Digestor DQO – Modelo Q326M;
- Fitas indicadoras de pH (Macherey-Nagel pH-Fix-0-14) ;
- Condutivímetro Hanna HI 9835 e;
- Turbidímetro Del Lab – Modelo DLT-WV.

4.1.4 Preparação das Biomassas Vegetais

Dos materiais adsorventes empregados, somente a CA pré-tratada necessitou de um preparo prévio. Para este tratamento foram necessários os seguintes materiais:

- Água destilada;
- Solução de NaOH 0,5M;
- Estufa com circulação de ar (Nova Ética – Modelo 400ND);
- Agitador magnético microprocessado com aquecimento (Quimis);
- Moinho de facas (Marconi – Modelo MA580) e;
- Vidrarias em geral.

Para a obtenção das CCA foram utilizados:

- Forno mufla TC 4S-14R Autonics;
- Capela de exaustão de gases;
- Cadinhos de porcelana;
- Pinça e;
- Luvas.

4.1.5 Caracterização das Biomassas

Para a caracterização da CA *in natura* e da CA pré-tratada foi utilizado o equipamento abaixo citado:

- Agitador de peneiras eletromagnético (Bertel).

Para as CCA, devido a presença basicamente de fino, a análise granulométrica foi obtida com o seguinte equipamento:

- Analisador de partículas a laser (CILAS Particle Size Analyzer 1190).

Sendo que as análises de área superficial e composição química foram realizadas nas CCA com os equipamentos abaixo mencionados, respectivamente:

- Analisador de partículas pelo método BET (Brunauer, Emmett e Teller);
- Fluorescência de Raios X e;

4.1.6 Tratamento do Efluente

Para esta etapa do tratamento do efluente foram requeridos os seguintes equipamentos:

- Agitação mecânica por pás giratórias (IKA RW 20 digital);
- Sistema de filtração à vácuo
 - Bomba de vácuo New Pump (Vazão 53 a 58 L/min, vácuo 650mmHg);
 - Papel filtro (Qualy Ø12,5 – poros 14µm)
- Balança de precisão (Marte – Modelo UX420H) e;
- Vidrarias em geral.

4.1.7 Caracterização do Efluente Tratado

Para caracterizar o efluente tratado foram empregados os mesmos equipamentos utilizados na etapa de caracterização do efluente bruto.

4.2 Métodos

Esta seção irá apresentar como foi desenvolvida e aplicada a metodologia seguida neste trabalho.

4.2.1 Coleta e Caracterização do Efluente Bruto

A coleta do efluente bruto foi realizada em Empresa Cerealista do município de Bagé, mais especificamente no reservatório que armazena o efluente antes de sua entrada na Estação de Tratamento de Efluente ETE da Empresa. O efluente bruto foi caracterizado quanto aos níveis de DBO_5 , turbidez, pH e condutividade.

A medida da DBO_5 foi descritas e analisada de acordo com os métodos de ensaio descritos nas normas – NBR's, assim dispostas, citadas por Enasa (2011) com o auxílio do manual do fornecedor. Por este método, o conhecimento da faixa de concentração que o efluente apresenta facilitou o preparo da análise. Esta variável (concentração DBO_5) foi obtida junto a empresa que cedeu o efluente e pesquisada na literatura. A especificação do manual do fornecedor, fixa uma relação desta concentração de DBO_5 com o volume de amostra e a dosagem de inibidores.

Para a análise de DBO_5 , elevou-se o pH do efluente bruto para um valor mais próximo de 7,0 com a adição de uma solução básica, pois, de acordo com a especificação contida no manual do fornecedor, o pH da amostra tem que estar entre 6,5 e 7,5. Dados da DBO_5 obtido na mesma empresa que cedeu o efluente e, dados apresentados na literatura, fornecem valores de DBO_5 entre $628 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a $1.900 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente. Assim, optou-se por utilizar a faixa de concentração de $0 - 2.000 \text{ mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, de acordo com o manual, sendo necessário um volume de 56 ml de efluente, com a dosagem de três gotas de ATH no sensor para evitar que a oxidação biológica de certos compostos a nitrato (evita a nitrificação).

Ainda nos frascos colocou-se barra magnética, pois, quando colocados no aparelho de DBO_5 dentro da incubadora BOD, o efluente fica sob agitação magnética. Estas amostras foram mantidas na incubadora, durante cinco dias, a 20°C . Ao fim dos cinco dias, foram obtidas as medidas das concentrações de DBO_5 em $[\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}]$. Os valores foram anotados.

Também, análises de pH, turbidez e condutividade foram realizadas na amostra bruta. O pH foi lido utilizando-se as fitas indicadoras que, através da coloração que apresentou após certo tempo de contato com o efluente bruto, aproximava-se do valor correspondente a pH 5,0

O método de análise de turbidez aplicado nesta prática baseia-se na comparação da intensidade de luz espalhada pela amostra, com a intensidade da luz espalhada por uma suspensão padrão. O equipamento utilizado foi o turbidímetro (FIGURA 5). Para cada análise realizada, calibrava-se o turbidímetro para, posteriormente, ler a turbidez da amostra de efluente. As leituras das alíquotas das amostras obtidas foram anotadas, bem como, a medida da análise em branco que também foi realizada utilizando-se água destilada.



FIGURA 5 - Turbidímetro utilizado nas análises de caracterização do efluente líquido

Substituiu-se na Equação 4 a média dos valores da turbidez em [NTU], medida com o turbidímetro, para se obter a turbidez em $[mg.l^{-1}]$. Embora esta última unidade de turbidez não seja utilizada atualmente, a mesma foi calculada com a finalidade de uma melhor compreensão do significado deste parâmetro que foi considerado como um dos traçadores.

A condutividade não é um parâmetro controlado pelas legislações que tratam da disposição final de resíduos líquidos industriais, mas, é um importante indicador para a determinação do **tipo de tratamento** que será conduzido no efluente. Mas, neste trabalho avaliou-se a condutividade pelo fato também de estar aplicando uma biomassa vegetal como biossorvente para tratar o efluente. Para a medição deste parâmetro é utilizado o condutivímetro, conforme FIGURA 6.



FIGURA 6 – Ilustração do condutivímetro utilizado nas análises

A justificativa da condutividade neste efluente líquido da parboilização está na presença dos lipídios na composição das membranas das estruturas vegetais – caroço, casca, semente entre outros. Quando ocorre alguma perturbação na célula, ocorre o estresse oxidativo de lipídios que, naturalmente são amenizados pelos carotenóides. Mas, quando a intensidade dos efeitos do estresse oxidativo é elevada, a membrana sofre danos e o resultado desse estresse é a peroxidação que culmina com o extravasamento do conteúdo celular para o meio externo. Este material extravasado é caracterizado pela formação de radicais livres. Logo, a solução que receber o conteúdo deste extravasamento terá sua condutividade eletrolítica aumentada, pela presença dos íons e compostos polares. Portanto, quanto maior o estresse oxidativo, maior será a condutividade medida.

4.2.2 Coleta e Preparação das Biomassas Vegetais

A CA foi coletada após a etapa de descascamento. Utilizou-se a CA de cinco formas no tratamento do efluente líquido do arroz parboilizado:

- CA *in natura*;
- CA com pré-tratamento com NaOH;
- CA queimada em temperaturas diferentes:

- CCA 250°C
- CCA 750°C
- CCA 1000°C

Como toda a matéria-prima base para a preparação das biomassas vegetais a serem empregadas no tratamento é proveniente da CA, inicialmente, a mesma passou por uma seleção manual para remover impurezas grosseiras.

Para a parcela de CA utilizada *in natura*, fez-se apenas uma lavagem com água destilada para a remoção de impurezas em pó.

Já para a CA que demandou de um pré-tratamento, etapas de preparação visando modificações em sua estrutura, para a análise de seu desempenho frente aos demais biossorbentes utilizados, foram desenvolvidas. A CA já limpa de impurezas sólidas (seleção manual) foi lavada com água destilada, inicialmente a temperatura ambiente e, depois, aquecida a 100 °C. Realizou-se esta lavagem até que a água de lavagem estivesse límpida. Em uma segunda etapa, com base na metodologia utilizada por Kumar e Bandyopadhyay (2006) *apud* Mimura (2010), a CA foi tratada com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ a 50 °C durante 4 h e, posteriormente, foi enxaguada com água destilada até atingir pH mais próximo possível de 7,0. O material então foi seco a 60 °C em estufa com circulação de ar por 24 h. Depois de seca, a CA agora tratada, foi triturada em um moinho de facas. Assim, a CA pré-tratada estava pronta para ser utilizada no tratamento do efluente.



FIGURA 7 – Parcela de CA submetida ao pré-tratamento com base antes de ser moída (esquerda) e parcela de CA *in natura* (direita)

Para o preparo das CCA, primeiramente, fez-se a calcinação da CA no bico de Bunsen no interior da capela (FIGURA 8), pois, a CA quando submetida a altas temperaturas libera um gás com forte odor.



FIGURA 8 – Amostras de CA sendo calcinada no bico de bunsen dentro da capela de exaustão

Calcinadas, as amostras foram colocadas na mufla. Primeiramente, fez-se a queima a 250°C seguida da queima de 750°C e de 1.000°C. As queimas para a obtenção das CCA foram realizadas independentemente uma da outra, mas, mantida as mesmas condições de operação e o procedimento realizado após a queima: esperou-se o forno mufla estabilizar a temperatura pretendida da queima (250 ou 750 ou 1.000°C); o tempo de residência das amostras na mufla foi igual para todas, sendo este de 4h e; completado este tempo, esperou-se a CCA esfriar e a macerou-se.

4.2.3 Caracterização das Biomassas Vegetais

A caracterização para as amostras de CA *in natura* e CA pré-tratada utilizadas no tratamento do efluente consistiu em analisar o tamanho de suas partículas através de ensaios em peneiras com agitação eletromagnética. A agitação foi fixada em 5 minutos.

Também se realizou a análise granulométrica para as CCA, onde, devido este material apresentar grande quantidade de finos, tiveram sua distribuição granulométrica verificada no analisador de partículas a laser (CILAS). Análise da porosidade e área superficial das mesmas foram investigadas pelo método BET, bem como, a identificação dos elementos presentes nesta amostra por Fluorescência de Raio X. Estas duas últimas análises foram desenvolvidas no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre.

As demais práticas desenvolvidas neste trabalho foram realizadas na Instituição de Ensino de origem, Universidade Federal do Pampa – Campus Bagé (UNIPAMPA), nos laboratórios da Engenharia Química desta Universidade.

- **Análise de Área Superficial Específica pelo Método BET**

A medida de área superficial específica baseia-se no princípio da adsorção de uma monocamada de gás sobre a superfície das partículas. Se for conhecida a massa de partículas e a quantidade de gás adsorvido, pode-se calcular a área que os átomos do gás recobrem e, assim, calcular a área superficial por grama de material (área superficial específica).

O equipamento mais utilizado para efetuar esse tipo de medidas é o BET (Brunauer, Emmett, Teller), que é feita por um ciclo de desorção e adsorção. Pesa-se a quantidade da amostra seca do material a ser analisado e insere-se no equipamento. O equipamento aquece a amostra para que haja a desorção de qualquer gás ou umidade na superfície das partículas ou nas fendas e porosidades da amostra. Após essa desorção, passa-se um gás nitrogênio pela amostra, ocorrendo a adsorção do gás. Repete-se o ciclo de desorção por aquecimento e utilizando-se de um sensor de gás, mede-se o gás nitrogênio desorvido. Com o valor de massa da amostra e a quantidade de gás desorvido, é possível calcular a área superficial específica do pó analisado.

- **Analisador de partículas a laser (CILAS)**

Método de difratometria a laser para analisar a granulometria de partículas. Este método baseia-se no princípio de que o ângulo de difração é inversamente proporcional à dimensão da partícula. A luz incidente é difratada pelas partículas sendo então gerado um padrão de difração estável, independente do movimento das partículas. Este padrão de difração é focado por uma lente, para um detector fotoelétrico constituído por um conjunto de detectores de silício foto-sensitivo. Produz-se, deste modo, um sinal proporcional à intensidade da luz incidente, o qual, após ser amplificado por um tubo fotomultiplicador, é

transmitido a um computador que registra o padrão de difração e realiza as integrações necessárias.

- **Fluorescência de raios X**

A fluorescência de raios X é uma técnica instrumental e não destrutiva, que permite determinar a concentração de elementos em uma amostra utilizando as intensidades dos raios X característicos emitidos. Esta técnica possibilita a detecção simultânea de elementos numa ampla faixa de número atômico e de concentração, e não necessita de pré-tratamento químico,

4.2.4 Tratamento do Efluente Líquido

Primeiramente, para cada biomassa vegetal empregada, foi realizada uma marcha de ensaios em busca das melhores condições da quantidade destes materiais, bem como, do tempo de contato com o efluente. O tratamento foi realizado à temperatura ambiente.

Ensaio para determinar a quantidade de biomassa vegetal

Condições de operação:

Para este ensaio, fixou-se uma agitação de 400 a 420 rpm e um tempo de 30 min. O volume de efluente contido em todos os béqueres era de 500 ml, variando-se a quantidade de massa em cada um dos cinco recipientes. As dosagens de massas sofreram variações de 2g, sendo que, a primeira quantidade empregada foi de 2g e a última de 10g. Os parâmetros estipulados (traçadores) para a escolha da melhor dosagem foram a turbidez e o pH.

Ensaio para determinar o tempo de contato entre a biomassa vegetal e o efluente líquido

Condições de operação:

Algumas condições permaneceram as mesmas do ensaio anterior, como: rotação, volume de efluente e parâmetros traçadores. Encontrada a melhor quantidade de biomassa a ser aplicada, esta será mantida constante, agora, variando-se o tempo de contato entre ela e o efluente. Os tempos testados foram de 2, 5, 10, 20, 30 e 60min.

Para ambos os ensaio

Realizado o contato da biomassa, seja para dosagem de massa ou tempo, antes de medir a turbidez e pH, separou-se o efluente tratado das biomassas vegetais por filtração à vácuo do efluente tratado. A escolha deste processo se deu por uma análise preliminar, onde ao filtrar apenas o efluente em seu estado bruto não ocorreu pigmentação do papel filtro nem alterações destes parâmetros (turbidez e pH) após a filtração, não ocorrendo assim, interferência em análise posteriores

Logo, após esta investigação, para as melhores condições de massa e tempo de contato que foram aplicadas no tratamento do efluente líquido gerado no beneficiamento do arroz parboilizado, deu-se sequência em sua caracterização.

4.2.5 Caracterização do Efluente Tratado

Posteriormente, este efluente, agora tratado, foi submetido as demais caracterização. Foram executadas as mesmas caracterizações que foram realizadas para o efluente bruto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados alcançados de acordo com as metodologias descritas e aplicadas neste trabalho.

5.1 Caracterização do efluente bruto

Foram realizadas análises de turbidez. Fez-se a leitura da amostra do efluente bruto em estudo. Para uma melhor interpretação do nível de turbidez do efluente bruto, fez-se uma análise em branco utilizando água destilada. As médias dos valores encontrados para a turbidez do efluente bruto e para a água destilada estão apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1 – Valores médios de turbidez do efluente bruto e da água destilada

Amostras	Turbidez [NTU]
Efluente bruto	76,40
Água destilada	0,53

Para uma melhor compreensão do significado físico da turbidez, a partir dos valores da TABELA 1, obteve-se a turbidez em $mg.L^{-1}$ ao empregar a Equação 3, resultando nos valores contidos na TABELA 2.

TABELA 2 – Valores da turbidez do efluente bruto e da água destilada em $[mg.L^{-1}]$

Amostras	Turbidez $[mg.L^{-1}]$
Efluente Bruto	51,75
Água Destilada – Branco	0,44

Comparando com a dispersão da luz da água destilada, o efluente bruto apresenta um alto índice de desvio da luz incidente. A presença de sólidos suspensos neste efluente pode ser

justificada pela presença de matéria orgânica e impurezas sólidas em suspensão, como também de nutrientes – microorganismos – que, ao invés de migrar para o interior do grão de arroz, diluíram-se na água de tratamento, deixando-a com aparência levemente nebulosa.

O significado físico dos valores da TABELA 2 é que a cada 1L de efluente (líquido residuário) gerado no beneficiamento hidrotérmico do arroz, há uma quantidade de aproximadamente 0,052g de sólidos em suspensão. Sendo assim, em um primeiro momento, pode-se dizer que a concentração de sólidos é baixa, mas, como o processo ocorre em batelada, a vazão de efluente que é gerado por dia e a capacidade do corpo hídrico receptor devem ser estudadas e levadas em consideração.

Este efluente não está conforme com a RESOLUÇÃO N° 357, de 17 de março de 2005, onde especifica que o valor máximo da turbidez é de 40 NTU para o efluente ser descartado, pois, o valor médio encontrado para a turbidez do efluente bruto do beneficiamento do arroz parboilizado foi de 76,4 NTU. Logo, há a necessidade de submeter este efluente a um tratamento antes de seu lançamento no ambiente.

Realizou-se também a análise da condutividade deste efluente e, utilizando-se o condutivímetro. Assim, como se procedeu para a turbidez, uma análise em branco foi realizada utilizando-se água destilada. A leitura dos valores de condutividade de ambas as amostras estão apresentados na TABELA 3:

TABELA 3 – Valores da condutividade do efluente bruto e da água destilada

Amostras	Condutividade [μ S]
Efluente Bruto	1.358,0
Água Destilada – Branco	3,255

A condutividade neste efluente bruto pode ser explicada pela sua origem vegetal. Como o efluente é resultado de um tratamento hidrotérmico do arroz (parboilizado), o processo oxidativo de lipídios na estrutura deste cereal pode ter ocorrido, provocado por perturbações externas (como o aumento da temperatura), seguido com o extravasamento eletrolítico de suas camadas e, conseqüentemente, a liberação de radicais livres para o efluente.

Como citado anteriormente, a condutividade não é um parâmetro especificado na Resolução referencia deste trabalho, mas é uma informação importante para se ter o conhecimento prévio de outros parâmetros que são analisados em efluentes.

Prevista ainda nesta Resolução, a faixa de variação do pH pode oscilar entre os valores de 6,0 a 9,0 para o descarte do efluente analisado em corpos hídricos. Seguindo os critérios da Resolução apresentada, o efluente bruto gerado no beneficiamento do arroz parboilizado está não-conforme com o exigido, pois de acordo com a medição realizada com as fitas indicadoras, o pH é de aproximadamente 5,0; sendo assim necessária uma forma de alcalinizá-lo.

A caracterização quanto a DBO_5 foi realizada para este efluente conforme procedimento descrito na metodologia deste trabalho. No quinto dia de residência na incubadora, foi realizada a leitura dos valores da concentração de cada dia, conforme apresentados na TABELA 4.

TABELA 4 – Comportamento da concentração da DBO_5 do efluente bruto durante os cinco dias

Tempo [dias]	Concentração da DBO_5 [$mgO_2 \cdot L^{-1}$]
1°	85,5
2°	743,0
3°	1.048,5
4°	1.189,5
5°	1.286,0

De acordo com os resultados contidos na TABELA 4, o comportamento da DBO_5 está de acordo com o esperado – o consumo de oxigênio, devido a degradação da matéria bioquímica, aumenta com o tempo atingindo uma concentração de $1.286,0 \text{ } mgO_2 \cdot l^{-1}$ no quinto dia.

A partir das caracterizações descritas do efluente líquido gerado no beneficiamento do arroz parboilizado, percebe-se que dos parâmetros analisados nenhum está em conformidade com os critérios exigidos na Resolução nº357 do CONAMA. Logo, faz-se necessário o emprego de um tratamento para torná-lo um afluente para os corpos hídricos, obedecendo assim, as normas ambientais.

5.2 Caracterização das biomassas vegetais

A CA *in natura* foi lavada com água destilada para a remoção de particulados provenientes da etapa de brunição da fabricação do arroz.

Realizou-se uma análise granulométrica em peneiras com agitação eletromagnética desta CA em busca da maior frequência do diâmetro apresentada em 100g deste material. A TABELA 5 apresenta o resultado da distribuição granulométrica da CA *in natura*.

TABELA 5 – Resultados da análise granulométrica da CA *in natura*

Intervalo de diâmetro (peneira Tyler)	Diâmetro médio da partícula			Fração de massa retida (%)
	in	mm	µm	
-8 +10	0,079	2,01	2006,6	80,86
-10 +20	0,0489	1,24	1242,06	11,95
-20 +35	0,0246	0,62	624,84	2,83
-35 +60	0,01305	0,33	331,47	1,24
-60 +80	0,0083	0,21	210,82	0,44
-80 +100	0,00635	0,16	161,29	0,25
FUNDO	-	-	-	2,43

Percebe-se que a maior fração de CA *in natura* possui diâmetro médio de 2006,6 µm.

A CA que demandou de um pré-tratamento também foi caracterizada quanto a sua granulometria, pelo mesmo sistema de agitação, como pode ser observada na TABELA 6, verifica-se o diâmetro de maior frequência quando peneirada uma massa de 100g desta amostra.

TABELA 6 – Resultados da análise granulométrica da CA com pré-tratamento

Intervalo de diâmetro (peneira Tyler)	Diâmetro médio da partícula			Fração de massa retida (%)
	in	mm	μm	
-8 +10	0,079	2,01	2006,6	0,0
-10 +20	0,0489	1,24	1242,06	3,36
-20 +35	0,0246	0,62	624,84	74,47
-35 +60	0,01305	0,33	331,47	14,95
-60 +80	0,0083	0,21	210,82	5,73
-80 +100	0,00635	0,16	161,29	0,89
FUNDO	-	-	-	0,6

Neste caso, uma maior quantidade de massa apresentou diâmetro médio de 624,84 μm .

As CCA causaram a obstrução das peneiras. Logo, os diâmetros médios destas partículas foram averiguados quando em suspensão em água, no analisador de partículas a laser. Esta característica física das CCA pode ser verificada na TABELA 7.

TABELA 7 – Diâmetro médio das partículas das amostras das CCA a 250, 750 e 1.000°C obtidas no CILAS

Biomassa Vegetal	Diâmetro médio das partículas	
	$[\mu\text{m}]$	$[\text{mm}]$
CCA 250°C	158,71	0,16
CCA 750°C	115,15	0,15
CCA 1.000°C	46,16	0,05

A partir da TABELA 7, percebe-se que o diâmetro médio das partículas diminuiu consideravelmente com o aumento da temperatura.

Ainda para as CCA nas três temperaturas de queima fez-se a análise de área superficial que foi determinada pela técnica multiponto de Brunauer, Emmett e Teller (BET). Na TABELA 8 são apresentados os resultados desta caracterização da análise do BET das partículas de biomassa em cada temperatura.

TABELA 8 – Área superficial das partículas da biomassa em cada temperatura de queima

Biomassa vegetal	Área superficial [m^2/g]
CCA 250°C	138.762
CCA 750°C	8.061
CCA 1.000°C	2.180

Estas duas grandezas físicas, diâmetro médio e área superficial das partículas, são parâmetros que geralmente estão relacionados: quanto menor o diâmetro maior a área superficial da partícula e vice-versa. Mas, esta relação não ocorre nas amostras em questão. Como os materiais em estudo não são sólidos maciços, pode-se sugerir que o fato da CCA obtida com a queima a 250°C apresentar uma maior área superficial em relação as demais CCA, mesmo possuindo um maior diâmetro médio de partículas, ocorre pela presença de maior número de poros, aumentando assim, a área superficial (área total de contato) desta CCA.

Outra provável ocorrência que pode justificar este aumento de área superficial na CA obtida à temperatura de 250°C é a formação de mais de uma camada de gás na superfície do deste material quando caracterizado pelo método BET ocorrendo uma distorção nesta medida (elevação do valor para a área superficial) ou ainda, que a CA obtida à temperatura de 1.000°C não apresente uma reatividade, não ocorrendo assim a adsorção do gás na área de suas partículas.

Ainda de acordo com os resultados da TABELA 8 evidencia-se que ocorreu a sinterização do material em temperaturas mais elevadas, causando perda de área superficial, que chega a ser drástica em 1000°C.

Por trata-se de um processo de queima em diferentes temperaturas, procurou-se fazer uma análise quantitativa e qualitativa da composição deste material quando submetido a elevadas temperaturas. Esta determinação foi realizada por fluorescência de Raios X. O conhecimento dos compostos existentes nesta biomassa torna-se relevantes para verificar o comportamento de certos aspectos como a condutividade e a redução da DBO₅. Na fluorescência de Raios X encontraram-se os seguintes elementos nas concentrações, conforme apresentado na TABELA 9.

TABELA 9 – Caracterização da CCA quanto a composição

Substância a ser analisada	Porcentagem presente em cada biomassa vegetal		
	CCA 250°C	CCA 750°C	CCA 1.000°C
SiO ₂	36,50	48,05	49,45
MnO	17,62	33,21	35,86
CaO	2,51	4,94	4,95
Fe ₂ O ₃	2,06	3,48	4,94
Rb ₂ O	1,43	2,47	2,55
ZnO	1,04	2,35	-
K ₂ O	0,93	1,76	2,21
SrO	-	1,55	-
CuO	-	1,09	-
P ₂ O ₅	-	0,43	-
CO ₂	37,91	0,65	0,045

A FIGURA 9 apresenta todas as biomassas vegetais, após a preparação descrita, sendo esta a forma que foram utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.



FIGURA 9 – Ilustração de todas as biomassas preparadas para serem utilizadas no tratamento do efluente

5.3 Tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com as biomassas vegetais

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios que foram realizados para determinar as melhores condições de tratamento.

Com as biomassas devidamente preparadas, deu-se início a marcha de ensaios em busca da melhor dosagem de biomassa e do melhor tempo de contato. Como parâmetros traçadores destes ensaios foram utilizadas as análises de turbidez e pH.

Para uma melhor compreensão do estudo proposto, os resultados, tanto dos ensaios descritos quanto aos resultados finais do tratamento do efluente líquido do arroz parboilizado, serão apresentados em algumas etapas.

5.3.1 Ensaios de dosagem de massa e tempo de contato das biomassas vegetais

Inicialmente, serão apresentados os ensaios para a verificação da melhor dosagem de biomassa vegetal e do tempo de contato que se apresente suficiente para a alteração satisfatória de algum dos parâmetros traçadores (turbidez e pH). Esta etapa foi desenvolvida individualmente para cada biomassa.

As tabelas e gráficos referentes aos tratamentos individuais com cada uma das biomassas vegetais encontram-se nos apêndices.

a) **Tratamento do efluente com a CA *in natura***

Para o tratamento do efluente gerado na parboilização do arroz com a CA *in natura*, obtiveram-se os resultados apresentados a seguir para os ensaios propostos neste trabalho.

TABELA 10 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CA *in natura*

Parâmetros	Quantidade de biomassa vegetal [g]					
	0	2	4	6	8	10
Turbidez [NTU]	76,4	68,8	78,4	81,9	82,3	84,4
Ph	5	6	6	6	6	6

De acordo com os dados da TABELA10, observa-se que com o acréscimo de massa no efluente a turbidez aumenta. O pH não apresenta alterações, permanecendo constante independente da massa adicionada, mas em relação ao pH inicial da solução (bruto), pode-se verificar um aumento de uma unidade no mesmo para este parâmetro.

A dosagem desta biomassa vegetal que apresentou uma redução de sólidos em suspensão, diminuindo a turbidez para 68,8 NTU, é de 2g de CA *in natura*. Esta massa será utilizada no ensaio de tempo.

Mantendo-se os 2g em cada béquer com o mesmo volume de efluente do ensaio anterior, agora variou-se os tempos de contato da biomassa com o efluente, onde os valores obtidos para os a turbidez e o pH estão na TABELA 11.

TABELA 11 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CA *in natura*.

Parâmetros	Tempo de contato [min]						
	0	2	5	10	20	30	60
Turbidez [NTU]	76,4	92,1	77,3	75,2	68,6	68,8	78,0
pH	5	5	6	6	6	6	6

Analisando a TABELA 11, percebe-se que para a melhor dosagem desta biomassa vegetal o tempo de contato precisou ser de 20 min para que houvesse uma redução para 68,6 NTU da turbidez da amostra. Assim, a melhor dosagem de massa para a CA *in natura* foi de 2g com tempo de contato de 20 min para uma redução na turbidez e elevação do pH.

b) Tratamento do efluente com a CA com pré-tratada

Os resultados obtidos na investigação da melhor quantidade de CA pré-tratada estão apresentados a seguir na TABELA 12.

TABELA 12 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CA pré-tratada

Parâmetros	Quantidade de biomassa vegetal [g]					
	0	2	4	6	8	10
Turbidez [NTU]	76,4	71,5	75,8	76,4	82,4	84,6
pH	5	7	7	7	7	7

A TABELA 12 permite visualizar o comportamento da turbidez e pH com o acréscimo da biomassa vegetal, sendo que o melhor resultado obtido para esse parâmetro foi quando utilizado 2g deste material.

Utilizando a massa de 2g de CA com pré-tratamento, realizou-se o ensaio de tempo. Na TABELA 13 encontram-se os resultados para este ensaio.

TABELA 13 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CA pré-tratada

Parâmetros	Tempo de contato [min]						
	0	2	5	10	20	30	60
Turbidez [NTU]	76,4	78,4	76,8	76,5	77,3	71,5	78,6
pH	5	7	7	7	7	7	7

A TABELA 13 indica que o tempo considerado suficiente para que ocorra mudança na turbidez do efluente quando em contato com a biomassa vegetal é de 30 min.

Ainda, de acordo com as TABELAS 12 e 13, agora em relação ao pH, percebe-se uma elevação deste parâmetro em relação ao efluente bruto em duas unidades. Isso pode ser justificado devido ao pré-tratamento realizado na CA, onde esta parcela de biomassa foi tratada em uma solução de base forte. Aparentemente este tratamento explica tanto a pigmentação do efluente como a elevação do pH, devido a lixiviação da base pelo efluente, reagindo quando entra em contato com o efluente.

c) Tratamento do efluente com a CCA – queimada à temperatura de 250°C

O efluente foi tratado com a biomassa vegetal obtida a partir da queima da CA na temperatura de 250°C. Os resultados da pesquisa a respeito da quantidade de massa suficiente estão apresentados na TABELA 14.

TABELA 14 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CCA – 250°C

Parâmetros	Quantidade de biomassa vegetal [g]					
	0	2	4	6	8	10
Turbidez [NTU]	76,4	91,9	106,0	122,0	125,0	143,0
pH	5	6	6	6	6	6

Neste teste de bancada não houve redução na turbidez do efluente, ao contrário, ocorreu uma elevação deste parâmetro. Uma sugestão que explica tal acontecimento está relacionada a análise de caracterização desta cinza quanto a sua composição química, expressa na TABELA 9, onde nela são encontrados altos índices de resíduos de carbono. Isto fez com que a CCA a esta temperatura pigmentasse o efluente.

Mas, independente da turbidez, deu-se continuidade para as demais análises propostas para este trabalho utilizando como melhor quantidade de massa de CCA obtida 250°C a dosagem de 2g.

Mantendo-se esta massa em 2g, pesquisou-se o melhor tempo de exposição desta biomassa vegetal com o efluente. Os resultados obtidos estão na TABELA 15.

TABELA 15 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CCA – 250°C

Parâmetros	Tempo de contato [min]						
	0	2	5	10	20	30	60
Turbidez [NTU]	76,4	91,1	98,5	97,5	86,4	91,9	99,0
pH	5	6	6	6	6	6	7

Segundo os dados apresentados na TABELA 15, avalia-se que após 20 min de contato não há mudanças satisfatórias na turbidez, sendo que o pH apresentou um melhor resultado quando o tempo foi de 60 min. Mesmo levando-se em consideração o permitido pela Resolução n°357 do CONAMA, que avalia um pH bom para a emissão deste efluente pode

estar na faixa de 6,0 a 9,0; este tempo não foi escolhido devido a turbidez ter seu valor mais elevado.

Assim, para a CCA a 250°C as condições mais relevantes apresentadas para posteriores testes foi com massa igual a 2g e no tempo de 20 *min*.

d) Tratamento do efluente com a CCA – queimada à temperatura de 750°C

A quantidade de massa, conforme apresentado na TABELA 16, que conferiu uma redução considerável na turbidez para 58,8 NTU e uma elevação no pH para 7,0 em relação a amostra bruta, foi alcançada quando completada a adição de 4g de material.

TABELA 16 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CCA – 750°C

Parâmetros	Quantidade de biomassa vegetal [g]					
	0	2	4	6	8	10
Turbidez [NTU]	76,4	68,3	58,8	64,8	66,4	68,6
pH	5	6	7	7	7	7

Agora, tendo o conhecimento da quantidade de massa a ser utilizada, passou-se para a procura do melhor tempo. Os testes revelaram os seguintes resultados contidos na TABELA 17.

TABELA 17 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CCA – 750°C

Parâmetros	Tempo de contato [min]						
	0	2	5	10	20	30	60
Turbidez [NTU]	76,4	50,7	47,9	46,4	47,9	58,8	54
pH	5	7	7	7	7	7	7

Assim, para a biomassa CCA na queima a 750°C depreendeu-se de um valor de 46,4 NTU para a turbidez deste efluente após seu tratamento em um tempo de 10 min.

Logo, serão efetuadas as análises pretendidas com o tratamento do efluente que utilizou a dosagem de 4g de CCA a 750°C no tempo de 10 min.

e) **Tratamento do efluente com a CCA – queimada à temperatura de 1.000°C**

Os resultados do ensaio de escolha de massa estão expressos na TABELA 18.

TABELA 18 – Ensaio da variação da dosagem de massa da CCA – 1.000°C

Parâmetros	Quantidade de biomassa vegetal [g]					
	0	2	4	6	8	10
Turbidez [NTU]	76,4	70,1	68,9	75,7	84,8	82,7
pH	5	6	7	7	7	7

A TABELA 18 salienta que o melhor resultado foi quando uma massa de 4g foi adicionada ao efluente reduzindo a turbidez para 68,9 NUT e elevando o pH para 7,0.

Com esta massa, realizou-se o ensaio de tempo onde se atingiu os resultados contidos na TABELA 19.

TABELA 19 – Ensaio da variação de tempo para uma quantidade constante de CCA – 1.000°C

Parâmetros	Tempo de contato [min]						
	0	2	5	10	20	30	60
Turbidez [NTU]	76,4	76,5	71,4	72,5	67,9	68,9	72,0
pH	5	7	7	7	7	7	7

Como pode ser percebido, o pH não sofre alterações com o tempo de contato com a biomassa vegetal, mas a turbidez teve seu melhor resultado com o tempo de 20 *mim* de contato com o efluente.

Sendo assim, as melhores condições obtidas nestes ensaios para este material biossorvente, CCA a 1.000°C, foi de 4g de massa num tempo de contato de 20 *min*.

Evidencia-se que para todos os tipos de biomassas vegetais testados no tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado, acima do tempo considerado suficiente para que uma redução na turbidez fosse percebida, a estes biossorventes confere a perda suas capacidades de adsorção e passam a concentrar (saturar) o efluente elevando a

turbidez. Em alguns casos este aumento na turbidez é percebido no momento em que a biomassa vegetal é colocada em contato com o efluente.

A TABELA 20 organiza os dados que serão necessários para as próximas análises que serão desenvolvidas.

TABELA 20 – Tabela demonstrativa das melhores condições de ensaio para o tratamento do efluente

Biomassa vegetal	Quantidade de biomassa vegetal [g]	Tempo de contato [min]
<i>CA in natura</i>	2	20
CA com pré-tratamento	2	30
CCA – 250°C	2	20
CCA – 750°C	4	10
CCA – 1.000°C	4	20

Estabelecida estas variáveis de processo, os demais parâmetros propostos foram analisados – DBO₅ e condutividade.

5.3.2 Caracterização do efluente tratado

Neste momento, são realizadas as caracterizações do efluente tratado com cada biomassa vegetal quanto aos demais parâmetros propostos neste trabalho (condutividade e DBO₅) nas melhores condições encontradas nos ensaios para o tratamento. Foram realizadas comparações entre o desempenho de cada biomassa vegetal empregada e, a comparação destas com a caracterização realizada no efluente bruto.

A metodologia empregada para a caracterização deste efluente em todas as análises é a mesma que foi aplicada para a caracterização do efluente bruto.

A TABELA 21 apresenta de forma condensada, os resultados de todas as análises de caracterização realizadas tanto para o efluente bruto como para e efluente após o tratamento com as biomassas vegetais nas melhores condições obtidas nos ensaios.

TABELA 21 – Resumo dos valores encontrados para os parâmetros analisados na caracterização do efluente que foi tratado com cada biomassa e também a caracterização do efluente bruto

Parâmetro	Efluente bruto	CA <i>in natura</i>	CA pré-tratada	CCA 250°C	CCA 750°C	CCA 1.000°C
Turbidez	76,4	68,6	71,5	86,4	46,4	67,9
pH	5	6	7	6	7	7
Condutividade	1189	1.428	1.483	1.556	1.567	1.575
DBO ₅	1048	1.118	999	866	983	1.011

Os valores para a demanda bioquímica de oxigênio durante os cinco dias de incubação, assim com a ilustração que demonstra o comportamento deste parâmetro, encontram-se nos apêndices.

De acordo com a TABELA 21, pode-se observar e discutir alguns resultados, como:

- Para a turbidez:

Fica evidente que em relação ao efluente bruto nem todos os tratamentos com as biomassas vegetais apresentaram uma redução de sólidos em suspensão, sendo que a

biomassa vegetal que se apresentou como melhor bioissorvente de materiais suspensos foi a CCA obtida à temperatura de 750°C. Esta biomassa reduziu de 76,4 para 46,4 a turbidez, ou seja, 60,73% da carga em suspensão do efluente bruto foi removida, deixando em cada litro de efluente tratado 0,03g de sólidos suspensos. Embora essa redução na turbidez tenha sido significativa, segundo o estipulado na Resolução n°357 do CONAMA, este tratamento não removeu a carga total necessária para estar em conformidade para seu posterior despejo. Logo, para a análise de turbidez nenhuma das biomassas apresentou a eficiência exigida pelo controle ambiental.

A CCA à temperatura de 250°C apresentou maior turbidez. Isso pode ter ocorrido pela pigmentação do efluente quando esta biomassa foi colocada em contato, devido a presença de compostos orgânicos.

- Para a condutividade:

Em todos os tratamentos do efluente líquido oriundo da parboilização do arroz, quando tratado com as biomassas vegetais, ocorreu uma elevação da condutividade.

O aumento deste parâmetro aparentemente ocorreu devido à incorporação de sais inorgânicos liberado por estas biomassas, aumentando a condutividade. Segundo a caracterização das CCA, a presença de alguns metais é um indicio para o aumento da condutividade, que para o tratamento com estas biomassas a condutividade foi mais significativa.

- Para a DBO₅:

Todos os tratamentos apresentaram uma remoção da carga bioquímica geradora de oxigênio, mas nenhum deles apresentou uma redução que atingisse o valor para este critério previsto na Resolução n°357 do CONAMA, os 60 $mgO_2.L^{-1}$. Fez-se o cálculo da porcentagem de redução (eficiência), proposta na mesma resolução, para ver se o tratamento conseguiu reduzir 80% da DBO₅ em relação ao efluente bruto.

Outra forma de calcular a eficiência do tratamento aplicado é através da Equação 1. Estas eficiências foram calculadas e estão apresentadas na TABELA 22.

TABELA 22 – Valores calculados para a eficiência (referente a redução de 80% e pela equação) de cada tratamento

Biomassa Vegetal	Eficiência [%]	
	Resolução	Equação 1
<i>CA in natura</i>	0,24	0,24
CA com pré-tratamento	12,13	13,80
CCA – 250°C	20,76	26,20
CCA – 750°C	12,67	10,95
CCA – 1.000°C	6,92	7,43

A TABELA 22 apresenta a porcentagem de redução de cada tratamento, onde se confirma (analisando-se a segunda coluna desta mesma tabela) que a redução para o tratamento com o uso das biomassas é muito inferior aos 80% exigido na resolução e, estes valores são semelhantes ao calculados quando utilizado a Equação 1. Mas, dentre as biomassas vegetais empregadas no tratamento do efluente do arroz parboilizado a que apresentou uma maior redução do parâmetro da DBO₅ foi a CCA obtida com a queima a 250°C.

Evidencia-se que, embora a composição da CCA obtida a 1.000°C tenha uma maior concentração de ferro em seu estado de oxidação +3 que, por apresenta sítios ativos tem a capacidade de seqüestrar o oxigênio contido no meio, esta biomassa não apresenta um bom desempenho para a redução da DBO₅, pois o teor de sílica também aumenta e, por fim, ela acaba impedindo a reação destes sítios ativos do ferro com o oxigênio contido no efluente tratado.

Outra sugestão para justificar o melhor desempenho da CCA a 250°C é a questão da porosidade discutida quando realizada a caracterização quanto à composição desta biomassa vegetal.

A utilização destas biomassas vegetais testadas não atingiu o efeito desejado de redução da DBO₅, não sendo aconselhável sua utilização como único tratamento para o efluente do arroz parboilizado.

Como a finalidade do preparo destas biomassas vegetais é destinada ao tratamento de efluente líquido oriundo da agroindústria – parboilização do arroz – cuidados para que não

haja contaminação do material são indispensáveis ao longo de sua obtenção e posterior armazenamento. Assim, com os resultados alcançados no desenvolvimento deste trabalho para os parâmetros analisados não foram satisfatórios, exceto a redução da turbidez no tratamento com CCA a 750°C, torna-se inviável a sua aplicação nas ETE's das indústrias.

6 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho pode-se concluir que o emprego das cinco biomassas vegetais não atingiu o objetivo esperado no tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado, não apresentando um bom desempenho como materiais biossorbentes. O parâmetro que apresentou uma melhora considerável, mas ainda não o pretendido, foi a turbidez, onde com a adição de uma pequena dosagem de massa para 500ml de efluente em um curto tempo de contato, inferiu-se um valor de 46,4 NTU, reduzindo em 60,73% a carga em suspensão do efluente bruto.

A turbidez é um fator importante a ser controlado antes do despejo final de um resíduo líquido industrial, pois, a elevação deste parâmetro diminui a fotossíntese das algas e aumenta a proliferação de matéria orgânica, ocorrendo assim o fenômeno chamado de eutrofização, ameaçando a vida aquática onde o efluente foi descartado. Outro fator ligado ao aumento da turbidez que também pode se tornar um problema quando não observado seu índice ao ser descartado é que a presença de sólidos em suspensão dificulta a penetração de sol em regiões mais profundas, ocorrendo uma diminuição da temperatura.

Em todos os efluentes tratados o pH atingiu um valor permitido pela Resolução N° 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (6,0 – 9,0) sendo igual a 6,0 para os tratamentos com a CA *in natura* e para CCA obtida a temperatura de 250°C e, igual a 7,0 para os tratamentos com a CA pré-tratada e para a CCA obtida a temperatura de 750 e 1.000°C.

O parâmetro da condutividade elétrica se mostrou mais elevada em todos os tratamentos do que no efluente bruto, sendo que entre o emprego de cada biomassa, a condutividade apresentou-se menor quando aplicado o tratamento com a CA *in natura*. Aparentemente a explicação do aumento deste parâmetro no tratamento com as CCA é devido a presença de óxidos metálicos na sua composição. Como não foi realizada a análise de composição química tanto para a CA *in natura* quanto para a CA pré-tratada, não se podem relacionar as justificativas.

A DBO₅ apresentou uma leve redução em todos os tratamentos com as biomassas vegetais, sendo o que apresentou uma melhor redução foi no tratamento com a CCA obtida a temperatura de 250°C.

Tendo-se o conhecimento e o subsídio literário de pesquisas que apresentam estas biomassas com um ótimo desempenho quando empregadas em tratamento de alguns efluentes líquidos industriais, mas, ao finalizar este trabalho, concluiu-se que estas mesmas biomassas

não apresentaram os resultados esperados para o efluente líquido gerado no processo de beneficiamento de arroz parboilizado. Logo, diante dos resultados expostos neste trabalho, não se recomenda a substituição total do tratamento convencional pelas biomassas vegetais estudadas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a comparação empregando o tratamento convencional da ETE's utilizados nas indústrias com este tipo de efluente com o tratamento alternativo proposto;
- Analisar o efeito de outros parâmetros pertinentes como: fósforo e compostos nitrogenados nitrogênio, com as biomassas utilizadas neste trabalho;
- Testar as biomassas vegetais em outras temperaturas de queima;
- Realizar um tratamento ácido na CA;
- Pesquisar uma relação de proporção onde se possa substituir uma determinada quantidade de produtos químicos pelas biomassas, principalmente com a CCA obtida na temperatura de queima de 750°C em relação ao parâmetro da turbidez.

APÊNDICE A – Tabelas e gráficos referentes ao tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com a CA *in natura*.

TABELA 23 – Concentração da DBO do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CA *in natura*

Tempo [dias]	Concentração da DBO ₅ [mgO ₂ . L ⁻¹]
1º	137,0
2º	979,0
3º	1.118,0
4º	1.245,0
5º	1.283,0

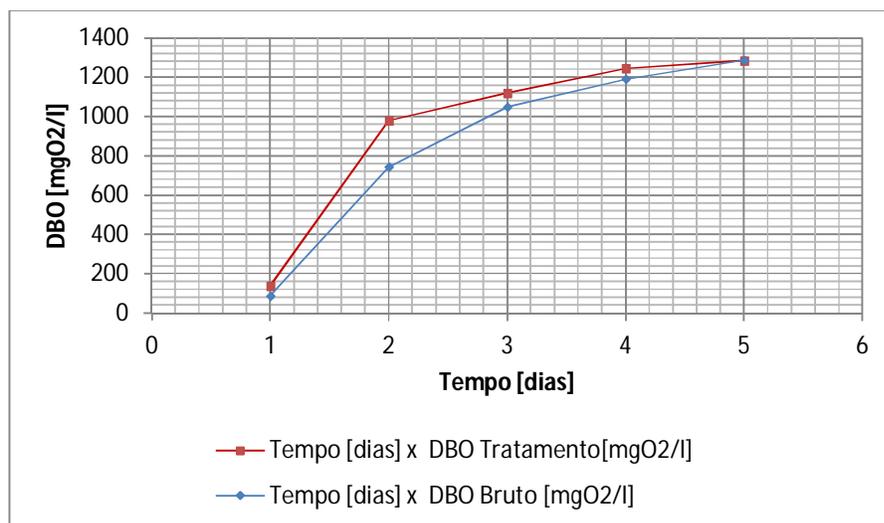


FIGURA 10 – Curvas comparativas entre a DBO₅ do efluente bruto com a DBO₅ do efluente tratado com a CA *in natura*.

APÊNDICE B – Tabelas e gráficos referentes ao tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com a CA pré-tratada.

TABELA 24 – Concentração da DBO₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CA pré-tratada

Tempo [dias]	Concentração da DBO ₅ [$mgO_2 \cdot L^{-1}$]
1°	168,0
2°	847,0
3°	999,0
4°	1.091,0
5°	1.130,0

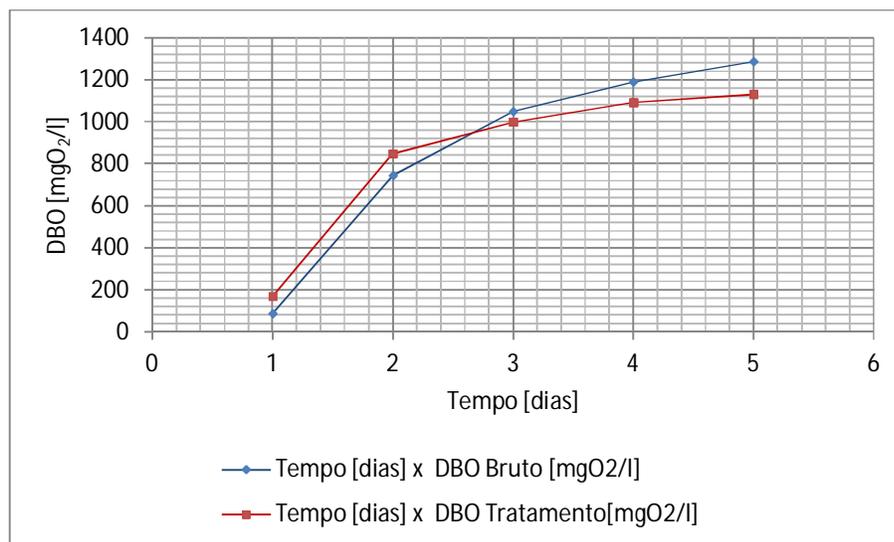


FIGURA 11 – Curvas comparativas entre a DBO₅ do efluente bruto com a DBO₅ do efluente tratado com a CA pré-tratada

APÊNDICE C – Tabelas e gráficos referentes ao tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com a CCA obtida a temperatura de 250°C.

TABELA 25 – Concentração da DBO₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CCA obtida na temperatura de 250°C

Tempo [dias]	Concentração da DBO ₅ [$mgO_2 \cdot L^{-1}$]
1°	156,0
2°	747,0
3°	866,0
4°	970,0
5°	1019,0

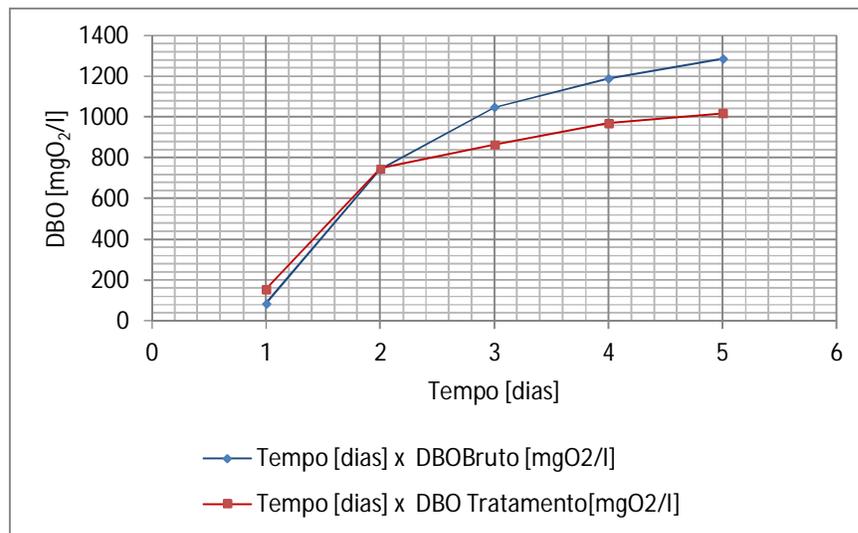


FIGURA 12 – Curvas comparativas entre a DBO₅ do efluente bruto com a DBO₅ do efluente tratado com a CCA obtida na temperatura de 250°C

APÊNDICE D – Tabelas e gráficos referentes ao tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com a CCA obtida a temperatura de 750°C.

TABELA 26 – Concentração da DBO₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CCA obtida na temperatura de 750°C

Tempo [dias]	Concentração da DBO ₅ [$mgO_2 \cdot L^{-1}$]
1°	328
2°	850
3°	983
4°	1081
5°	1123

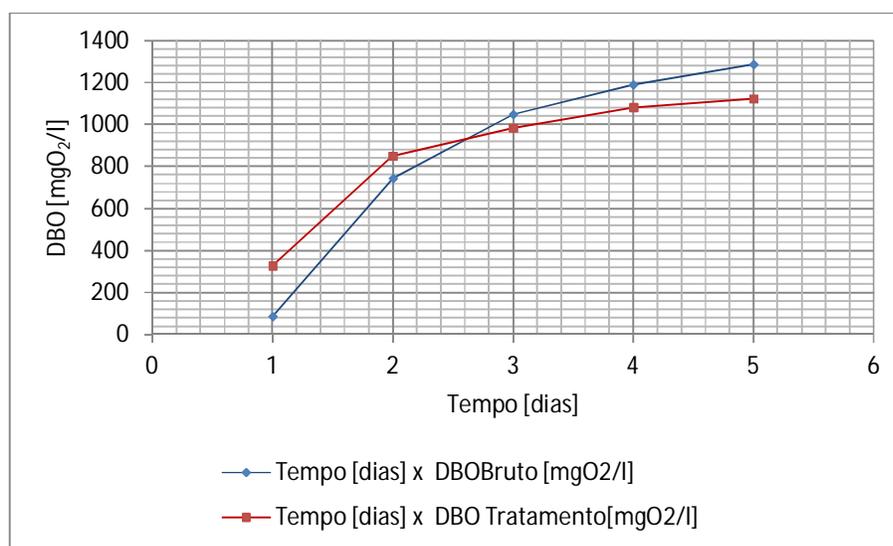


FIGURA 13 – Curvas comparativas entre a DBO₅ do efluente bruto com a DBO₅ do efluente tratado com a CCA obtida na temperatura de 750°C

APÊNDICE E – Tabelas e gráficos referentes ao tratamento do efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com a CCA obtida a temperatura de 1000°C.

TABELA 27 – Concentração da DBO₅ do efluente durante os cinco dias após o tratamento com a CCA obtida na temperatura de 1.000°C

Tempo [dias]	Concentração da DBO ₅ [$mgO_2 \cdot L^{-1}$]
1°	438
2°	868
3°	1011
4°	1102
5°	1197

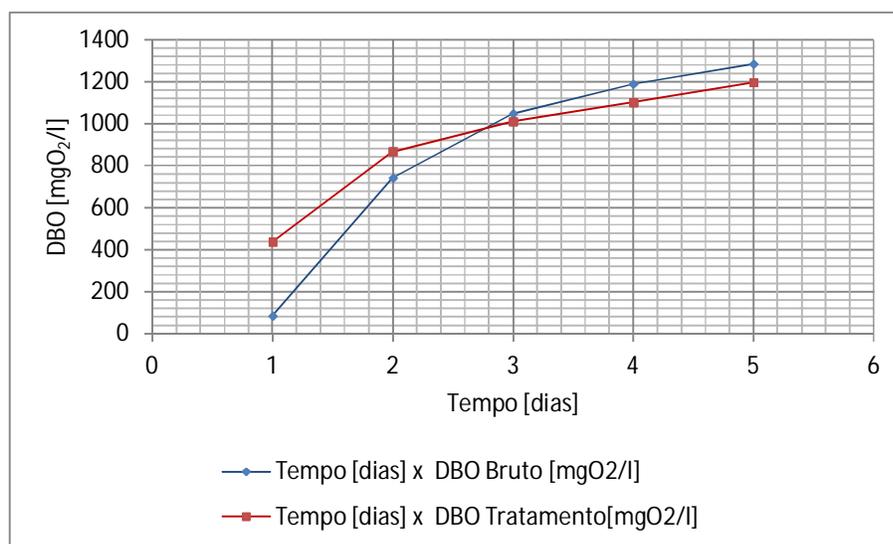


FIGURA 14 - Curvas comparativas entre a DBO₅ do efluente bruto com a DBO₅ do efluente tratado com a CCA obtida na temperatura de 1.000°C

APÊNDICE F – Tabelas e gráfico referente a DBO do efluente tratado com cada uma das biomassas vegetais durante os cinco dias de incubação.

TABELA 28 – Tabela 29 Comportamento da DBO₅ do efluente tratado com cada biomassa vegetal

Tempo [dias]	Concentração da DBO ₅ [$mgO_2 \cdot L^{-1}$]					
	Bruto	CA <i>in natura</i>	CA pré-tratada	CCA – 250°C	CCA – 750°C	CCA – 1.000°C
1°	90	137	168	156	328	438
2°	759	979	847	747	850	868
3°	1048	1.118	999	866	983	1.011
4°	1189	1.245	1.091	970	1.081	1.102
5°	1290	1.283	1.130	1.019	1.123	1.197

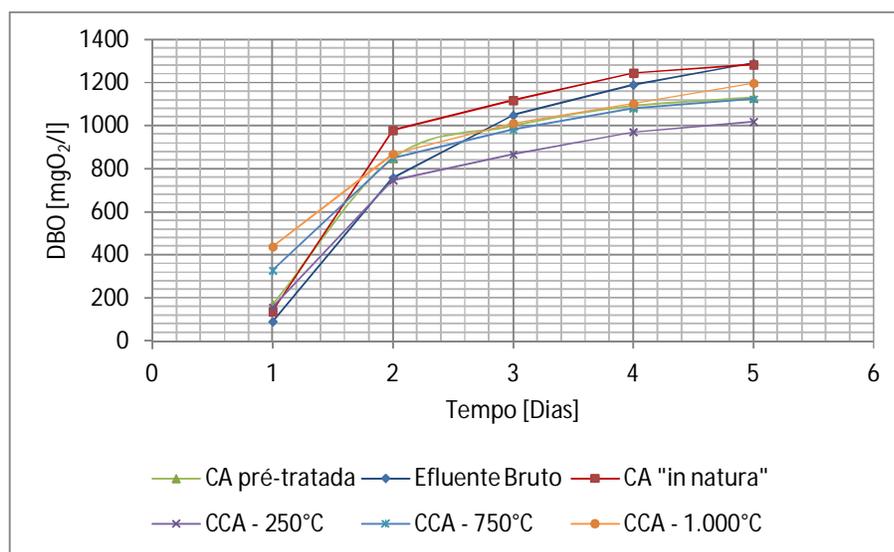


FIGURA 15 – Curvas do comportamento da DBO₅ dos tratamentos do efluente com cada biomassa vegetal

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO, G.W.; Carvalho, J.L.V., Silveira Filho, S. - *Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre*. Porto Alegre Ricardo: Lenz Editora, 2002.

MACÊDO, J.A.D. - *Águas & Águas*. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). São Paulo, 2011 (acesso em 01 maio 2011). Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf.

ALMANAQUE DO ARROZ (acesso em maio de 2005). Disponível em: <http://www.almanaquedoarroz.com.br>.

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. (Programas e Projetos). Porto Alegre, 2011 (acesso em maio 2011). Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (acesso em maio 2011). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm?c=1>

DE CASTRO, E. de M.; VIEIRA, N.R. de A.; RABELO, R.R.; DA SILVA, S.A. - *Qualidade de Grãos em Arroz*. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 1999.

Arroz Soltinho - (acesso em 05 junho 2011). Disponível em: <http://arrozoltinho.com.br/parboilizacao.htm>.

ABIAP – Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado. Porto Alegre, 2011 (acesso em 28 maio 2011). Disponível em: <http://www.abiap.com.br/site>.

VILLIERS, M. de - *Água*. Rio de Janeiro: Editora Ediouro Publicações S.A, 2000.

PEREIRA, J. A. R. - *Geração de Resíduos Ambientais e Controle Ambiental*. Universidade Federal do Pará, 2000.

MIGUEL, E.N; SANTOS, G.S. dos - *Oportunidades para Redução de Efluentes Líquidos Industriais - Caso Da OPP Química S. A.* Dissertação (Monografia), Escola Politécnica Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, 2002.

ABNT NBR – 9800/1987 – (acesso em abril 2011). Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/51613605/NBR-9800-NB-1032-Criterios-para-lancamento-de-efluentes>.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução no. 357 de 17/03/2005. (acesso em abril 2011). Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_357_05.pdf.

FREIRE, R. S. *et al.* - *Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.* Química Nova, vol.23, n.4, 2000.

BELISSÁRIO, M.; BORGES, P. S.; GALAZZI, R. M.; DEL PIERO, P. B.; ZORZAL, P. B.; RIBEIRO, A. V. F. N.; RIBEIRO, J. N. - *O Emprego de Resíduos Naturais no Tratamento de Efluentes Contaminados com Fármacos Poluentes. The Employment of Natural Waste at Treatment of Effluents Contaminated With Polluting Medicines,* 2009.

MMA – Ministério do Meio Ambiente (acesso em novembro de 2011). Disponível em: www.mma.gov.br

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3ª ed, 2005. 452 p.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, E. L.; BITTENCOURT, A. V. L.; FILHO, E. F. R.; Utilização de Medidas de Turbidez na Quantificação da Movimentação de Sólidos por Veiculação Hídrica nas Bacias dos Rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica E Jirau – Sudoeste do Estado Do Paraná - Boletim Paranaense de Geociências, n. 57, p. 49-56. Editora UFPR, 2005.

BRAILE, C.; CAVALCANTI, J. E. - *Manual de Tratamento de Águas Residuárias.* São Paulo: CETESB, 1979.

DELLA, L. O. P. - *Avaliação do Processo de Tratamento de Efluente Gerado no Beneficiamento do Arroz Parboilização com Sistema de Coagulação/Floculação.* Dissertação (Monografia), Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2006.

NUNES, J.A., - *Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais*. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrada; 1996.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B.; *Princípios das Operações Unitárias*. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

ATKINS, P.; DE PAULA, J. *Físico-Química*. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MARTINS, J. M. – *Estudo de Biomassa Vegetal Empregada como Adsorvente no Tratamento de Efluentes à Base de Corantes*. Dissertação (Monografia), Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa, 2011.

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, B.; GORGULHO, H. F. - *Aplicação da Casca de Arroz na Adsorção Dos Íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+}* . Departamento de Ciências Naturais, Universidade Federal de São João del Rei, Campus Dom Bosco, MG, 2010.

PINHEIRO, A. P.; GAIDZINSKI, R.; - *Estudo do tratamento alternativo de efluentes com a utilização de casca de arroz*. Anais da XVII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2009. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM, 2009.

TARLEY, C.R.T., FERREIRA, S.L.C., ARRUDA, M.A.Z. - *Use of modified rice husks as a natural solid adsorbent of trace metals: characterization and development of an on-line preconcentration system for cadmium and lead determination by FAAS*. Microchemical Journal, 2004.

TARLEY, C.R.T., ARRUDA, M.A.Z.; - *Biosorption of heavy metals using rice milling by-products*. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. Chemosphere, 2004.

HUSTON, D. F.; *Rice: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul: MN, 1972.

FERREIRA, C. S. - *Desenvolvimento do Processo de Obtenção de Filme Polimérico a partir da Cinza da Casca de Arroz*. Dissertação (Mestrado), Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

ENASA ENGENHARIAS (acessado em 12/11/2011). Disponível em: <http://www.enasa.com.br/enasa-passa-auditoria-mantem-certificacao.html>.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (acessado em junho de 2011). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Águas-superficiais/110-Legislação>.

HOLFFMANN, R.; JAHN, S. L.; BAVARESCO, M.; SARTORI, T. C. - *Aproveitamento da Cinza Produzida na Combustão de Arroz: Estado da Arte*. Universidade Federal Santa Maria. Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia. RJ, 2002.

KUMAR, U.; BANDYOPADHYAY, M.; *Bioresour. Technol*, 2006.

KRUSE, N. D.; VIDAL, R.A.; DALMAZ, C.; TREZZI, M.M.; SIQUEIRA, I. *Estresse oxidativo em girassol (Helianthus annuus) indica sinergismo para a mistura dos herbicidas metribuzin e clomazone*. Scielo Brasil. Planta daninha vol.24, no.2; Viçosa Apr./June 2006.

BATISTA, E.; FELIPE, E. *A Influência da Variação da Condutividade e Densidade da Água na Calibração Gravimétrica*. Instituto Português da Qualidade (IPQ) – Caparica – Portugal, 2007.

LOMBARDI, J. B., *Efeito da Condutividade no Tratamento Biológico de um Efluente Industrial* - APLYSIA Tecnologia para o Meio Ambiente – Vitória, ES – 2009.

REAL, C. *et al.* – *Preparation of silica from rice husks*. Journal of American Ceramics Society, 79 [8] 2012-16, 1996.

SPINELLI, A.; OLIVEIRA, A. P. N.; PASKOCIMAS, A. C. - *Síntese de Pigmento Cerâmico de Óxido de Ferro Encapsulado em Sílica Amorfa para Aplicações Cerâmicas a Altas Temperaturas (1100-1200 °C)*. Cerâmica Industrial, São Paulo – Janeiro/Fevereiro, 2003.