

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

P

P

E

Q



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA MAMONA E
PINHÃO MANSO FERTIRRIGADOS COM EFLUENTES
SANITÁRIOS TRATADOS DOS MUNICÍPIOS DE
IBIMIRIM-PE E PESQUEIRA-PE.**

Léa Elias Mendes Carneiro Zaidan

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA MAMONA E PINHÃO MANSO
FERTIRRIGADOS COM EFLUENTES SANITÁRIOS TRATADOS DOS
MUNICÍPIOS DE IBIMIRIM E PESQUEIRA-PE**

LÉA ELIAS MENDES CARNEIRO ZAIDAN

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Linha de Pesquisa: Tratamento de Efluentes, Biodiesel
Área de Concentração: Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Valdinete Lins da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Luiz Stragevitch

Recife/PE
Agosto/2010

Z21p

Zaidan, Léa Elias Mendes Carneiro.

Produção de biodiesel a partir da mamona e pinhão manso fertirrigados com efluentes sanitários tratados dos Municípios de Ibimirim-PE e Pesqueira-PE / Léa Elias Mendes Carneiro Zaidan. – Recife: O Autor, 2010.

xxi, 102 f.; il., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2010.

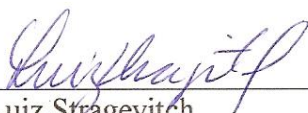
Inclui Referências Bibliográficas e Apêndices.

1. Engenharia Química. 2. Biodiesel. 3. Fertirrigação. 4. Mamona. 5. Pinhão Manso. 6. Óleos Vegetais. I. Título.

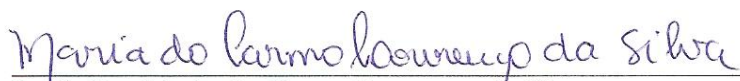
Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 30 de agosto de 2010 a Banca Examinadora constituída pelos professores:



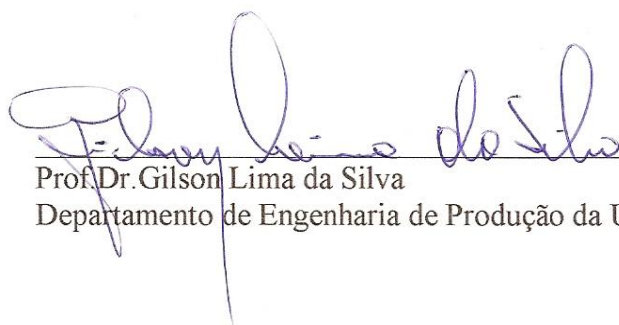
Profª.Dra. Valdinete Lins da Silva
Departamento de Engenharia Química da UFPE



Prof.Dr.Luiz Stragevitch
Departamento de Engenharia Química da UFPE



Profª.Dra.Maria do Carmo Lourenço da Silva
Departamento de Engenharia Química da UFPE



Prof.Dr.Gilson Lima da Silva
Departamento de Engenharia de Produção da UFPE

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais, Aluízio Rodrigues M. Carneiro
e Maria da Conceição Elias Mendes Carneiro (in memorian)
Pelos ensinamentos, carinho e dedicação durante minha infância;**

**Aos meus irmãos Aloísio José M. Carneiro e
Isabele Mendes Carneiro pelo constante incentivo;**

Ao meu marido, Miguel Alexandre Santos Zaidan,

Que me deu todo o apoio sem medir esforços;

Aos meus filhos Victor e Letícia Zaidan,

Razão do meu viver.

EPÍGRAFE

*“Vencem na vida os que a encaram
com permanente otimismo.
Vencem sempre os que sabem lutar,
sem perderem a direção da vitória.
Vencem aqueles que começam a luta
pensando que, por mais árdua que seja,
ela os leva para o endereço que propuseram,
sem pensar em derrotas.
Vencem aqueles que não desanimam em fase
das dificuldades e para os quais os obstáculos
servem como degraus para a subida e para
a consecução do objetivo,
Felicidade é o resultado dessa tentativa.
Ame acima de tudo.
Ame a tudo e a todos.
Deles depende a felicidade completa...
Descubra aquilo de bom dentro de você.
Procure acima de tudo ser gente...”*

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela vitória em mais uma etapa da minha vida.

À minha família, por confiar sempre em mim e me guiar pelo melhor caminho, principalmente ao meu marido que com muita sabedoria, discernimento, bom senso e dedicação, sempre esteve ao meu lado, me encorajando nas horas difíceis e me aplaudindo nas conquistas dia após dia. Obrigada por ser meu companheiro cúmplice de todas as horas e pai dos meus filhos, profissional íntegro, responsável e competente, fonte de inspiração, apoio e ensino diário.

À minha querida orientadora Valdinete Lins da Silva, pela compreensão, alto astral, experiência, pelos ensinamentos, carinho, confiança, credibilidade e por me mostrar o verdadeiro sentido da palavra dedicação. Muito obrigada! E ao meu co-orientador Luiz Stragevitch pela presteza, sabedoria e carinho dedicados. Obrigada!

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pela oportunidade e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelos ensinamentos, em especial aos Professores Alexandre Ricardo Pereira Schuler e José Geraldo Pacheco..

A todos os colegas do Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ), em especial a Ana Maria Bastos, pela sua amizade e disponibilidade em ajudar o próximo e pelos dias compartilhados na realização dos dados ACP e gráficos. À Ercilia, Germana, Adalberto, Ana Celina, Felipe, Suzana, André, Alexandre e Jorge pela ajuda indispensável nos experimentos. Às minhas amigas Amanda Alves e Lúcia Helena.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelo companheirismo, ajuda e união durante os anos no Mestrado, em especial a Viviane, Ana Carolina, Jonathan e Josemar e as minhas colegas do Laboratório de Combustíveis que me apoiaram nas realizações dos experimentos, em especial a Sibéria e Alianda

RESUMO

O emprego de água residuária na irrigação reduz o nível de consumo de água doce. Neste contexto estas águas residuárias contêm cargas de nutrientes (nitrogênio e fósforo principalmente) suficiente para atender aos requisitos das diversas culturas, reduzindo significativamente, quando não dispensa, os custos com a fertilização convencional. A escassez de chuvas no semi-árido tem dificultado a fixação do homem na região, em função da redução na qualidade de vida, em virtude da diminuição na produção de alimentos e da geração de recursos financeiros. A principal limitação do uso agrícola refere-se à qualidade microbiológica das águas residuárias, pois os esgotos sanitários podem veicular os mais variados microrganismos patogênicos, como vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Para o reúso agrícola é imprescindível que se obedeça às diretrizes microbiológicas, como a da OMS, pois o reúso agrícola apresenta-se como uma solução sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável. Em Ibimirim utilizou-se quatro sistemas: água tratada, digestor anaeróbico mais filtro anaeróbico; apenas filtro anaeróbico e por fim reator UASB. Os três tratamentos apresentaram redução de 93,6%, 91,92% e 94,84% de DQO e 98,2%, 91,92% e 92,31% de DBO, respectivamente. Em Pesqueira o sistema é composto de um reator UASB, uma lagoa anaeróbia e tanque de polimento, obtendo redução de matéria orgânica 61,15 a 83,25% de DQO e 68,84 a 96,62% de DBO. Cerca de 150 famílias em Ibimirim e 100 famílias em Pesqueira foram beneficiadas com o esgoto tratado. A importância da mamona e do pinhão manso para produção de biodiesel tem sido aprontada nos últimos anos como uma alternativa frente aos combustíveis fósseis como o diesel. Estas leguminosas desenvolvem-se em áreas áridas e semi-áridas, de baixa precipitação com um mínimo de 200 mm/ano e altas precipitações como 900 a 1.200 mm/ano, crescendo rapidamente. No entanto suas sementes não são comestíveis devido a sua toxicidade. Na região do Semiárido, no sertão de Pernambuco, na cidade de Ibimirim, próximo a Bacia Hidrográfica do Moxotó, foram plantados 0,7 ha de estacas de pinhão manso. Outra região em Pesqueira também foi utilizada para plantação apenas de mamona em 0,3 ha. Estes cultivares foram fertirrigados por esgoto doméstico tratado. A fertirrigação da mamona diminuiu a concentração de ácidos graxos livres presentes reduzindo a acidez de seu óleo. Essa baixa acidez caracteriza um óleo de maior qualidade podendo ser classificado como óleo tipo 1 conforme Santos et al. (2001). Assim, o óleo de mamona fertirrigada apresentou superioridade em relação ao óleo de mamona irrigada com água doce, o mesmo pode ser dito em relação ao biodiesel. Já tanto o óleo e biodiesel de pinhão manso irrigados com água, obtiveram resultados satisfatórios, ambos estiveram dentro dos padrões de qualidade.

Palavras-Chave: biodiesel; fertirrigação; mamona; pinhão manso; óleos vegetais.

ABSTRACT

Employment cleaning water in irrigation reduces the level of consumption of freshwater. In this context these wastewater contain loads of nutrients (nitrogen and phosphorus mainly) enough to meet the requirements of diverse cultures, significantly reducing, if not waiver costs with conventional fertilisation. The shortage of rainfall in semi-arid has obstructed the man in the region, according to the reduction in quality of life, due to the decrease in food production and the generation of financial resources. The main limitation of agricultural use refers to the microbiological quality of wastewater, sewage can serve a wide variety of pathogenic microorganisms such as viruses, bacteria, protozoa and helminths. For the agricultural reuse is that if impracticable complies with the microbiological guidelines such as the WHO, since the agricultural reuse presents itself as a strong viable solution, economically viable and environmentally sustainable. In Ibimirim used four systems: treated water, anaerobic digester more anaerobic filter; only anaerobic filter and finally UASB reactor. The three treatments presented 93.6% reduction, 91.92% and 94.84% COD and 98.2% 91.92% and 92.31% BOD, respectively. Fishing In the system is composed of a UASB reactor, an anaerobic lagoon and polishing tank, getting reduction of organic matter (61.15 - 83.25) % of COD and (68.84 - 96.62) % of DBO. Approximately 150 families in Mirim and 100 families in Fishing benefited with the sewer Treaty. The importance of Castor and Jatropha for biodiesel production has been appointed in recent years as an alternative to fossil fuels such as diesel. These pulses are developed in arid and semi-arid low rainfall, with a minimum of 200 mm/year and high rainfall as 900/1,200 mm/year, growing rapidly. However its edible seeds are not due to its high toxicity. In the Semi-arid region, in Pernambuco backwoods, in the town of Mirim, near basin Moxotó, were planted 0.7 ha of Jatropha stakes. Another Fishing region was also used for planting only Castor in 0, 3ha. These cultivars were fertirrigados by domestic sewer. Treaty. Fertirrigation of Castor decreased concentration of free acids present reducing acidity of your oil. This low acidity is an oil of higher quality oil may be classified as type 1 as Santos et al. (2001). Thus, the Castor oil fertirrigated presented superiority compared to castor oil irrigated with freshwater, the same can be said in relation to the biodiesel. Already both oil and biodiesel from Jatropha irrigated with water, obtained satisfactory results, both were within the quality standards.

Keywords: biodiesel; fertirrigation; mamona; Jatropha; vegetable oils

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:Ácido ricinoléico.....	4
Figura 02: Localização geográfica do Município de Ibimirim e Pesqueira.....	7
Figura 03:Composição dos Esgotos domésticos.....	9
Figura 04:Etapas da Digestão Anaeróbia.....	15
Figura 05:Matérias-primas para produção de biodiesel nas regiões brasileiras.....	22
Figura 06:Reação de Transesterificação.....	23
Figura 07:Mamona(<i>Ricinus Communis L</i>).....	25
Figura 08:Pinhão Manso(<i>Jatrophas Curcas L</i>).....	27
Figura 09:Estruturas de alguns ácidos graxos presentes no óleo de pinhão manso.....	28
Figura 10:Reação de Saponificação.....	29
Figura 11:Sistema de tratamento do esgoto do município de Pesqueira-PE.....	30
Figura 12:Sistema de tratamento do esgoto do município de Ibimirim-PE.....	31
Figura 13:Esquema do reator UASB utilizado no experimento.....	33
Figura 14:Esquema do decanto seguido do filtro utilizado no experimento.....	33
Figura 15:Esquema do filtro anaeróbio utilizado no experimento.....	34
Figura 16:Medidor de vazão.....	34
Figura 17:Poço úmido.....	34
Figura 18: 1-UASB;2-Filtro e 3- Tanque.....	34
Figura 19:Lagoas de Polimento.....	34
Figura 20:Fluxograma de toda metodologia utilizada no trabalho.....	36
Figura 21:Sementes de Pinhão manso.....	37
Figura 22:Sementes de Pinhão manso descascadas.....	37
Figura 22:Sementes de mamona irrigadas.....	37
Figura 24:Sementes de mamona fertirrigadas.....	37

Figura 25:Sementes trituradas para posterior extração.....	38
Figura 26:Sementes acondicionadas no Soxhlet.....	39
Figura 27:Vista aproximada da extração em Soxhlet.....	39
Figura 28:Rotaevaporador.....	39
Figura 29:Detalhe do Rotaevaporador.....	39
Figura 30:Coloração do óleo de pinhão manso.....	40
Figura 31:Coloração do óleo de mamona.....	40
Figura 32:Reator usado no processo da Esterificação.....	42
Figura 33:Reator usado no processo da Transesterificação.....	43
Figura 34:Viscosímetro e banho termostático.....	44
Figura 35:Titulador potenciométrico Metrohm.....	45
Figura 36:Densímetro de Bancada Anton Paar.....	45
Figura 37:Analisador do ponto de fulgor.....	46
Figura 38:Box Plot.....	48
Figura 39: Comportamento da DQO e DBO do efluente bruto	51
Figura 40: Comportamento dos ST, STV e SST do efluente bruto.....	51
Figura 41: Comportamento do pH do efluente bruto.....	51
Figura 42:Comportamento da DQO e DBO do dreno 1.....	54
Figura 43:Comportamento dos ST, STV e SST do efluente no dreno 1.....	54
Figura 44:Comportamento da DQO e DBO do dreno 2.....	54
Figura 45:Comportamento dos ST, STV e SST do efluente no dreno 2.....	54
Figura 46:Comportamento da DQO e DBO do dreno 3.....	55
Figura 47:Comportamento dos ST, STV e SST do efluente no dreno 3.....	55
Figura 48:Comportamento da DQO e DBO do dreno 4.....	55

Figura 49:Comportamento dos ST, STV e SST do efluente no dreno 4.....	55
Figura 50:Comportamento do Ph dos efluentes do dreno 1 ao 4.....	55
Figura 51:Comportamento da DQO e DBO do efluente tratado.....	57
Figura 52:Comportamento dos ST, STV e SST do efluente tratado.....	57
Figura 53:Comportamento do pH do efluente tratado.....	57
Figura 54:Eficiência:DQO(mg/L) na estação de Pesqueira-PE.....	60
Figura 55:Eficiência:DBO(mg/L) na estação de Pesqueira-PE.....	60
Figura 56:Eficiência:DQO(mg/L) no digestor de Ibimirim-PE.....	66
Figura 57:Eficiência:DBO(mg/L) no digestor de Ibimirim-PE.....	66
Figura 58:Eficiência:DQO(mg/L) no UASB de Ibimirim-PE.....	66
Figura 59:Eficiência:DBO(mg/L) no UASB de Ibimirim-PE.....	66
Figura 60:Eficiência:DQO(mg/L) no Filtro de Ibimirim-PE.....	66
Figura 61:Eficiência:DBO(mg/L) no Filtro de Ibimirim-PE.....	66
Figura 62:Escores da CP1XCP2 da estação de Pesqueira-PE.....	69
Figura 63:Escores da CP1XCP3 da estação de Pesqueira-PE.....	70
Figura 64:Escores da CP1XCP2 da estação de Ibimirim-PE.....	72
Figura 65:Escores da CP1XCP3 da estação de Ibimirim-PE.....	73
Figura 66:Escores da CP1XCP4 da estação de Ibimirim-PE.....	73
Figura 67:Peso das sementes de manona irrigada.....	74
Figura 68: Peso das sementes de manona fertirrigada.....	74
Figura 69:Teor de óleo na semente de manona fertirrigada.....	76
Figura 70:Teor de óleo na semente de manona irrigada.....	76
Figura 71:Análise por cromatografia do biodiesel de mamona irrigada.....	80
Figura 72:Análise por cromatografia do biodiesel de mamona fertirrigada.....	81

Figura 73: Peso das sementes de pinhão manso irrigado.....	83
Figura 74: Teor de óleo na semente de Pinhão manso irrigado.....	84
Figura 75:Análise por cromatografia do biodiesel de pinhão manso irrigad.a.....	86
Figura 76:Cromatograma da amostra de biodiesel de Pinhão manso irrigado.....	87
Figura A1:Esgoto sem tratamento	99
Figura A2:Esgoto obstruído.....	99
Figura A3:Esgoto em construção.....	99
Figura A4:Esgoto em construção.....	99
Figura A5:Vista do esgoto em construção	100
Figura A6:Entrada para ETE.....	100
Figura A7:Gradeamento para retenção de sólidos grosseiros	100
Figura A8:Vista lateral do gradeamento	100
Figura A9:Tanque de mistura para efluentes líquidos	100
Figura A10:Instalação do tanque de mistura.....	100
Figura A11:Vista lateral do tanque.....	101
Figura A12:Acabamento final do tanque	101
Figura A13:Caixa de retenção de areia	101
Figura A14:Vista lateral do reator UASB	101
Figura A15:Reator UASB	101
Figura A16:Instalação do reator UASB	101
Figura A17:Reator UASB já instalado	102
Figura A18:Filtro anaeróbio e decanto digestor.....	102
Figura A19:Instalação do Filtro anaeróbio e decanto digestor.....	102
Figura A20:Filtro e decanto já instalados	102

Figura A21: Vista lateral do filtro e decanto.....	102
Figura A22: Vista do decanto digestor	102
Figura 1B: Plantação de pinhão manso por estacas.....	103
Figura 2B: Pinhão manso já plantados.....	103
Figura 3B: Pinhão manso em crescimento.....	103
Figura 4B: Sementes de pinhão manso irrigados.....	103
Figura 5B: Sementes de mamona irrigada.....	103
Figura 6B: Sementes de mamona maceradas fertirrigadas.....	103
Figura 1C: Sementes maceradas de pinhão manso.....	104
Figura 2C: Sementes acondicionadas no Soxhlet.....	104
Figura 3C: Processo de extração no Soxhlet.....	104
Figura 4C: Rotoevaporador para recuperar o solvente.....	104
Figura 5C: Óleo obtido após rotoevaporado.....	104
Figura 6C: Processo de esterificação.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Viscosidade de óleos vegetais em função da temperatura.....	5
Tabela 02: Parâmetros químicos dos esgotos domésticos	10
Tabela 03: Parâmetros físicos dos esgotos domésticos.....	11
Tabela 04: Características dos esgotos domésticos brutos.....	12
Tabela 05: Periodicidade das análises sugeridas para os sistemas de tratamento	32
Tabela 06: Unidades de tratamento dos respectivos municípios.....	32
Tabela 07: Resultados da caracterização do efluente bruto da Estação de Pesqueira	49
Tabela 08: Resultados da caracterização do efluente no dreno 1 em Pesqueira	52
Tabela 09: Resultados da caracterização do efluente no dreno 2 em Pesqueira	52
Tabela 10: Resultados da caracterização do efluente no dreno 3 em Pesqueira	53
Tabela 11: Resultados da caracterização do efluente no dreno 4 em Pesqueira	53
Tabela 12: Resultados da caracterização do efluente tratado da estação de Pesqueira ..	56
Tabela 13: Eficiência de remoção da DQO(mg/L) em da Estação de Pesqueira	60
Tabela 14: Eficiência de remoção da DBO(mg/L) em da Estação de Pesqueira	60
Tabela 15: Resultados da caracterização do efluente bruto da Estação de Ibimirim	61
Tabela 16: Resultados da caracterização do Sistema Digestor + Filtro Anaeróbio da Estação de Ibimirim – PE.....	62
Tabela 17: Eficiência de remoção da DQO(mg/L) no Sistema Digestor + Filtro Anaeróbio da Estação de Ibimirim-PE	63
Tabela 18: Eficiência de remoção da DBO(mg/L) no Sistema Digestor + Filtro Anaeróbio da Estação de Ibimirim -PE.....	63

Tabela 19:Resultados da caracterização do Sistema UASB da Estação de Ibimirim	64
Tabela 20:Eficiência de remoção da DQO(mg/L) no Sistema UASB da Estação de Ibimirim-PE.....	64
Tabela 21:Eficiência de remoção da DBO(mg/L) no Sistema UASB da Estação de Ibimirim-PE.....	65
Tabela 22:Resultados da caracterização do Sistema Filtro Anaeróbio da Estação de Ibimirim – PE.	65
Tabela 23:Eficiência de remoção da DQO(mg/L) no Sistema Filtro Anaeróbio da Estação de Ibimirim-PE	65
Tabela 24:Eficiência de remoção da DBO(mg/L) no Sistema Filtro Anaeróbio da Estação de Ibimirim-PE	65
Tabela 25: Pesos das três primeiras componentes principais e percentagem de variância explicada aplicada nos resultados da Estação de Pesqueira-PE	68
Tabela 26:Pesos das quatro primeiras componentes principais e percentagem de variância explicada aplicada nos resultados da Estação de Ibimirim-PE	71
Tabela 27:Produtividade da semente de mamona	75
Tabela 28:Teor de óleo da semente de mamona fertirrigada	75
Tabela 29:Teor de óleo da semente de mamona irrigada.....	76
Tabela 30:Resultados das análises do óleo de mamona fertirrigada	77
Tabela 31:Resultados das análises do óleo de mamona irrigada.....	77
Tabela 32:Composição química em ácidos graxos do óleo de mamona irrigada.....	78
Tabela 33:Composição química em ácidos graxos do óleo de mamona fertirrigada	79
Tabela 34:Composição química em ácidos graxos do biodiesel de mamona irrigada ...	80

Tabela 35:Composição química em ácidos graxos do biodiesel da fertirrigada	81
Tabela 36:Teor de óleo da semente de pinhão manso irrigado	84
Tabela 37:Resultados das análises do óleo de pinhão manso irrigado	85
Tabela 38:Resultados das análises do óleo de Pinhão manso neutralizado	85
Tabela 39:Composição química em ácidos graxos do óleo de Pinhão manso irrigado..	86
Tabela 40:Ácidos graxos com suas respectivas áreas e composições	87
Tabela 41:Composição química em ácidos graxos do biodiesel de Pinhão manso	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP – Análise de Componentes Principais.

AGV – Ácidos Graxos Voláteis.

APHA – American Public Health Association.

AME – Atividade Metanogênica Específica.

ANP – Agência Nacional do Petróleo.

ASTM – *American Society for Testing and Materials*.

B100 – Biodiesel puro.

CID – Carbono Inorgânico Dissolvido.

CTD – Carbono Total Dissolvido.

COT – Carbono Orgânico Total.

DAFA – Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente de Manta de Lodo.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos.

FFA – Ácidos Graxos Livres.

FIA-Análise por Injeção em Fluxo com detector condutométrico.

FID – *Flame Ionization Detector*.

GN – Gás Natural.

NTK – Nitrogênio Total de Kjeldahl

SDF – Sólidos dissolvidos fixos

SDT – Sólidos dissolvidos totais

SDV – Sólidos dissolvidos voláteis

SF – Sólidos fixo

ST – Sólidos totais

SV – Sólidos voláteis

SSF – Sólidos suspensos fixos

SST – Sólidos suspensos totais

SSV – Sólidos suspensos voláteis

SWW – *Standard Methods of Water and Wastewater.*

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS E EQUAÇÕES	xv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xviii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Reuso da água	1
1.2. Usos dos Biocombustíveis	2
1.3. Usos da mamona (<i>Ricinus Communis L</i>).....	3
1.4. Usos do Pinhão manso (<i>Jatrophas Curcas L</i>).....	5
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo Geral.....	8
2.2 Objetivos Específicos	8
3. REVISÃO DA LITERATURA	9
3.1. Esgotos domésticos	9
3.2. Caracterização dos esgotos domésticos.....	10
3.3. Tratamento Biológico.....	13
3.3.1. Tratamento Anaeróbio	13
3.3.2. Fatores que influenciam na digestão anaeróbia	16
3.3.3. Reatores Anaeróbios.....	16
3.3.3.1. Reator Anaeróbio de manta de lodo(UASB)	16
3.3.3.2. Filtro Anaeróbio	17
3.3.3.3. Fossa Séptica.....	18
3.4. Uso de água residuária na irrigação	19
3.5. Legislação relativa ao reuso de água no Brasil.....	20

3.6. Biodiesel	21
3.6.1. Matérias-primas para a produção de Biodiesel	21
3.6.2. Produção de Biodiesel	22
3.6.3. Óleos Vegetais.....	25
3.6.3.1. Plantas Oleaginosas	25
4. METODOLOGIA.....	30
4.1. Características das Estações de tratamento.....	30
4.1.1. Sistema de tratamento biológico do esgoto do município de Pesqueira	30
4.1.2. Sistema de tratamento biológico do esgoto do município de Ibimirim.....	31
4.1.3. Caracterização dos efluentes	32
4.1.4. Características das águas de irrigação	35
4.2. Materiais e Métodos:Produção e Avaliação da Qualidade do biodiesel	36
4.2.1. Determinação do teor de óleo das sementes por extração	37
4.2.1.1. Extração com solventes – método Soxhlet	38
4.2.2. Tratamento do óleo de pinhão manso.....	40
4.2.2.1. Acidez do óleo de pinhão manso.	40
4.2.3.Produção de biodiesel.....	40
4.2.4. Esterificação do óleo de pinhão manso	41
4.2.4.1. Procedimento.....	41
4.2.5. Reação de Transesterificação do óleo esterificado	42
4.2.5.1. Procedimento.....	42
4.3.Parâmetros de caracterização dos óleos e biodieseis	43
4.3.1. Viscosidade Cinemática	43
4.3.2. Índice de acidez.....	44
4.3.3. Massa específica.....	45
4.3.4. Ponto de fulgor	46
4.4. Modelo experimental.....	47
4.4.1.Análises de Componentes Principais.....	47
4.4.2.Box Plot.....	47
4.4.2.1.Interpretação do diagrama da caixa do Box plot.....	48

5.1. Caracterização do efluente bruto da estação de Pesqueira	49
5.2. Caracterização do plantio.....	57
5.3. Significado ambiental dos parâmetros.....	57
5.4. Eficiência da estação de tratamento de Pesqueira.....	59
5.5. Caracterização do efluente bruto da estação de Ibimirim.....	61
5.5.1. Caracterização e eficiência do sistema Digestor+filtro anaeróbio da estação de Ibimirim	62
5.6. Resultados com os componentes principais(ACP)	68
5.6.1. Aplicação da Análise de Componentes Principais nos dados do Município de Pesqueira-PE.....	68
5.6.2. Aplicação da Análise de Componentes Principais nos dados do Município de Ibimirim-PE.....	70
5.7. Avaliação da produtividade de Mamona irrigada e fertirrigada, teor e caracterização dos óleos.....	77
5.8. Avaliação da qualidade do óleo a partir da mamona.....	77
5.9. Avaliação da qualidade do biodiesel da mamona.....	79
5.10. Teor e caracterização de óleo do pinhão manso.....	83
5.10.1. Avaliação da qualidade do biodiesel do pinhão manso.....	87
6. CONCLUSÃO.....	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
8. APÊNDICE A.....	99
APÊNDICE B.....	103
APÊNDICE C.....	104

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Reúso de Água

A água é um recurso natural que atualmente está cada vez mais escasso devido ao aumento da demanda provocado pelo crescimento populacional e a redução da oferta promovida, especialmente, pela poluição dos mananciais (BERNARDI, 2003). Como a escassez de água atinge várias regiões do mundo, uma alternativa potencial para racionalização da mesma é a sua reutilização, inclusive para a irrigação.

São vários os benefícios agregados à prática de reúso na irrigação, incluindo a recarga do lençol freático e a fertirrigação de diversas culturas, respeitando os limites sanitários e ambientais de aplicação para garantia do nível de qualidade (CERQUEIRA et al., 2008).

A Lei nº 9.433, de oito de Janeiro de mil novecentos e noventa e sete, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), também oferece fundamentos jurídicos para a racionalização do uso da água e, conseqüentemente, condicionantes legais para o reúso, alternativa viável na preservação e conservação ambiental. A Lei tem como um de seus objetivos “a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável”. Define também, como conteúdo mínimo dos planos de recursos hídricos, “as metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis”.

Embora no Brasil já se esteja realizando a prática de reúso em alguns estados como principalmente em São Paulo, são poucos os registros do reúso planejado de efluentes tratados em diversas atividades, principalmente, na agricultura. É conhecido que a irrigação com esgoto sem tratamento adequado pode ser nociva ao meio ambiente, à saúde humana, ao solo, aos aquíferos e às culturas irrigadas, já que tanto o afluente como o efluente pode conter constituintes poluentes (AL-LAHHAN et al., 2003).

De acordo com Asano e Adin (1998) os fatores geográficos, climáticos e econômicos ditam o grau e a forma de tratamento dos efluentes e o seu posterior reúso em diferentes regiões. Em regiões agrícolas, a irrigação é a atividade dominante para o reúso do efluente tratado.

O emprego de água residuária na irrigação reduz o nível de consumo de água doce, o que, isoladamente, já representa uma grande ação ambiental em face da

constante redução da disponibilidade deste recurso nos últimos tempos. Além disso, as águas residuárias contêm cargas de nutrientes (nitrogênio e fósforo), em quantidade satisfatória para atender aos requisitos das culturas, o que diminui significativamente, e algumas vezes até dispensa, os custos com a fertilização (KAREN, 2003).

León e Cavallini (1999) afirmam que os esgotos tratados constituem adubos naturais para a produção de alimentos, o que pode elevar a produção agrícola, e conseqüentemente, a geração de emprego e retorno econômico. Outro aspecto positivo do reuso é a possibilidade da implantação de zonas agrícolas em áreas desérticas. Também não pode ser esquecida a redução dos custos com o próprio tratamento das águas residuárias, já que o solo e as culturas comportam-se como biofiltros naturais (HARUVY, 1997; BRANDÃO *et al.*, 2002).

1.2 - Usos dos Biocombustíveis

O homem tem realizado uma grande procura por energias renováveis para substituir os processos energéticos convencionais como o carvão, petróleo e gás natural, isto porque os combustíveis à base de petróleo têm suas reservas limitadas e estas fontes estão ficando à beira da extinção (SHEEHAN *et al.*, 1998). As atuais reservas de petróleo e gás, devem durar apenas mais algumas décadas, se tornando cada vez mais escasso. Daí tem se tornado freqüente a busca por fontes alternativas aos combustíveis de origem mineral que causa grande emissão de gases poluentes promovidas pela queima desses combustíveis fósseis nos motores automotivos.

Os óleos vegetais têm surgido como uma alternativa para substituição do óleo diesel em motores de ignição por compressão (ENCINAR *et al.*, 1999; CANAKCI e VAN GERPEN, 2001; DUNN, 2002;), sendo o seu uso testado já em fins do século XIX, produzindo resultados satisfatórios no próprio motor diesel (NASCIMENTO *et al.*, 2001; KNOETHE, 2007). A possibilidade de combustíveis de origem agrícola em motores do ciclo diesel é bastante atrativa tendo em vista o aspecto ambiental, por serem uma fonte renovável (WU *et al.*, 1995).

O biodiesel exhibe um grande potencial (AZEVEDO *et al.*, 2006), considerando que é um combustível renovável obtido a partir de óleos vegetais e gorduras animais.

A produção do biodiesel possibilita a sua utilização em motores de ciclo diesel puro ou em misturas com óleo diesel em diferentes proporções, exigindo pouca ou nenhuma alteração do motor. Esta é uma alternativa economicamente viável

uma vez que o Brasil consome cerca de 39,1 milhões de t/ano de óleo diesel (SINDICOM, 2004).

O processo de transesterificação resulta no subproduto glicerina (FERRARI *et al*, 2005), cujo aproveitamento é outro aspecto importante na viabilização do processo de produção do biodiesel, fazendo com que ele se torne competitivo no mercado de combustíveis (RODRIGUES, 2001).

Outro aspecto bastante relevante é o fato do biodiesel ser considerado a melhor opção em termos de combustível ambientalmente correto, pois, embora sua queima seja semelhante ao petróleo, é biodegradável, não é tóxico e o cultivo de sua matéria-prima estimula a geração de empregos na agricultura familiar (AZEVEDO *et al*, 2001). Assim, o uso do biocombustível obtido a partir de óleos vegetais promove ainda o desenvolvimento da agricultura familiar e a geração de emprego no setor primário da economia.

1.3 - Usos da Mamona (*Ricinus communis L.*)

A mamoneira pertence à classe Dicotyledoneae, série Geraniales, família Euforbiácea (WEISS, 1983). Trata-se de uma xerófila de origem afro-asiática, bastante tolerante à escassez de água, porém não suporta excesso de umidade; sendo exigente em calor e luminosidade. Esta cultura industrial é explorada em função do óleo contido em suas sementes. Desde a antiguidade é conhecido por suas propriedades medicinais e como azeite para iluminação. Atualmente, essa cultura vem despertando interesse comercial, em virtude da elevação do preço do óleo e do desenvolvimento das indústrias de beneficiamento (COELHO, 1979).

O óleo obtido a partir desta leguminosa possui rendimento entre (43 a 45)% de óleo por grão e pode ser cultivada em todos os estados da Região Nordeste e em alguns estados do Sudeste e Centro-Oeste. O rendimento do óleo é de (0,5 a 1,0) t/ha (BELICH, 2006; PINTO *et al.*, 2005). Em sua composição, o óleo de mamona possui cerca de 90% de ácido ricinoléico. Suas propriedades físico-químicas são diferentes dos óleos da maioria das oleaginosas devido à presença de uma hidroxila no 12º carbono, o que confere a este

óleo várias aplicações industriais (MENEGHETTI et al., 2006). A estrutura do ácido ricinoléico está ilustrada na Figura 01.

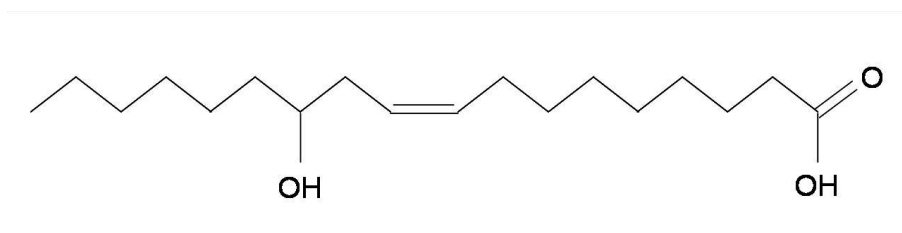


Figura 1 - Ácido ricinoléico.

A cultura da mamona possui grande apelo social, uma vez que além da produção de óleo, esta pode ser consorciada com outras culturas como o feijão, o milho e o amendoim. O cultivo da mamona permite a geração de um produto comercializável, o que vem a favorecer a agricultura familiar (PERES *et al.*, 2005).

Embora impróprio para consumo humano sem o devido processamento prévio, o óleo de mamona é importante na ampla aplicação industrial como matéria-prima usada para a fabricação de uma gama de produtos, como: plásticos, lacas, pinturas, lubrificantes e cosméticos, é usado inclusive em cosmética para alongar as pestanas (CHIERICE & CLARO NETO, 2001). O grupo hidroxila em sua estrutura confere, a esse composto, estabilidade e alta viscosidade, que é permitida em largas faixas de temperatura, explicada pela formação de pontes de hidrogênio intermoleculares (MULLER, 1978); além de solidificarem em baixas temperaturas, possuem também estabilidade oxidativa. O grupo hidroxila também lhe confere propriedade exclusiva de solubilidade em álcool (WEISS, 1983).

De acordo com Beltrão (2003) este óleo é o único triacilglicerol de fonte natural completamente solúvel no etanol que entra em ebulição somente a 80°C, sendo pouco inflamável, apresenta um ponto de explosão muito mais alto, exigindo sistemas e cuidados especiais durante o processo o que reduz muito o custo de instalação e de operação. Trata-se, portanto, de um dos óleos mais densos e mais viscosos entre os óleos vegetais como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Viscosidade de óleos vegetais, em função da temperatura.

ÓLEO	VISCOSIDADES (cSt)			
	37,8°C	50,0°C	60,0°C	70,0°C
Macaúba (polpa)	50,0	30,0	20,2	14,7
Pinhão- manso	31,5	19,8	14,0	10,5
Índia-rasteiro - polpa	45,0	27,8	19,2	14,3
Índia-rasteiro-amêdoas	31,0	19,8	14,0	10,5
Piqui - polpa	47,0	28,2	19,8	14,0
Piqui - amêdoas	40,0	24,8	17,5	13,0
Tinqui	41,0	25,0	17,5	12,8
Buriti	35,0	21,8	15,4	11,5
Dendê	43,0	27,0	18,5	13,5
Mamona	285,0	140,0	82,0	52,0
Babaçu	36,5	23,0	16,2	12,0
Cotieira	25,8	16,7	12,0	9,2

Fonte: www.pinhaomanso.com.br, 2005, conforme Cetec

1.4 - Usos do pinhão Manso (*Jatropha curcas L.*)

O Brasil possui grande potencial na produção de biodiesel (BELICH, 2006). No entanto, a escolha de uma oleaginosa deve levar em consideração o teor de óleo na planta, o rendimento agrícola e a disponibilidade de colheita em cada região. As principais fontes para produção de biodiesel na região Nordeste são mamona, palma, babaçu, soja e algodão (PINTO, 2005).

Porém, existem outras oleaginosas que estão sendo avaliadas para produção de biocombustíveis e, dentre as oleaginosas estudadas, está o pinhão manso. Esta oleaginosa tem sido pesquisada nos últimos tempos pelas suas características e porque pode se desenvolver em áreas áridas e semi-áridas, de baixa precipitação, 200 mm/ano e altas precipitações como 900 a 1.200 mm/ano (SATO *et al.*, 2009).

A primeira colheita acontece após 12 meses quando o plantio das sementes pode ser acelerado quando se usam estacas da planta, levando cerca de 6 meses até a colheita, apresentando vida longa, chegando a produzir por mais de 50 anos.

Suas sementes não são comestíveis devido à sua toxicidade, suas folhas podem alimentar a lagarta produtora do fio de seda, servir para a elaboração de diversos medicamentos e suas flores garantem uma boa produção de mel. Os arbustos alcançam a altura de 3 m em média, o que torna mais fácil a colheita (ARRUDA *et al.*, 2004).

O éster do ácido graxo metílico do pinhão manso foi considerado para uso apropriado como biodiesel e parece muito com as especificações do biodiesel adotado

pelos Estados Unidos da América, Alemanha e Organização Europeia (MOHIBBE AZAM *et al.*, 2005).

Os testes de engenharia estabelecem que o óleo de *Jatrophas curcas* pode substituir o diesel de (40 a 50)% sem nenhuma modificação. Segundo as suas propriedades físicas são necessários equipamentos e estrutura para transporte, processo e estocagem para assegurar a qualidade do produto (SIRISOMBOON *et al.*, 2007; KASHANINEJAD *et al.*, 2006).

A primeira parte desta pesquisa foi desenvolvida no município de Ibimirim, a 300 km de Recife, no sertão de Pernambuco (Figura 2), onde se localiza o açude de Moxotó, sendo as unidades piloto de pinhão manso e mamona instaladas no perímetro urbano utilizando esgoto doméstico tratado através de 4 sistemas de tratamento: água de abastecimento, decanto digestor e filtro anaeróbio, apenas filtro anaeróbio, e sistema UASB que consiste de um digestor anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo.

A avaliação da qualidade do biodiesel produzido a partir do óleo de pinhão manso cultivado em sistema de irrigação localizada, visando à racionalização do uso da água, foi realizada apresentando uma nova proposta de atividade que produza combustível alternativo com baixo custo e com possibilidade de substituir os combustíveis derivados do petróleo com qualidade.

Outra unidade piloto de mamona também foi desenvolvida no Agreste Setentrional de Pernambuco, região de clima semi-árido, envolvendo o município de Pesqueira no Vale Aluvial de Mutuca na Bacia do rio Capibaribe a 216 km de Recife.

O desenvolvimento do projeto em laboratório foi feito com sementes de mamona irrigada com água de abastecimento, com sementes de mamona fertirrigada, sementes de pinhão manso irrigado com água de abastecimento e sementes de pinhão manso fertirrigado. São aproximadamente mais de 100 famílias que foram beneficiadas com seu esgoto tratado, além de participar deste experimento que se tornará fonte de renda para a população carente.

Na Figura 2 é mostrada a localização dos municípios no Estado de Pernambuco, onde foram realizados os respectivos estudos

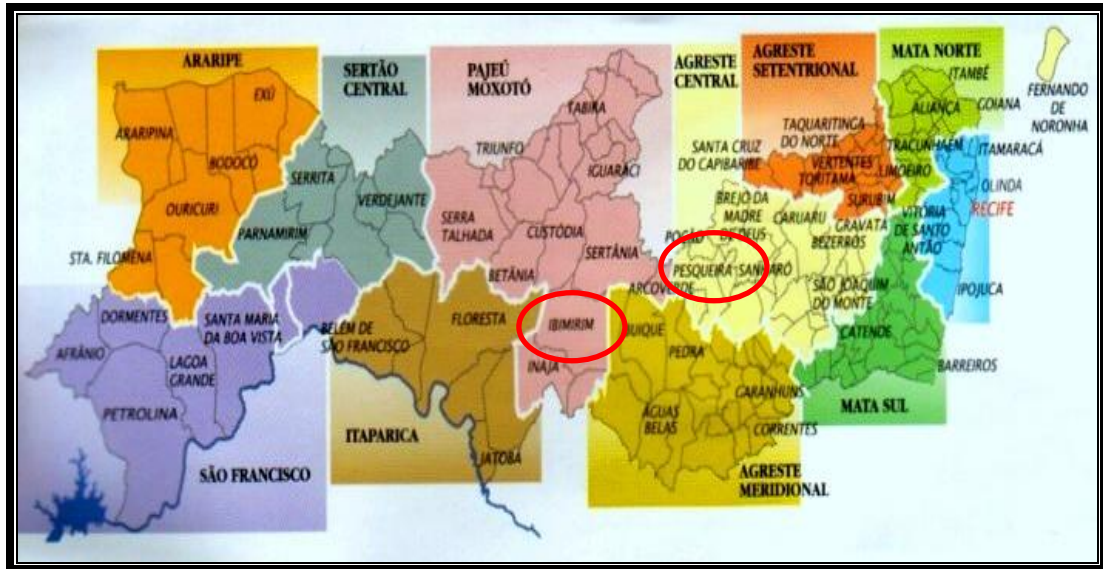


Figura 2 - Localização geográfica do Município de Ibirimir e Pesqueira.
Fonte: <http://www.portalmie.com> (Acesso em 13/12/2009).

2. OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água tratada e do óleo e biodiesel produzido pela mamona e pinhão manso fertirrigada em sistema de irrigação localizada com esgoto tratado comparando com as mesmas leguminosas irrigadas, visando à racionalização do uso da água e apresentando uma nova proposta de atividade que produza combustível alternativo com baixo custo e com possibilidade de substituir os combustíveis derivados do petróleo.

2.2 - Objetivos Específicos

- Caracterizar o esgoto doméstico da população da cidade de Ibimirim e de Pesqueira onde estão instalados os sistemas de tratamentos de efluentes;
- Avaliar a qualidade de água residuária tratada por sistemas biológicos para uso na fertirrigação da mamona e do pinhão manso;
- Avaliar a qualidade do óleo obtido da mamona em sistema irrigado e fertirrigado;
- Avaliar a qualidade do óleo obtido do pinhão manso em sistema irrigado e fertirrigado;
- Avaliar a qualidade do biodiesel a partir do óleo da mamona em sistema irrigado e fertirrigado;
- Avaliar a qualidade do biodiesel a partir do óleo de pinhão manso em sistema irrigado e fertirrigado.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 - Esgotos domésticos

Os esgotos domésticos são constituídos de matéria inorgânica (areia, argila, substâncias minerais dissolvidas, etc.), matéria orgânica (proteínas, carboidratos, gorduras, etc) e ainda uma população de microrganismos formada principalmente por bactérias. Dentre os parâmetros da matéria orgânica, cabe destacar a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os sólidos. Normalmente a DBO5 de esgotos domésticos varia entre 100 a 400 mg/L, desejando-se chegar a uma redução a até (20 a 30) mg/L nos tratamentos completos. A DQO dos esgotos domésticos normalmente varia entre 200 a 800 mg/L. Os principais organismos encontrados nos rios e esgotos são as bactérias, fungos, protozoários, vírus, algas e grupos de plantas e animais. As bactérias, são as responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica (JORDÃO & PESSOA, 2005; SILVA, 2004).

Desde que não haja significativa contribuição de despejos industriais a composição do esgoto doméstico ou sanitário é razoavelmente constante. Este efluente contém aproximadamente 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos (MOTA, 1997).

A fração inorgânica dos efluentes corresponde em geral a 30% da quantidade de matéria sólida existente. Seus principais componentes são os detritos minerais pesados, sais e metais Como mostrado na Figura 3.

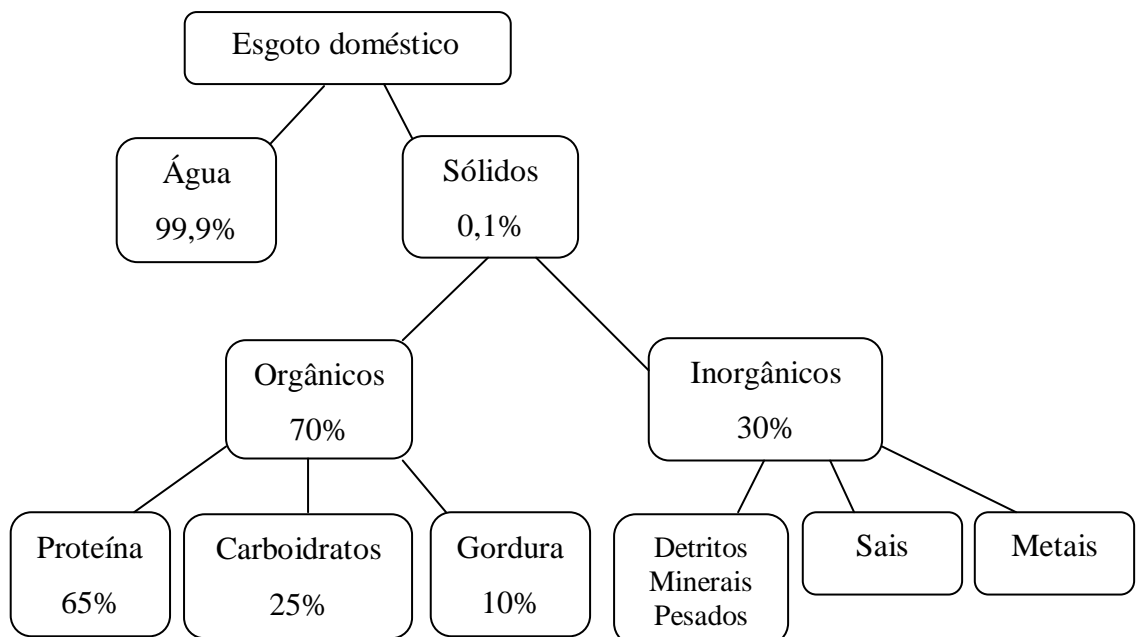


Figura 3 – Composição dos Esgotos Domésticos (Mendonça, 1990).

A fração orgânica total pode ser medida indiretamente através da demanda química de oxigênio (DQO). Os processos de tratamento biológico de esgoto podem ser aeróbios (sistemas de lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação, etc.) e anaeróbios (UASB – reatores anaeróbios de fluxo ascendente, filtros anaeróbios, etc.). No tratamento biológico, as bactérias heterotróficas são responsáveis pela remoção de material carbonáceo e as autotróficas em conjunto com heterotróficas removem material nitrogenado (METCALF & EDDY, 2003).

3.2 - Caracterizações dos Esgotos Domésticos

O efluente que contribui para as estações de tratamento de esgotos é oriundo de esgoto doméstico, águas de infiltração e despejos industriais (VON SPERLING, 2005). Os esgotos domésticos são provenientes principalmente de residências, áreas comerciais ou qualquer edificação que contenha instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos. São constituídos essencialmente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (JORDÃO & PESSOA, 2005). Os principais parâmetros químicos e físicos dos esgotos domésticos estão listados nas tabelas 2 e 3 :

Tabela 2 – Parâmetros químicos dos esgotos domésticos (METCALF & EDDY,2003).

Parâmetros	Descrição
Sólidos totais	Orgânicos e inorgânicos: suspensos e dissolvidos; sedimentáveis
Em suspensão	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis
Fixos	Componentes minerais inertes dos sólidos em suspensão
Voláteis	Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão
Dissolvidos	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis
Fixos	Componentes minerais inertes dos sólidos dissolvidos
Voláteis	Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos
Sedimentáveis	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimentam em 1 hora no cone Imhoff
Matéria Orgânica	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos: proteínas, carboidratos e lipídios
DBO ₅	Está associada a fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceo
	Medida do oxigênio consumido após 5 dias pelos microorganismos na estabilização bioquímica da matéria
DQO	Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. Utiliza fortes agentes oxidantes em condições ácidas.

Tabela 2. (continuação)

DBO	Representa o consumo total de oxigênio, ao final de vários dias, requeridos pelos microorganismos para a estabilização bioquímica completa de uma amostra
Nitrogênio Total	Inclui o nitrogênio orgânico e amônia (NTK), nitrito e nitrato.
Nitrogênio orgânico	Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e uréia.
Amônia	Produzida como primeiro estágio da decomposição do N orgânico.
Nitrito	Estágio intermediário da oxidação da amônia.
Nitrato	Produto final da oxidação da amônia.
Fósforo Total	Forma orgânica e inorgânica
Fósforo orgânico	Combinado à matéria orgânica
Fósforo inorgânico	Ortofosfato e polifosfato
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH).
	Devido à presença de bicarbonatos, carbonatos e íons hidroxilas.
Cloretos	Proveniente da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
Óleos e graxas	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos.

Tabela 3 – Parâmetros físicos dos esgotos domésticos (METCALF & EDDY, 2003).

Parâmetro	Descrição
Temperatura	- Ligeiramente superior à da água de abastecimento;
	- Variação conforme as estações do ano (mais estável que a temperatura do ar);
	- Influência na atividade microbiana;
	- Influência na solubilidade dos gases;
	- Influência na viscosidade do líquido
Cor	- Esgoto fresco: ligeiramente cinza;
	- Esgoto séptico: cinza escuro ou preto.
Odor	- Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável;
	- Esgoto séptico: odor fétido (desagradável), devido ao gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição;
	- Despejos industriais; odores característicos.
Turbidez	- Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão;
	- Esgoto mais fresco ou mais concentrado: geralmente maior turbidez.

A poluição dos corpos hídricos causa queda nos níveis de oxigênio dissolvido, impactando toda a comunidade aquática, visto que a redução nos teores de oxigênio é seletiva para determinadas espécies. A poluição ainda pode causar eutrofização com

conseqüente mortandade da biota aquática, elevação nos custos de tratamento da água, proliferação de algas (VON SPERLING, 2005).

A produção diária de esgoto sanitário é da ordem de (48 a 54) g de DBO por habitante, o que representa em torno de 80% da água que adentrou na residência. Na matéria inorgânica podem ser encontrados os gases sulfídricos, metano e oxigênio. No esgoto, há também um grande número de microorganismos, sendo alguns inclusive de alta patogenicidade (JORDÃO & PESSOA, 2005).

Na Tabela 4 estão apresentadas as faixas de concentração de algumas características químicas dos esgotos domésticos brutos.

Tabela 4 - Características dos esgotos domésticos brutos (SILVA, 2004).

Parâmetro	Concentração (mg/L)
Sólidos totais	700-1350
Em suspensão	200-450
Fixos	40-100
Voláteis	165-350
Dissolvidos	500-900
Fixos	300-550
Voláteis	200-350
Sedimentáveis	10-20
Matéria Orgânica	
DBO ₅	100-400
DQO	200-800
DBOu	350-600
Nitrogênio Total	35-70
Nitrogênio orgânico	15-30
Amônia	20-40
Nitrito	0
Nitrato	0-2
Fósforo Total	5-25
Fósforo orgânico	2-8
Fósforo inorgânico	4-17
PH	6,7-7,5
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	20-50
Cloretos	20-50
Óleos e graxas	55-170

3.3 – Tratamento Biológico

O objetivo do tratamento biológico para efluentes domésticos é a remoção ou a redução da concentração de compostos orgânicos, através da atividade de microorganismos, a qual pode ocorrer em meio aeróbico ou anaeróbico.

3.3.1 - Tratamento Anaeróbio

É um processo fermentativo que tem por finalidade a remoção de matéria orgânica, a formação de biogás e a produção de lodos mais ricos em nutrientes, tornando-se uma atraente alternativa para alguns tipos de efluentes sanitários e efluentes industriais (SPANGERS, 2005).

A digestão anaeróbia é uma reação bioquímica realizada basicamente em três estágios, por diversos tipos de bactérias, na ausência de oxigênio. O grupo de bactérias fundamentais nesse processo é o grupo de bactérias metanogênicas que atuam na última etapa, formando o metano (Figura 4):

Primeira Etapa – A matéria orgânica é convertida em moléculas menores pela ação de bactérias hidrolíticas e fermentativas. As hidrolíticas transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos, gorduras em ácidos graxos, pela ação de enzimas extracelulares, como a protease, a amilase e a lipase. Depois as bactérias fermentativas transformam esses produtos em ácidos solúveis (Ex. ácido propiônico e butírico) álcoois e outros compostos. Nessa etapa, também se forma dióxido de carbono (CO_2), gás hidrogênio (H_2) e ácido acético (CH_3COOH).

Segunda Etapa – as bactérias acetogênicas transformam os produtos obtidos na primeira etapa em ácido acético (CH_3COOH), hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2). Essas bactérias são facultativas, ou seja, elas podem atuar tanto em meio aeróbio como anaeróbio. O oxigênio necessário para efetuar essas transformações é retirado dos compostos que constituem o material orgânico.

Terceira Etapa – esta é a última etapa na produção de biogás ocorrendo a formação de metano. As bactérias metanogênicas, que formam o metano, transformam o hidrogênio (H_2), o dióxido de carbono (CO_2) e o ácido acético (CH_3COOH) em metano (CH_4) e (CO_2). Essas bactérias são obrigatoriamente anaeróbias e extremamente sensíveis a mudanças no meio, como temperatura e pH. As bactérias envolvidas na formação do biogás atuam de modo simbiótico. As bactérias que produzem ácidos geram os produtos que serão consumidos pelas bactérias metanogênicas. Sem esse

consumo, o acúmulo excessivo de substâncias tóxicas afetaria as bactérias produtoras de ácidos.

Segundo M. Júnior (2002), a digestão anaeróbia, como um método de tratamento para águas residuárias, oferece vantagens significativas sobre os sistemas de tratamento aeróbios, tais como:

- Baixa produção de lodo biológico;
- Dispensa energia para aeração;
- Produz metano;
- O lodo pode ser preservado ativamente durante meses sem alimentação;
- O processo pode trabalhar com altas e baixas taxas orgânicas.

E como desvantagens do tratamento anaeróbio tem característica como:

- Nem sempre atende à legislação;
- A partida dos reatores pode ser lenta devido às bactérias metanogênica.

O grupo de bactérias fundamentais nesse processo é o das metanogênicas que atuam na última etapa formando o metano, conforme apresentado na Figura 4.

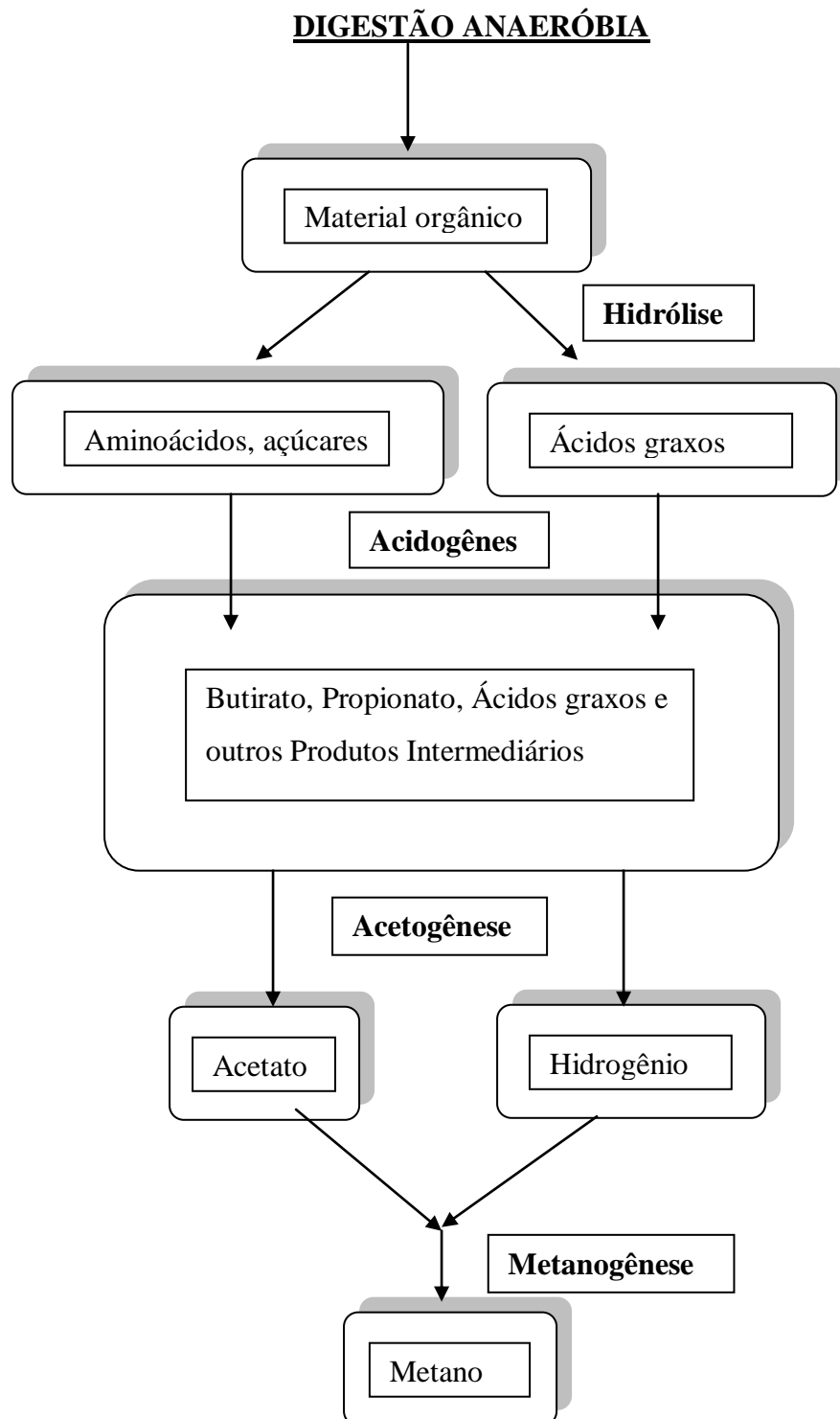


Figura 4 – Etapas da digestão anaeróbia (FORESTI, 2005).

3.3.2 - Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

Os principais fatores que afetam a digestão anaeróbia são: a falta de equilíbrio entre os microorganismos, choque devido ao aumento repentino da carga orgânica, o grau de contato entre a bactéria e o efluente, mudança de temperatura e a influência dos compostos tóxicos (CAMPOS & DIAS, 1999).

Condições típicas de operações para a digestão anaeróbica:

- Temperatura em condições mesofílicas;
- Valores de pH próximos ao neutro;
- Um estoque disponível de nutrientes orgânicos (carbono, fósforo, potássio e essencial traços de metais) na forma biodegradável.

3.3.3 - Reatores Anaeróbios

3.3.3.1 - Reator Anaeróbio de manta de lodo (UASB)

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) representa um grande avanço na aplicação da tecnologia anaeróbia, para o tratamento direto de efluentes de natureza simples ou complexa, de baixas ou altas concentrações, solúveis ou com material particulado. Como qualquer reator biológico possui vantagens e desvantagens, porém este reator tem sido largamente usado (CHERNICHARO, 1995). Este reator é constituído de uma unidade de fluxo ascendente que possibilita o transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios (CHERNICHARO, 1995).

O reator deve ter seu afluente distribuído na parte inferior do mesmo de modo que ocorra o contato adequado entre os microorganismos e o substrato. Este reator deve oferecer condições para que uma grande quantidade de lodo biológico fique retida no interior do mesmo em decorrência das características hidráulicas, do escoamento, e também das boas características de sedimentação, isto é, um dos fatores físicos e bioquímicos que estimulam a floculação e a granulação (VAN HAANDEL, 1994).

Na parte superior do reator, existe um dispositivo destinado à sedimentação de sólidos e à separação das fases sólido-líquido-gasoso. Esse dispositivo é de fundamental importância, pois, é responsável pelo retorno do lodo e pela garantia do alto tempo de retenção celular do processo (KATO *et al.*, 1999). No projeto de reatores tipo UASB tratando esgotos de baixa concentração, o dimensionamento é feito pelo critério de carga hidráulica, e não pela carga orgânica. Nesta situação, a velocidade ascendente nos

compartimentos de digestão e de decantação passa a ser de fundamental importância: velocidades excessivas resultam na perda de biomassa do sistema reduzindo a estabilidade do processo. Como consequência, a altura do reator deve ser reduzida, aumentando-se a sua seção transversal, a fim de garantir a manutenção das velocidades ascensionais dentro das faixas adequadas.

A quantidade de esgotos aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume deste, é conhecida como carga hidráulica volumétrica. O tempo de detenção hidráulica é o inverso da carga hidráulica volumétrica. Estudos experimentais demonstraram que a carga volumétrica não deve ultrapassar o valor de $5,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$, o que equivale a um tempo de detenção hidráulica mínimo de 4,8 horas ($1/5 \times 24$ horas) (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Conhecendo-se a vazão de projeto o volume do reator pode ser estimado pelo produto da vazão e o tempo médio de permanência desta vazão no interior do citado reator. Esse tempo necessário para que um hipotético seguimento de fluxo atravesse o reator chama-se de *tempo de detenção hidráulica* (TDH).

Para temperaturas médias próximas de 20°C , o TDH pode variar de (6 a 14) horas, dependendo do tipo de despejo. Estudos em escala-piloto com reatores operados a uma temperatura média de 25°C , alimentados com esgoto doméstico com alcalinidade relativamente elevada, mostraram que um TDH da ordem de 4 horas não afeta o desempenho desses reatores, nem a sua estabilidade operacional. Para esgotos domésticos sendo tratados na faixa de temperatura em torno de 20°C , tem-se adotado tempos de detenção hidráulica da ordem de (8 a 10) horas para a vazão média. O tempo de detenção para a vazão máxima não deve ser inferior a 4 horas, e os picos de vazão máxima não deverão prolongar-se por mais de (4 a 6) horas.

3.3.3.2 - Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio tem uma configuração de reator, na qual parte do seu volume interior é preenchido com material inerte que permanece estacionário onde se forma um leito de lodo fixo, para o desenvolvimento da biomassa aderida (CHERNICHARO, 1995).

O material de enchimento serve como suporte para os microorganismos, onde se formam películas ou biofilmes na superfície, favorecendo a retenção da biomassa no reator. Logo, o filtro anaeróbio é tipicamente um reator com biomassa imobilizada por aderência em meio suporte fixo. É um dos reatores anaeróbios pioneiros de alta taxa e

fluxo vertical ascendente, embora já existam os de fluxo descendente (KATO *et al.*, 1999).

O leito é formado pelo material suporte, com a biomassa, região onde ocorrem as reações durante o contato com o efluente contendo a matéria orgânica. A mistura e o contato biomassa-afluente ocorrem durante o fluxo do esgoto nas fendas, ou melhor, entre os espaços do material suporte, sendo importante uma distribuição uniforme do afluente, bem como a disposição do material para evitar escoamentos preferenciais (CHERNICHARO, 1995).

As principais características dos filtros anaeróbios são: ter fluxo ascendente, ausência de mistura e possibilidade de aquecimento. O tempo de detenção hidráulica costuma ser próximo de 24 horas, os microorganismos podem se manter por longos períodos e apresenta dificuldade de remoção de sólidos suspensos (M. JUNIOR, 2002).

3.3.3.3 – Fossa Séptica

Os tanques sépticos são reatores biológicos anaeróbios, onde há reações químicas com a interferência de microorganismos que participam ativamente no decréscimo da matéria orgânica. Nesses tanques, o esgoto é tratado na ausência de oxigênio livre (ambiente anaeróbio), ocorrendo a formação de uma biomassa anaeróbia (lodo anaeróbio) e formação do biogás que é composto principalmente de metano e gás carbônico (VON SPERLING, 2005).

Suas principais funções são: reter os despejos domésticos e/ou industriais por um período de tempo determinado, permitir a sedimentação dos sólidos, decompor a parte orgânica e reter material graxo (VON SPERLING, 2005).

O decanto-digestor seguido de filtros anaeróbios compõe um sistema que pode ser muito vantajoso para tratamento de esgotos sanitários: associa, em série, um reator resistente às variações do afluente com um reator eficiente também sobre a parcela dissolvida dos esgotos; não requer operador especializado; tem partida imediata, com bom funcionamento desde o início; absorve choques tóxicos e de sobrecarga com rápida recuperação e não perde eficiência em longo prazo (CHERNICHARO, 1995).

A qualidade da água é definida pelas suas características físicas, químicas e biológicas verificando sempre sua adaptabilidade para usos específicos. Para a irrigação, uma água de boa qualidade melhora o rendimento das culturas causando menos danos para o meio ambiente e para a saúde pública. A água para irrigação deve obedecer a critérios de qualidade que visem à preservação da qualidade das culturas e dos níveis de

produção, a preservação do solo agrícola e a proteção da saúde pública do consumidor, principalmente em relação aos vegetais que possam ser ingeridos sem cozimento (TSUTIYA, 2002).

A qualidade da água para irrigação está relacionada com a concentração de sais dissolvidos e com sua composição iônica, devendo ser avaliada pelas suas características químicas e físicas (HOLANDA,1997).

A qualidade da água para irrigação pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos (AYERS & WESTCOST, 1999). Os sais se encontram em quantidades relativamente pequenas, porém, significativas e têm sua origem na dissolução das rochas e solos, por poluição atmosférica ou por poluição com outros resíduos líquidos e sólidos que atingem os corpos aquáticos superficiais ou subterrâneos. Esses sais podem ser transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam na medida em que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. Nas regiões áridas e semi-áridas, a combinação da intensa evaporação, reduzida precipitação pluviométrica, a deficiência em drenagem e o próprio uso de fertilizantes, têm aumentado os problemas com a salinidade, prejudicando o rendimento das culturas (MEDEIROS, 2001).

3.4 - Uso de água residuária na irrigação

O reúso de água é uma excelente alternativa na preservação dos recursos hídricos que são cada vez mais escassos devido ao aumento populacional e às instabilidades climáticas, principalmente, no Nordeste brasileiro. Para se usar uma água residuária na irrigação, deve se seguir diretrizes e normas estabelecidas por órgãos competentes para evitar riscos à saúde da população. A qualidade da água residuária para reúso agrícola deve ser analisada sob os aspectos físicos, químicos e microbiológicos. O aspecto microbiológico é de extrema importância para o reúso, devido à presença de organismos patogênicos nas águas residuárias, (tais como: vírus, bactérias, protozoários e helmintos). Estes organismos devem estar em concentração mínima e bem inferior às doses infectantes para diminuir, o máximo possível, os riscos de contaminação dos agricultores e dos consumidores (AYERS & WESTCOST, 1999).

Quando se estuda o uso de água residuária para irrigação, deve-se avaliar primeiro, suas características microbiológicas e bioquímicas, de acordo com as normas de saúde pública, considerando-se o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto (AYERS & WESTCOST, 1999). Após verificar

que essas águas apresentam as condições especificadas pelas normas de saúde, devem ser avaliados os componentes químicos (pH, condutividade elétrica) (HOLANDA, 1997).

3.5 - Legislação relativa ao reúso de água no Brasil

A partir da promulgação da Lei nº 9.433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, foi dado um novo enfoque para a questão hídrica, na gestão do uso da água por bacias hidrográficas e no conceito do usuário pagador. A ênfase legislativa incide na racionalização do uso da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Porém, pouca preocupação legislativa ocorreu para fixação de princípios e critérios para a reutilização da água no Brasil.

A importância especial ao reúso foi dada por ocasião da Agenda 21, a qual recomendou aos países participantes da ECO 92 a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção de saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas (HESPANHOL, 2003).

No capítulo 21 - “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, Área Programática B - “Maximizando o reúso e a reciclagem ambientalmente adequadas”, é estabelecido, como um dos objetivos básicos: “vitalizar e ampliar os sistemas nacionais de reúso e reciclagem de resíduos”.

A prática de uso de águas residuárias também é associada às seguintes áreas programáticas incluídas nos capítulos 14 - “Promovendo a agricultura sustentada e o desenvolvimento rural”, e 18 - “Proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento - Aplicação de métodos adequados para o desenvolvimento, gestão e uso dos recursos hídricos”, visando a disponibilidade de água “para a produção sustentada de alimentos e desenvolvimento rural sustentado” e “para a proteção dos recursos hídricos, qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos”.

Embora não exista no Brasil, legislação relativa, já se dispõe de uma primeira demonstração de vontade política, direcionada para a institucionalização do reúso (HESPANHOL, 2003). A “Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente”, realizada em Brasília, em dezembro de 1992, recomendou, sob o item “Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento”, que se envidassem esforços, em âmbito nacional, para “institucionalizar a reciclagem e reúso sempre que possível e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente”.

Com base em várias referências teóricas, evidencia-se que não existe uma política estabelecida, arcabouço legal e institucional, ou parâmetros estabelecidos para a prática de reúso no Brasil. Porém, a legislação em vigor, ao instituir os fundamentos da gestão de recursos hídricos, cria condições jurídicas e econômicas para a hipótese do reúso de água como forma de utilização racional e de preservação ambiental (FINK & SANTOS, 2002).

3.6 – Biodiesel

O termo biocombustível refere-se aos combustíveis líquidos ou gasosos que são predominantemente produzidos a partir de biomassas (DEMIRBAS, 2007). Dentre os biocombustíveis, o biodiesel vem recebendo grande destaque, pois, oferece muitos benefícios, incluindo a sustentabilidade, a redução de gases que promovem o efeito estufa, o desenvolvimento regional, a estrutura social, o desenvolvimento da agricultura e da segurança (REIJNDERS & HUIJBREGTS, 2008).

O biodiesel é um combustível renovável que pode ser obtido a partir de óleos vegetais e gorduras de origem animal. Os óleos vegetais e gordura animal são ésteres de ácidos graxos do glicerol, e, por serem abundantes na natureza, receberam a denominação de triacilgliceróis. Os óleos e gorduras contêm diferentes tipos de ácidos graxos ligados ao glicerol, e que dependendo do comprimento de sua cadeia e do grau de insaturação é o parâmetro de maior influência sobre as propriedades dos óleos vegetais e gorduras animais de onde se originam (KNOTHE *et al.*, 2006). Os ácidos graxos sem duplas ligações são conhecidos como saturados e aqueles que a possuem são conhecidos como insaturados (uma ligação dupla) ou polinsaturados (duas ou mais ligações duplas) (MORETTO & FETT, 1998).

Os ácidos graxos podem ser encontrados na natureza na forma não associada, sendo assim conhecidos como ácidos graxos livres, ou associados formando outras classes de compostos químicos. Dentre os derivados mais importantes encontram-se os ésteres e fosfatídeos (MORETTO & FETT, 1998).

3.6.1- Matérias-primas para a produção de Biodiesel

As principais matérias-primas para a síntese de biodiesel são os óleos vegetais e os álcoois. Devido à sua diversidade e alta produtividade de grãos utilizados na fabricação de óleos vegetais, o Brasil possui grande potencial na produção de biodiesel (BELICH, 2006). No entanto, a escolha de uma oleaginosa deve levar em consideração

o teor de óleo na planta, o rendimento agrícola e a disponibilidade de colheita em cada região. Segundo mapeamento, as principais fontes para produção de biodiesel na região Nordeste são a mamona, palma, babaçu, soja e algodão (PINTO, 2005). A partir desse mapeamento a Figura 5 foi montada de forma a ilustrar as principais matérias-primas nas cinco regiões do Brasil.

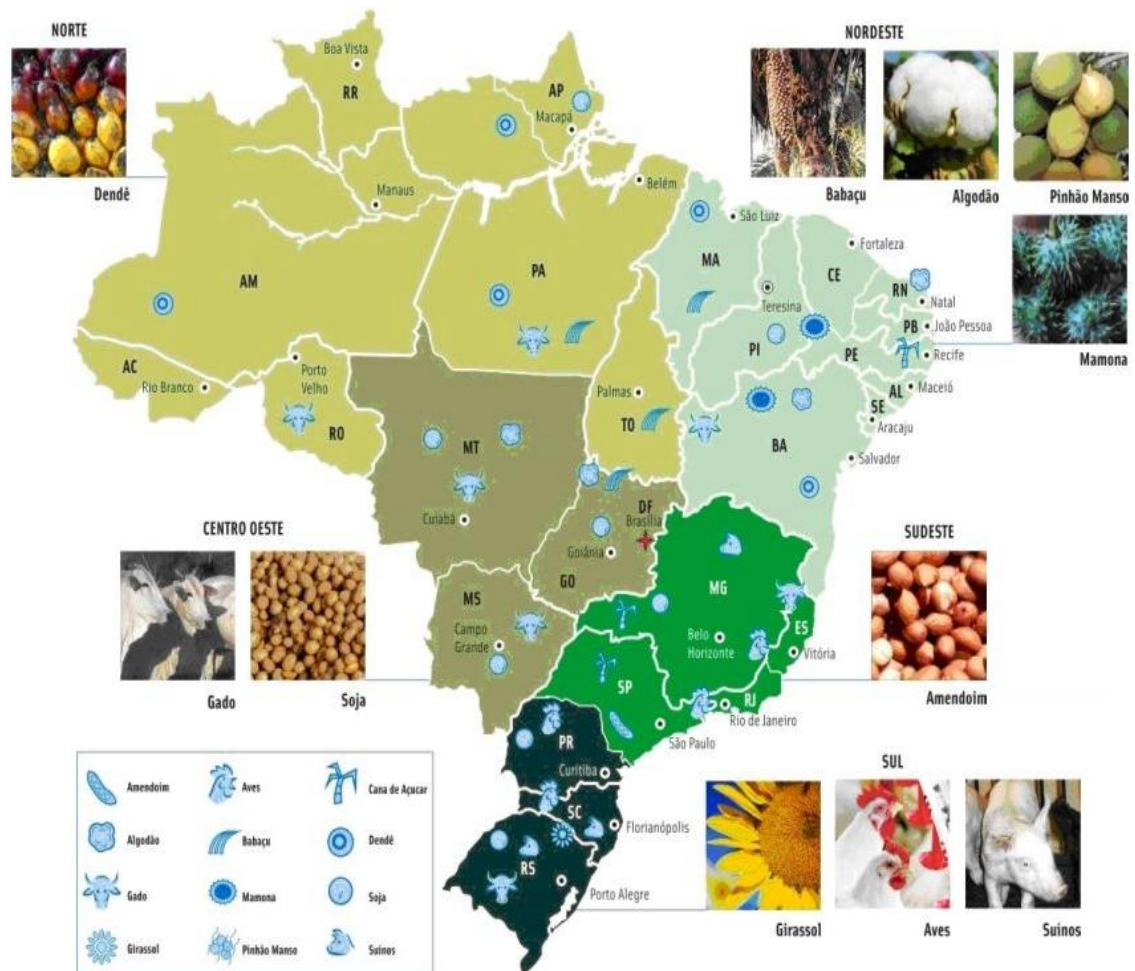


Figura 05 - Matérias-primas para produção de biodiesel nas regiões brasileiras.

As rotas alcoólicas (agente de transesterificação), utilizam álcoois de cadeia curta como o metanol e etanol. A polaridade e o comprimento da cadeia são aspectos importantes que têm efeito no desempenho da reação. A seleção da rota alcoólica deve levar em conta o custo e o desempenho do mesmo (ENCINAR *et al.*, 2007).

3.6.2 - Produção de Biodiesel

Os óleos e gorduras podem ser convertidos em biodiesel através da transesterificação ou alcoólise que é o processo mais comumente utilizado para a

aplicação dos triacilgliceróis como combustíveis. A transesterificação mostra-se como uma opção para melhorar o desempenho dos óleos vegetais como combustíveis, sendo um processo simples, cujo produto denominado de biodiesel, tem características similares ao óleo diesel obtido do petróleo (MEHER *et al.*, 2004). Assim, podemos definir o biodiesel como uma mistura de mono-álquil ésteres de ácidos graxos, derivado de fontes renováveis, tais como óleos vegetais e gorduras animais, obtido através de um processo de transesterificação, no qual ocorre a transformação de triacilgliceróis em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (RAMOS *et al.*, 2000).

Na transesterificação, os triacilgliceróis reagem com um álcool, na presença de um catalisador, usualmente alcalino, para produzir os ésteres correspondentes e glicerol (SERIO *et al.*, 2006).

A reação entre o triacilglicerol e o álcool para promover a formação de éster (biodiesel) e glicerol possui caráter reversível. Portanto, para aumentar o rendimento de álcool ésteres, um excesso de agente transesterificante (álcool) é usado (NOUREDDINI & MEDIKONDURU, 1997). Assim, para a relação estequiométrica álcool:óleo, que é de 3:1, usa-se geralmente a relação de 6:1, ou seja cerca de 100% em excesso.

A transesterificação consiste de três reações reversíveis e consecutivas: triacilglicerol → diacilglicerol → monoacilglicerol → glicerol (ENCINAR *et al.*, 2007). A reação está ilustrada na Figura 6.

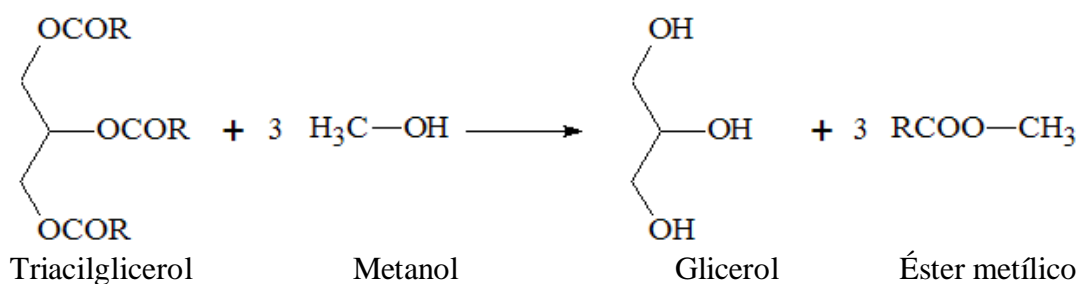


Figura 6- Reação de transesterificação

No Brasil, o uso de etanol anidro é vantajoso, pois este é produzido em larga escala para ser misturado à gasolina, além de ser um produto obtido através de biomassa e, dessa maneira, o processo torna-se totalmente independente do petróleo (NASCIMENTO *et al.*, 2001), promovendo a produção de um combustível completamente agrícola (ENCINAR *et al.*, 2002). A produção de etanol está crescendo e já alcançou 7 bilhões de litros por ano, sendo que a capacidade instalada de produção no Brasil é da ordem de 16 bilhões de L/ano.

Para acelerar a transesterificação, a mesma é realizada em presença de um catalisador. Esta reação pode ser catalisada por sítios ácidos ou básicos, em meio homogêneo ou heterogêneo. Os catalisadores mais comuns no processo de transesterificação são os catalisadores homogêneos (alcalinos e ácidos).

Os catalisadores KOH e NaOH são usados na transesterificação (FREDDMAN *et al.*, 1986) em meio básico considerando-se que o catalisador alcalino apresenta maior rendimento e seletividade, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos (ENCINAR *et al.*, 2002). Por outro lado, a utilização de catalisadores básicos na transesterificação de óleos vegetais com elevado índice de acidez, ou umidade, pode gerar uma grande quantidade de sabão, e conseqüentemente de uma emulsão. A saponificação é uma reação paralela indesejada por consumir muito catalisador e formar emulsões (DOSSIN *et al.*, 2006).

Na transesterificação, a reação é conduzida sob agitação mecânica. Essa agitação é necessária para melhorar a transferência de massa que é dificultada pela baixa miscibilidade do óleo com o álcool. Além das condições reacionais, a qualidade da matéria-prima é um parâmetro fundamental para a viabilidade da reação (FERREIRA, 2007).

Um fator importante para que ocorra uma transesterificação satisfatória é que os óleos possuam baixo teor de ácidos graxos livres (DORADO *et al.*, 2002; LAGO *et al.*, 1998), pois, durante o processo de transesterificação esses podem reagir com o catalisador alcalino formando produtos saponificados (KUSDIANA & SAGA, 2001), o que diminui a eficiência de conversão. Os óleos brutos encontrados comercialmente possuem um índice de acidez entre (0,5 – 3)% (KUSDIANA, 2001), sendo indicado para uma reação completa na produção de biodiesel que o teor de ácidos graxos livres seja inferior a 3% (DORADO *et al.*, 2002).

Quando a matéria-prima possui grande teor de ácidos graxos livres e umidade, a catálise ácida é recomendada como um pré-tratamento antes da transesterificação alcalina. Nestes casos, a eficiência dos catalisadores ácidos é geralmente maior que a dos catalisadores alcalinos. Os catalisadores mais recomendados são os ácidos sulfúrico, clorídrico, fosfórico e sulfônico. A catálise ácida requer tempos de reação e razões entre álcool/óleo devidos para que se obtenham conversões satisfatórias (MEHER *et al.*, 2006; MARCHETTI *et al.*, 2007). O catalisador ácido promove uma esterificação dos ácidos graxos livres, convertendo-os a ésteres. A esterificação de ácidos graxos é relativamente mais rápida que a transesterificação de triacilgliceróis (KESKIN *et al.*,

2007). Este processo de esterificação é utilizado em óleos que tem alto teor de acidez, com 3% a 40% de ácidos graxos livres.

A preparação do biodiesel também pode ser feita através de enzimas, tais como as lipases que são usadas como catalisadores, porém o rendimento da reação é, algumas vezes, menor (MEHER, 2005; FREITAS & FREDO, 2005). Estudos têm sido realizados utilizando diferentes óleos como matéria-prima, diferentes álcoois (metanol, etanol, butanol), bem como vários catalisadores como os homogêneos, ácido sulfúrico e fluidos supercríticos, e os heterogêneos, tais como lipases (MARCHETTI et al., 2007).

3.6.3 - Óleos Vegetais

3.6.3.1 – As plantas oleaginosas

Na Figura 7 encontra-se uma plantação de Mamona.



Figura 7 - Mamona (*Ricinus communis* L.)

O óleo de mamona é um óleo vegetal, conhecido como óleo de rícino e, internacionalmente, como castor oil; diferencia-se dos demais óleos vegetais pela grande quantidade de hidróxidos que contém especialmente o do ácido ricinoléico (SAVY FILHO, 1999), a presença desse triacilglicerol na sua composição, é de 90%, em média, contendo três grupos altamente reativos que permitem obter um número grande de reações químicas decorrentes da presença do grupo carboxila no carbono 1, uma dupla ligação no carbono 9 e a hidroxila no carbono 12 que, juntas, permitem qualidades específicas à produção de uma infinidade de produtos industriais.

No óleo de mamona, cerca de 90% do ácido graxo presente na molécula do triacilglicerol é o ácido ricinoléico (ácido 12-hidroxioléico) sendo os restantes 10%

constituídos de ácidos graxos não hidroxilados, principalmente dos ácidos oléicos (3,5%) e linoléicos (4,5%).

Segundo Gaspar & Silva (1956) o óleo de mamona é classificado, comercialmente, como: óleo industrial número 1 (padrão), límpido e brilhante com no máximo 1% de acidez; 0,5% de impurezas e umidade, óleo industrial número 3 (Comercial) cuja acidez e impurezas não devem ser maiores que 3%; já o óleo medicinal deve ser totalmente isento de impurezas (FREIRE, 2001). No processo de extração, o óleo pode ser obtido através de diferentes métodos, extração por solvente ou, ainda, pela prensagem, a frio ou a quente. A extração por prensagem a frio é utilizada para a elaboração do óleo industrial (MACEDO & MACEDO, 2004).

O pinhão manso, assim como a mamona, pertence à família das euforbiáceas, sendo uma espécie nativa da Índia. Esta oleaginosa está sendo considerada uma opção agrícola para a produção de óleo, pois, produz no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva que pode se estender por 50 anos. As principais vantagens de seu cultivo são: o baixo custo de produção, sua capacidade de produzir em solos pouco férteis e arenosos, além da alta produtividade e da facilidade de colheita das sementes. As sementes produzem um óleo de excelente qualidade, superior ao óleo de mamona, e semelhante ao diesel extraído do petróleo, para ser usado como combustível. As propriedades encontradas no biocombustível do pinhão manso atendem às especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para o petrodiesel (PINHÃO MANSO, 2008). Na Figura 8 encontra-se uma planta de Pinhão Manso.



Figura 8- Pinhão manso (*Jatrophas curcas L*)

O pinhão manso é uma planta produtora de óleo com todas as qualidades necessárias para ser transformado em biodiesel (PURCINO & DRUMMOND, 1986). Além de perene e de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida, podendo se tornar grande produtora de matéria-prima como fonte opcional de combustível. Para esses autores, essa é uma cultura que pode se desenvolver nas pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar disponível, como acontece com a cultura da mamona na Bahia, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da Região Nordeste. Além disso, como é uma cultura perene, pode ser utilizada na conservação do solo, pois, o cobre com uma camada de matéria seca, reduzindo, dessa forma, a erosão e a perda de água por evaporação, evitando enxurradas e enriquecendo o solo com matéria orgânica decomposta (PEIXOTO, 1973).

O papel da *Jatropha curcas L* como substituinte do óleo diesel tem sido muito investigado. O valor da energia das sementes é de 4980,3 cal/g (20,85 MJ/kg) (AUGUSTUS *et al.*, 2002). Este alto valor pode ser atribuído à presença de alto teor de óleo, polifenol e hidrocarbonetos nas sementes. O valor bruto do calor da fração oleosa é 9036,1 cal/g (37,83 MJ/kg). O valor da fração de hidrocarboneto é de 9704,4 cal/g (40,63 MJ/kg), é muito maior que o carvão antracito e comparável com óleo bruto.

Muitos pesquisadores têm estudado seu uso potencial como biodiesel ou como blenda com diesel (NARAYANA, 2006; PRAMANIK, 2003; AUGUSTUS *et al.*, 2002). A metodologia de extração do óleo foi estudada por Sha *et al.*, (2004). O valor calorífero e o número de cetano do óleo de *Jatropha curcas L* são comparados com o diesel, mas a massa específica é alta e desta maneira tem um significativo papel na engenharia no que diz respeito a parâmetros de emissão e combustão por otimização de injetores de pressão (NARAYANA, 2006).

Alguns pesquisadores usaram ultrasonificação como pré-tratamento para extração de óleo e extração enzimática concluindo ser bastante eficiente a extração do óleo com esta técnica conseguindo obter em 10 min, em pH 9,0, uma extração de 67% de óleo (SHAH *et al.*, 2004). Entretanto, o máximo de 74% foi obtido por 5 minutos seguido de extração enzimática usando protease alcalina em pH 9,0. O uso do ultrassom reduziu os processos de 18 para 6h.

Beckar (2006) e Hirata (1994) trabalharam na busca de biodiesel de *Jatropha curcas* com alto teor de óleos graxos livres (15%). Usaram a metodologia de superfície de resposta (RSM) para otimizar a produção de biodiesel com óleo extraído da *Jatropha curcas*, estudando 3 variáveis: quantidade de metanol (M), concentração (C) e tempo de

reação (T) para reduzir os ácidos graxos livres contidos no óleo (TIWARI *et al.*, 2007). Conseguiu reduzir os ácidos graxos livres do óleo da *Jatropha curcas* de 14% para menos de 1%. Considerou-se também possível o uso desse óleo não apenas como combustível, mas também nas indústrias de tintas e de vernizes. A casca dos pinhões pode ser usada como carvão vegetal e matéria-prima na fabricação de papel.

Algumas estruturas de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão manso estão representadas na Figura 9.

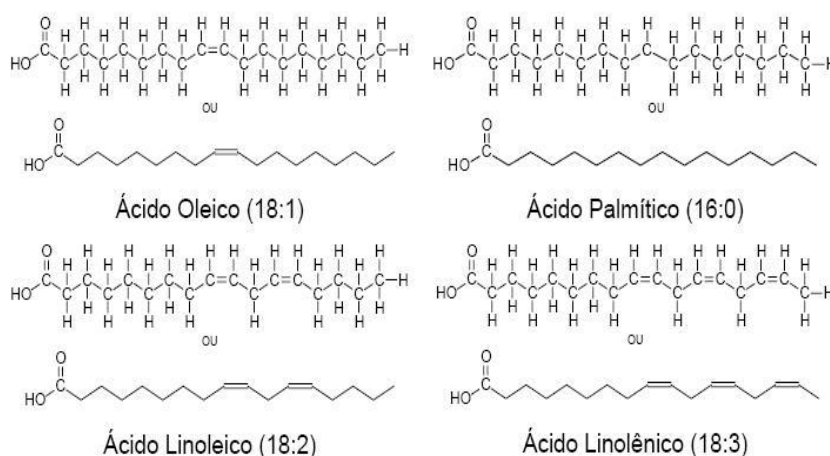


Figura 9 - Estruturas de alguns ácidos graxos presentes no óleo de pinhão manso.

De acordo com as características de cada tipo de óleo, são necessárias condições de operação específicas para se obter um produto de qualidade garantida. A água e os ácidos graxos livres presentes nos óleos inibem a reação. Dessa forma, processos especiais são necessários se o óleo ou a gordura contiverem quantidades significativas de ácidos graxos livres. Quando um catalisador alcalino é adicionado a estes óleos, os ácidos graxos livres reagem com o catalisador e formam sabão (GERPEN, 2005), como mostrado na Figura 10. O sabão torna mais difícil a separação do biodiesel da fração de glicerol.



Figura 10: Reação de saponificação

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização dos sistemas de tratamento de esgoto de Ibimirim e Pesqueira.

4.1.1 – Sistema de Pesqueira biológico de tratamento dos esgotos está apresentado na Figura 11.

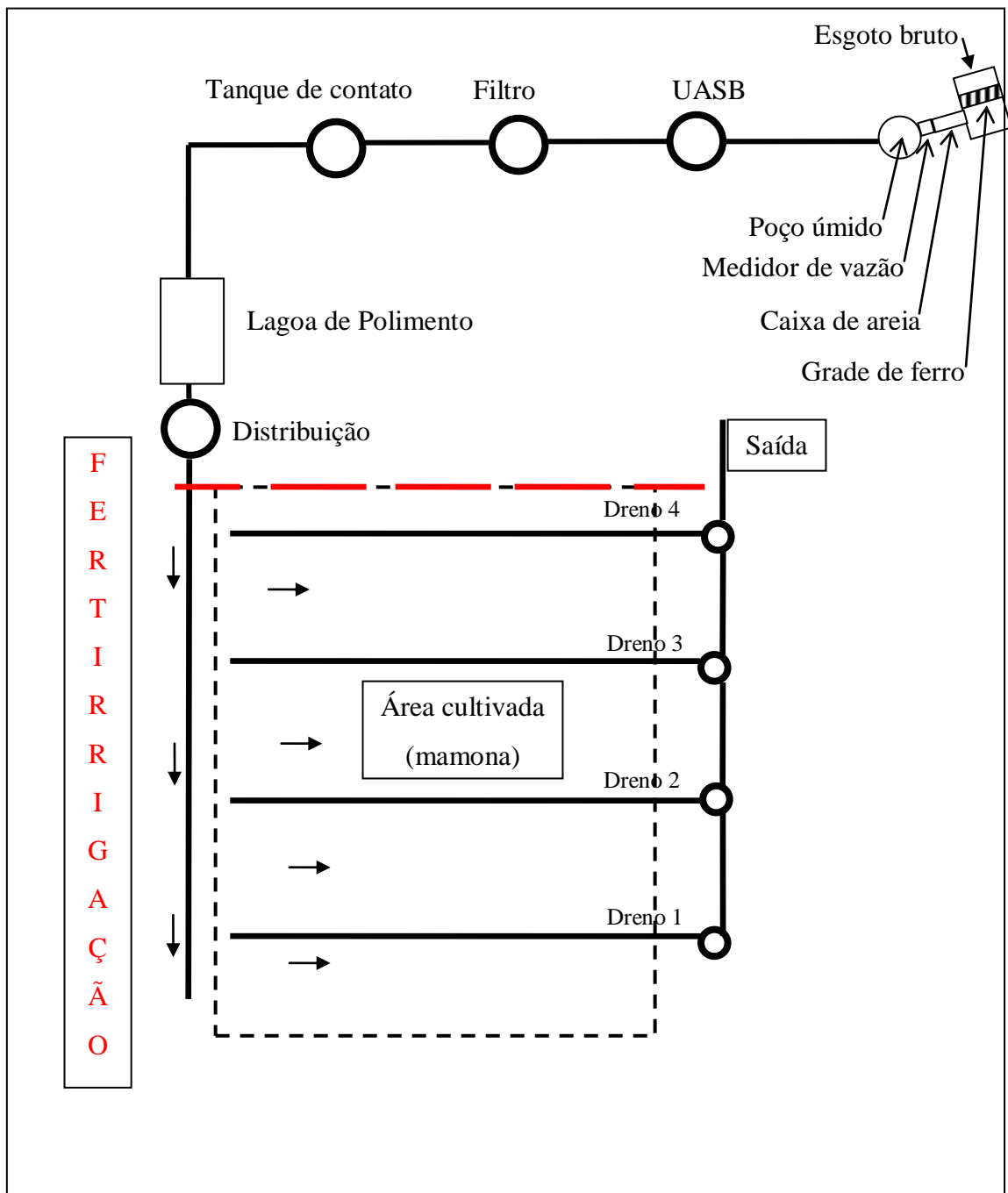


Figura 11 – Sistema de tratamento de esgoto do município de Pesqueira-PE.

4.1.2 – Sistema de Ibimirim biológico de tratamento dos esgotos está apresentado na Figura 12.

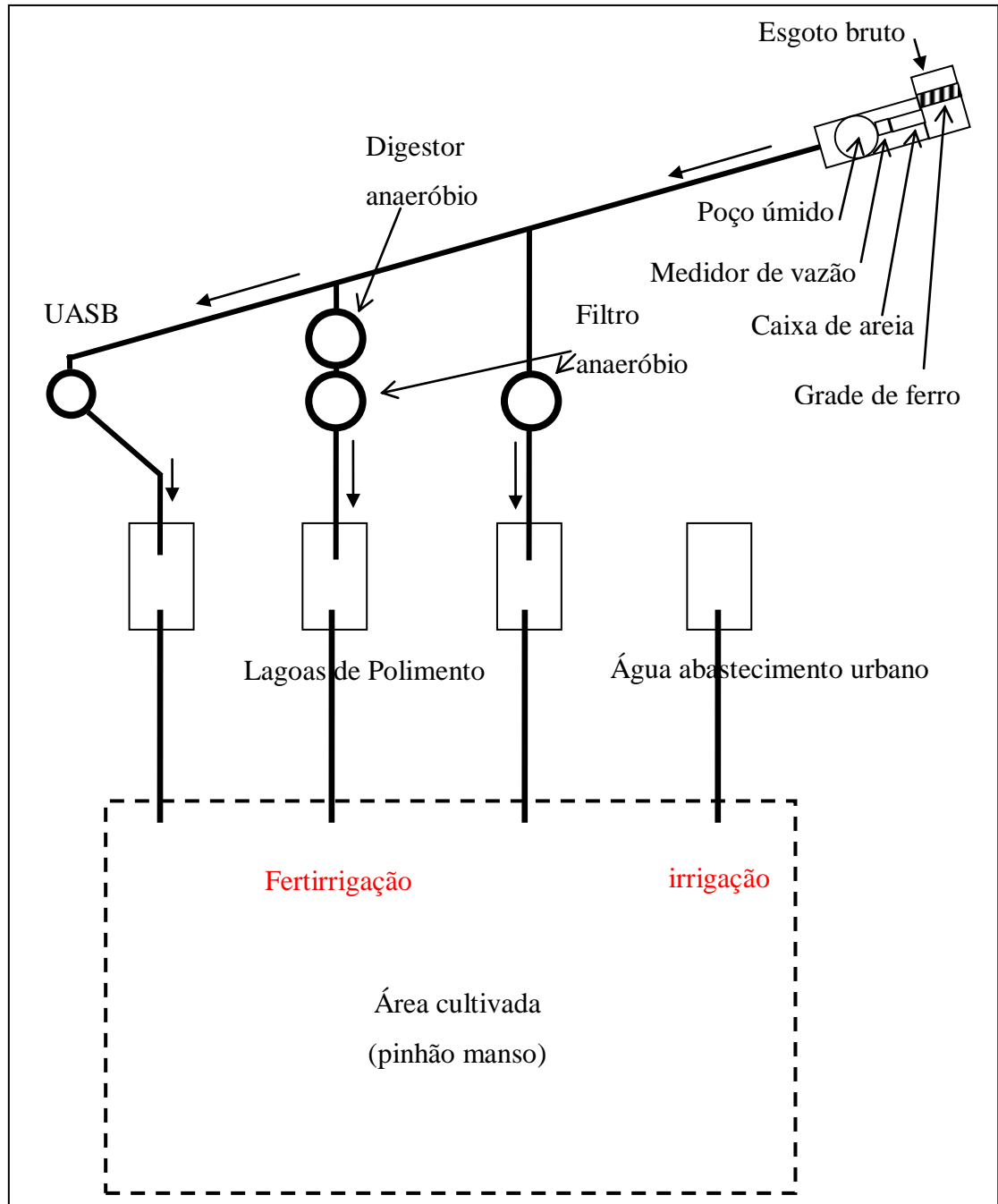


Figura 12 - Sistema de Tratamento de Esgoto de Ibimirim

A frequência das análises é observada na Tabela 5, logo a seguir com os respectivos parâmetros e periodicidade das análises sugeridas para o sistema de tratamento. O monitoramento, pontos de amostragem e frequência de algumas análises encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5 - Periodicidade das análises sugeridas para o UASB, decanto-digestor e filtro anaeróbio.

Parâmetro	Afluente	Efluente
pH	Diariamente	Diariamente
Sólidos sedimentáveis	Diariamente	Diariamente
Temperatura	Diariamente	Diariamente
DQO	Mensal	Mensal
DBO	Mensal	Mensal
Óleos e graxas	Mensal	Mensal
Nitrogênio	Mensal	Mensal
Fósforo	Mensal	Mensal
Q(Vazão)	Diariamente	-

Os componentes dos sistemas de tratamentos dos esgotos dos respectivos municípios estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Componentes das unidades de tratamento dos respectivos municípios.

Município : Pesqueira-PE	Município: Ibimirim-PE
1.Grade de ferro;	1.Grade de ferro;
2.Caixa de areia;	2.Caixa de areia;
3.Medidor de vazão;	3.Medidor de vazão;
4.Poço úmido;	4.Poço úmido;
5.Reator UASB;	5.Tanque de água de abastecimento urbano;
6.Filtro anaeróbio;	6.Reator UASB;
7.Tanque de contato;	7.Decanto-digestor seguido do filtro anaeróbio;
8.Lagoas de efluente.	8.Filtro anaeróbio;
-	9.Lagoas de efluente.

4.1.3 – Caracterização dos efluentes

Na avaliação do reúso de água toda a metodologia utilizada seguiu o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). Os reatores de manta de

lodo compõem o sistema de tratamento da água residuária de aproximadamente 150 residências em Ibimirim e 100 residências em Pesqueira.

Os parâmetros adotados para a caracterização dos efluentes brutos e tratados foram: Temperatura; pH; Óleos e graxas afluente e efluente do reator; DQO do afluente e efluente dos sistemas utilizados; DBO afluente e efluente dos sistemas utilizados; Sólidos decantáveis do afluente e efluente; Condutividade do afluente e efluente dos sistemas utilizados; Fósforo Total do afluente e efluente dos sistemas utilizados; Nitrogênio Total Kjeldahl do afluente e efluente dos sistemas utilizados; Cloretos do afluente e efluente; Sódio do afluente e efluente e Potássio do afluente e efluente.

As Figuras 13, 14 e 15 mostram os sistemas instalados em Ibimirim.

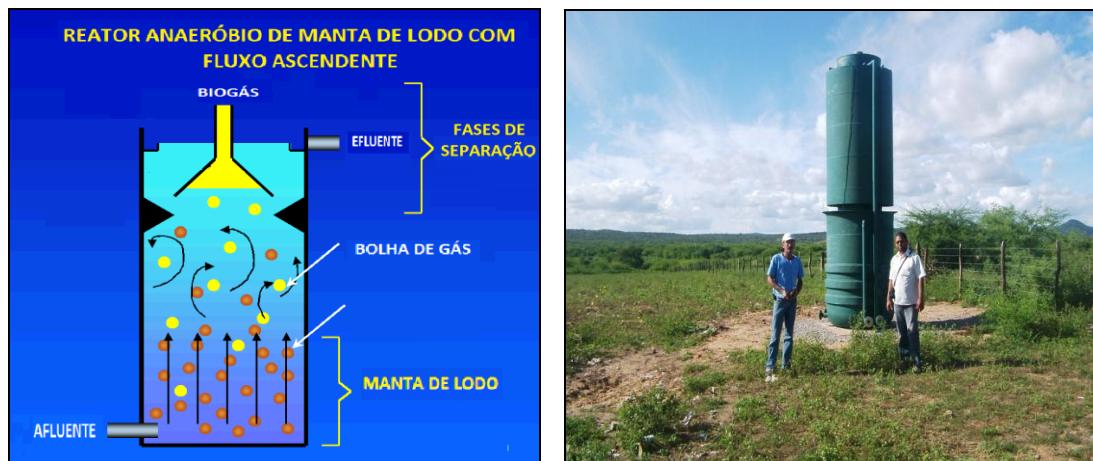


Figura 13 - Esquema do reator UASB utilizado no experimento.



Figura 14- Esquema do decanto digestor seguido do filtro anaeróbio.



Figura 15- Esquema do filtro anaeróbio.

As Figuras 16 a 19, mostram os sistemas instalados em Pesqueira



Figura 16- Medidor de vazão.



Figura 17- Poço úmido.

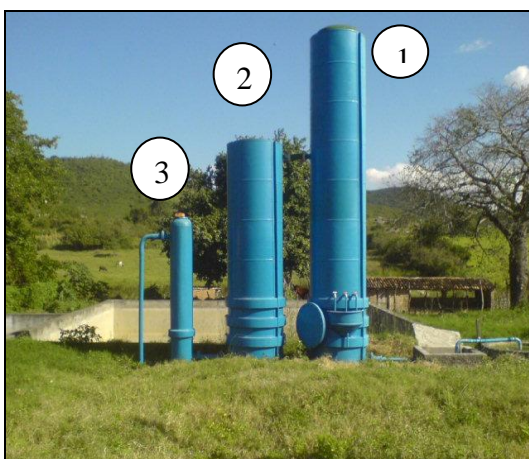


Figura 18- 1-UASB;2-Filtro e 3-Tanque.



Figura 19- Lagoas de polimento.

4.1.4 – Caracterização das águas de irrigação

Para a coleta das águas de irrigação, foram selecionados 4 pontos de amostragem de água: água residuária bruta (AR) retirada diretamente da caixa de coleta; efluente do digestor anaeróbio mais filtro anaeróbio, efluente do filtro anaeróbio, efluente do tratamento anaeróbico (UASB) em Ibimirim. Em Pesqueira foram selecionados 8 pontos de amostragem de água: água residuária retirada diretamente da caixa de coleta; efluente do tratamento anaeróbio (UASB); efluente da lagoa de polimento; afluentes dos drenos 1 ao 4, após lixiviamento do solo e saída da estação.

As amostras de água foram coletadas mensalmente, preservadas e os parâmetros tanto físicos como químicos de avaliação da qualidade da água obtido após antes e após o tratamento biológico foram determinados de acordo com APHA (2005). Os dados obtidos foram transformados estatisticamente.

A qualidade das águas é avaliada levando-se em conta uma série de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, ensaios de custo elevado e de difícil execução. Uma vez que esta bateria de ensaios costuma ser aplicada a um grande número de amostras, colhidas em estações e períodos diferentes, a obtenção de grandes volumes de informações é um fato corrente, assim como as dificuldades encontradas na sua interpretação (FERREIRA, 1999).

Em geral, a interpretação destes dados é realizada de maneira univariada (analisando-se uma variável por vez), ou estudando-se correlações entre, no máximo, duas ou três variáveis. Logicamente que, por se tratar de sistemas naturais em que as variáveis costumam interagir fortemente, esta aproximação univariada é inadequada para uma correta interpretação dos resultados, o que dificulta a avaliação temporal e sazonal sobre as principais fontes de poluição pontuais e difusas.

Para tarefas como esta, a quimiometria oferece um conjunto de ferramentas multivariadas, dentre as quais se destaca a análise de componentes principais (ACP). A ACP pode ser considerada como uma ferramenta de compressão, que permite diminuir a dimensionalidade da matriz de dados, facilitando, conseqüentemente, a sua visualização. Em geral, espera-se que um menor número de componentes principais possa explicar a maior parte da variância dos dados originais, sem perda de informação relevante. O programa THE UNSCRAMBLER ® versão 5.0 (1998) foi utilizado para análise multivariada dos dados.

4.2 - Materiais e Métodos: Produção e Avaliação da Qualidade do Biodiesel

O cultivo das leguminosas (pinhão manso e mamona) e a preparação do biodiesel seguiu o esquema apresentado na Figura 20

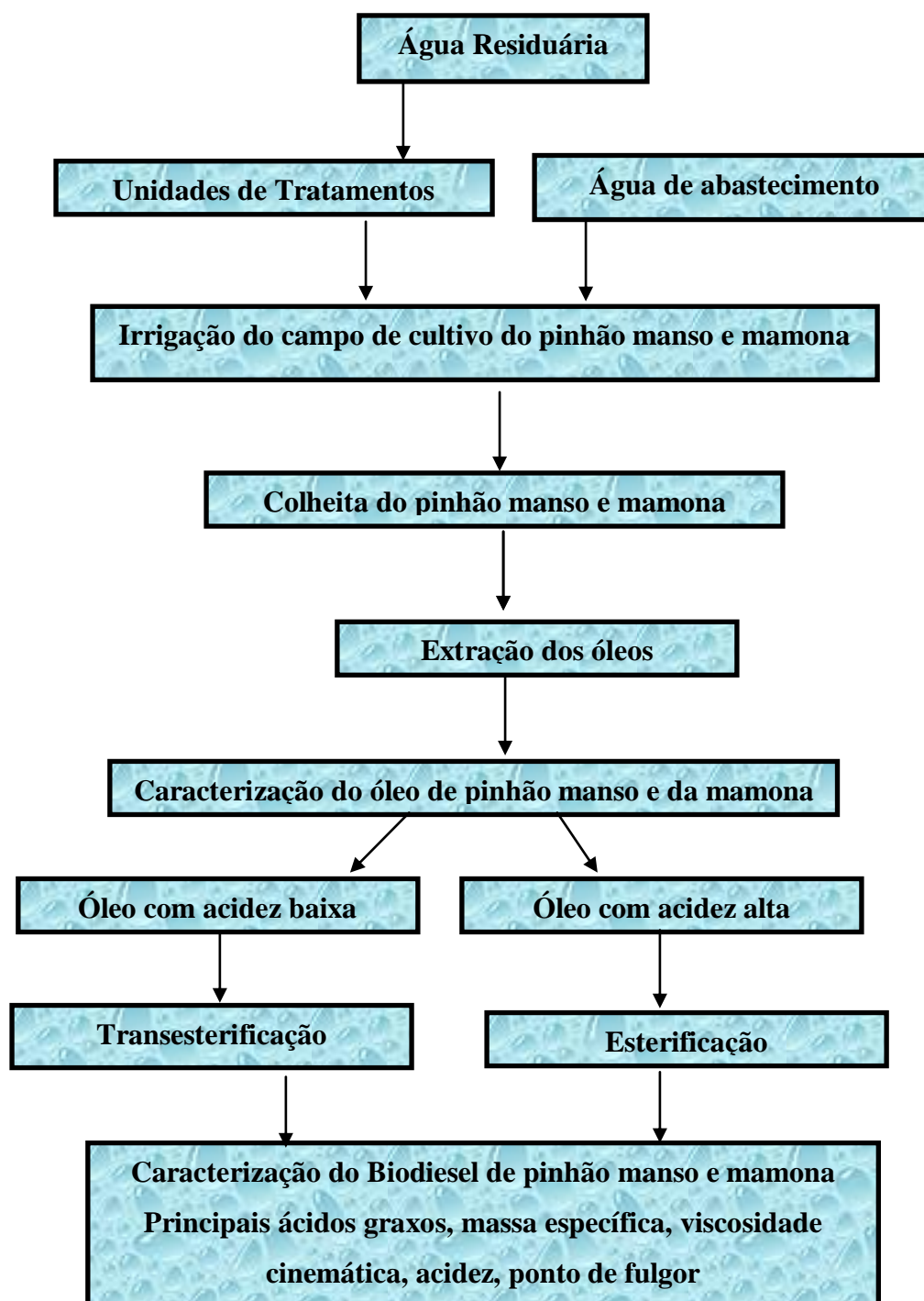


Figura 20 - Fluxograma de toda a metodologia do trabalho

Neste sistema de produção utilizou-se sementes de mamona e estacas de pinhão manso.

Foi adotado o sistema de irrigação localizado de baixo custo, denominado de xique-xique, com uma linha de irrigação para cada linha de plantas. A irrigação foi realizada diariamente com volume baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) e nas lâminas de irrigação.

4.2.1 - Determinação do Teor de Óleo das sementes por Extração

Nas Figuras 21 a 24, são mostradas as sementes de pinhão manso e mamona respectivamente.



Figura 21 – sementes de pinhão manso



Figura 22 – sementes descascadas de pinhão



Figura 23 – Sementes mamona irrigadas



Figura 24 – Sementes mamona fertirrigadas

4.2.1.1.- Extração com Solventes – Método Soxhlet

A extração do óleo foi efetuada com solventes usados industrialmente em um extrator Soxhlet

O método Soxhlet utiliza um aparato que permite a extração de lipídeos através da contínua passagem de um solvente através da amostra. O método de Soxhlet tem como características:

- O extrator utiliza o refluxo do solvente;
- Uso de amostras sólidas;
- A amostra não fica em contato direto com o solvente em ebulição.

Primeiro, foram escolhidas aleatoriamente as sementes do pinhão manso e mamona para em seguida foram trituradas separadamente em um multiprocessador doméstico (modelo Multimix II, Zaitec) de forma homogênea a fim de aumentar a superfície de contato com o solvente. Posteriormente, as amêndoas maceradas foram submetidas a um processo de secagem, o qual foi efetuado numa estufa a 60°C por um período inicial de 30 min, realizando-se pesagens em intervalos de 15 min até que a massa das amostras permanecesse constante entre as pesagens subsequentes. A Figura 25, ilustra as sementes submetidas a um dessecador, após secagem na estufa.



Figura 25 – Sementes trituradas para posterior extração.

As amêndoas maceradas foram submetidas a extração com cerca de 80 mL de ciclo-hexano por um período de duas horas a uma temperatura de cerca de 80°C, como ilustrado nas Figuras 26 e 27. Após o término da extração o solvente foi separado do

óleo através de um rotaevaporador como demonstrado nas Figuras 28 e vista aproximada do mesmo na Figura 29. Os óleos extraídos das oleaginosas estão demonstradas nas figuras 30 e 31. Os óleos extraídos tanto a partir das sementes maceradas do pinhão manso quanto ao de mamona possuíram uma coloração amarelada.



Figura 26 – Sementes acondicionadas no Soxhlet.



Figura 27 – Vista aproximada da extração.



Figura 28 – Rotaevaporador.



Figura 29 – Detalhe do rotaevaporador.



Figura 30- Coloração do óleo de pinhão.



Figura 31- Coloração do óleo de mamona.

4.2.2. – Tratamento do Óleo de Pinhão Manso

O óleo de pinhão manso por se tratar de um óleo bruto passou pelo processo de degomagem. De acordo com a literatura este método consiste na adição de 3% (m/m) de água ao óleo aquecido a 70°C e posterior agitação durante 30 minutos. Neste caso, como o óleo apresentava grande quantidade de fosfatídeos, aumentou-se a proporção de água para 5% e posteriormente para 8% em relação à massa de óleo, valor considerado suficiente para a remoção da goma. Após a agitação, o óleo foi separado da goma em um funil de decantação separou-se a goma em seguida o óleo foi secado a 105°C por 1 hora.

4.2.2.1 - Acidez do Óleo

A metodologia para determinar o índice de acidez consiste em determinar o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos livres de um grama da amostra (MORETTO & FETTI, 1989). A titulação da amostra, dissolvida com solvente (éter + álcool), foi realizada com solução de hidróxido de sódio 0,1 N.

4.2.3. - Produção do Biodiesel

O biodiesel foi produzido a partir do óleo degomado, por duas etapas, esterificação e transesterificação. A reação de esterificação foi realizada quando o óleo apresentou alto teor de acidez, evitando dessa forma a formação de sabão na etapa de transesterificação. Para a produção do biodiesel foi feita a reação de esterificação seguida da reação de transesterificação, utilizando um reator batelada com camisa de aquecimento e agitador mecânico.

A conversão dos ácidos graxos livres em éster foi calculada a partir da medida do índice de acidez através da titulação com uma solução de NaOH das amostras retiradas no início e no fim da reação dada pela Equação 03. O teor de éster após a reação de transesterificação será obtido por cromatografia gasosa.

$$x(\%) = \frac{a_i - a_f}{a_i}$$

onde a_i é a acidez inicial e a_f é a acidez final da reação.

4.2.4. - Esterificação do óleo de Pinhão Manso

O processo de esterificação é uma reação química reversível na qual um ácido carboxílico reage com um álcool produzindo éster e água. O objetivo deste processo é verificar a diminuição da acidez da amostra e formação de biodiesel.

4.2.4.1 – Procedimento da Esterificação

A esterificação do óleo do pinhão manso seguiu os seguintes passos: Pesou-se 300 g do óleo em balança analítica, verificou-se a conexão do reator com o agitador mecânico e o banho-maria. Fez-se os cálculos respectivos para determinação da massa de álcool pela razão molar, ligou o banho-maria e ajustou a temperatura para desejada (*ex: 55°C*). Adicionou-se a amostra de óleo no reator, verificou-se a temperatura do banho-maria está estabilizada com a do termômetro no reator. A velocidade de agitação foi entre 10 a 15 rotações por minuto (rpm) e observou-se. Posteriormente, pesou-se a massa de concentração desejada de álcool metílico e catalisador em relação a massa do óleo (catalisador utilizado: H_2SO_4), adicionou-se ao óleo a massa de álcool + catalisador e retirou-se alíquotas após tempos determinados (5, 15, 60, 90) min. e verificou-se a acidez do biodiesel.

Após agitação e tempo de reação, colocou-se a amostra no funil de decantação por 24 horas.

No esquema da esterificação do ácido graxo, se o álcool a ser utilizado for o metanol ou o etanol, resultarão no éster metílico ou etílico, respectivamente.

Na Figura 32, encontra-se o reator para o procedimento de esterificação do pinhão manso.

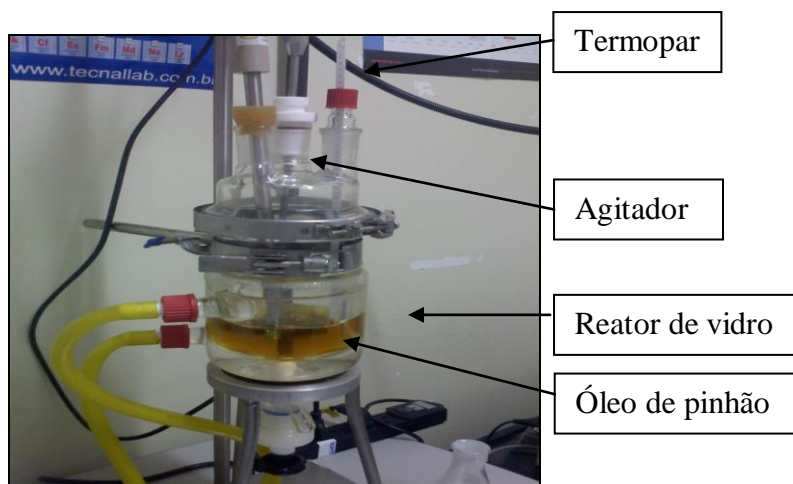


Figura 32 – Reator usado no processo de esterificação

4.2.5. - Reação de Transesterificação do Óleo Esterificado

Este processo de transesterificação seguiu o método industrial da fabricação de biodiesel.

4.2.5.1 – Procedimento da Transesterificação

A transesterificação seguiu os seguintes passos: Pesou-se 300 g do óleo esterificado em balança analítica, fez-se os cálculos respectivos para determinação da massa de álcool pela razão molar. Ligou-se o banho-maria e ajustar a temperatura para desejada (*ex: 60°C*), adicionar a amostra de óleo esterificado no reator e verificou-se a temperatura do banho-maria está estabilizada com a do termômetro no reator. A velocidade de agitação foi entre 10 a 15 rotações por minuto (rpm) e observou-se. Posteriormente, pesou-se a massa de concentração desejada de álcool e catalisador em relação a massa do óleo esterificado, adicionou-se ao óleo esterificado a massa de álcool + catalisador. Após agitação e tempo de reação, colocou-se a amostra no funil de decantação por 24 horas. Na Figura 33, encontra-se o reator para o procedimento das transesterificações dos óleos das oleaginosas.

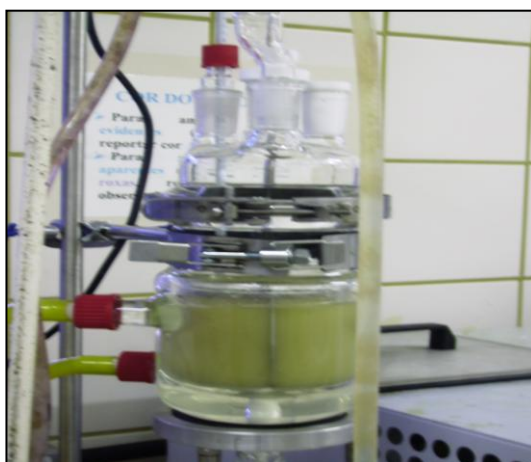


Figura 33 – Reator usado no processo de Transesterificação

4.3. - Parâmetros de caracterização (análises físico - químicas) do óleo e biodiesel obtido.

A partir dos óleos obtidos de ambas sementes, foram analisadas as propriedades massa específica a 20°C, viscosidade cinemática a 40°C e índice de acidez. A composição química do óleo de pinhão manso foi determinada utilizando um cromatógrafo a gás CG Master empregando uma coluna capilar PEG 530 $\mu\text{m} \times 60 \text{ m}$, apresentando a porcentagem dos ácidos graxos. Para o biodiesel foram realizados as mesmas análises de ponto de fulgor.

4.3.1. – Viscosidade Cinemática

A determinação da viscosidade cinemática a 40°C foi realizada de acordo com o método ASTM D 445 – 1997. A viscosidade cinemática foi obtida pelo produto entre o tempo de escoamento e a constante de calibração do viscosímetro utilizado (viscosímetro 350, $k = 0,4811$). O viscosímetro com o banho está ilustrado na Figura 34.



Figura 34 - Viscosímetro e banho termostático.

4.3.2. – Índice de acidez

A análise do índice de acidez foi implementada conforme o método ASTM D 664 - 1995. A amostra de biodiesel foi dissolvida em uma mistura de tolueno e 2-propanol contendo uma pequena quantidade de água. Uma vez dissolvida, a amostra foi titulada potenciometricamente com hidróxido de potássio alcoólico usando um eletrodo contendo solução alcoólica de LiCl como eletrólito. As leituras do medidor foram plotadas automaticamente contra os respectivos volumes de solução titulante e os pontos finais são tomados nas inflexões bem definidas na curva resultante. O índice de acidez foi calculado a partir do volume de titulante gasto ao se obter o ponto final da titulação. O equipamento utilizado para análise foi um titulador potenciométrico Metrohm, conforme Figura 35. Os resultados foram obtidos através do Datalogger, aplicativo que recebe os resultados das análises do instrumento analítico, contido no software Metrodata *VESUV*. O mesmo foi expresso em mg KOH/g de amostra.



Figura 35 - Titulador potenciométrico Metrohm.

4.3.3. – Massa Específica

A análise da massa específica foi efetuada de acordo com o método ASTM D 4052 – 1996. A massa específica foi determinada a partir da mudança na frequência de oscilação, causada pelo volume da amostra num tubo em U, em conjunto com os dados de calibração do densímetro. O equipamento utilizado para análise foi um densímetro de bancada Anton Paar DMA 4500, conforme Figura 36.



Figura 36 - Densímetro de bancada Anton Paar.

4.3.4. – Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor é a menor temperatura na qual o combustível gera uma quantidade de vapores que se inflamam pela aplicação de uma chama sob condições controladas. O ponto de fulgor foi avaliado conforme o método ASTM D93 - 2006. De acordo com o mesmo, amostras foram aquecidas sob condições controladas em uma cuba de dimensões especificadas. Durante o aquecimento, uma fonte de ignição foi direcionada para o interior da cuba em intervalos regulares. O analisador do ponto de fulgor está ilustrado na Figura 28



Figura 37 - Analisador do ponto de fulgor.

4.4 – Modelo Experimental

4.4.1 - Análise de Componentes Principais – ACP

O estudo e a interpretação dos resultados de um conjunto de dados envolvem a análise de uma infinidade de variáveis, tornando o trabalho difícil e demorado, e suscetível a erros na interpretação, podendo levar a perda de informações relevantes. A utilização de métodos multivariados, tais como a análise de componentes principais (ACP), destaca-se como uma importante ferramenta para avaliar características de um sistema UASB. (FERREIRA *et al.*, 1999; WOLD *et al.*, 1987).

O objetivo fundamental da análise de componentes principais é a obtenção de um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) de um conjunto de variáveis que retenham o máximo possível de informações contida nas variáveis originais (SAEG, 2007).

O método da ACP permite a redução da dimensionalidade do conjunto de dados contendo n variáveis, pois, embora as informações estatísticas presentes nas variáveis originais seja a mesma dos n - componentes principais, é comum obter, em apenas 2 ou 3 primeiras componentes principais, mais de 90% das informações (MOITA NETO & MOITA, 1998). A análise de componentes principais também pode ser usada para avaliar a importância das próprias variáveis escolhidas, ou seja, as variáveis originais com maior peso (loading) na combinação linear dos primeiros componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico (MOITA NETO & MOITA, 1998).

Devido a um grande número de parâmetros e amostras analisado nos efluentes bruto e tratado, foi utilizada a técnica de análise exploratória de projeções em componentes principais (ACP) para avaliar possíveis agrupamentos e verificar a existência de anomalias.

4.4.2 – Box Plots

Em 1977, John Tukey apresentou um método eficiente para apresentar resultados. Este método permitia que o usuário explorasse o máximo, o mínimo, e o número médio; o quartil superior e um quartil mais baixo.

- O máximo é o valor maior na série de dados.
- O mínimo é o valor menor na série de dados.
- O número médio é uma medida do centro que é o valor médio.

No quartil superior, número médio divide-se os dados em duas parcelas: a parcela superior e a parcela mais baixa. O quartil superior é o número médio da parte superior – metade dos dados. O quartil mais baixo é o número médio.

Cada uma das linhas verticais representa um número importante relacionado à série de dados: A primeira e última linha são extraídas nos valores os mais baixos e os mais elevados dos dados. As três linhas que dão forma à caixa são extraídas 25%, 50%, e 75% de acordo com os dados da Figura 38.

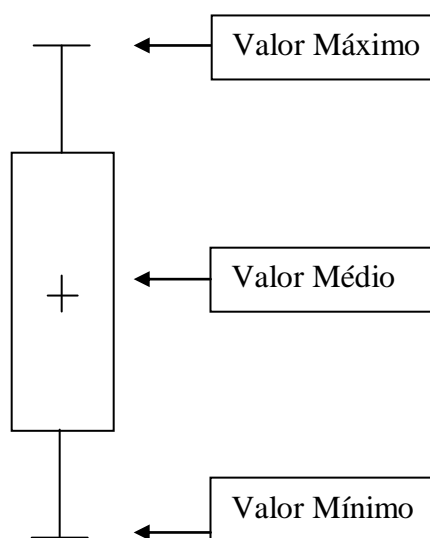


Figura 38 - Box Plot

Variações: Algumas vezes as retas externas (chamados de "whiskers" [bigodes]) têm diferentes métodos de construção, mas os 25%, 50% e 75%, são sempre calculados.

4.4.2.1 - Interpretação do diagrama de caixa:

- A caixa central inclui os 50% dos dados centrais;
- Os bigodes ("whiskers") mostram a amplitude dos dados, isto é a diferença entre o maior e o menor valores;
- A simetria é indicada pela caixa e bigodes ("whiskers") e pela localização da média;
- É relativamente fácil comparar grupos, construindo diagramas de caixa lado a lado.

O Box plot foi utilizado nas pesagens das sementes oleaginosas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Caracterização do efluente bruto da Estação de Pesqueira

Foram feitas um total de 21 análises em cada coleta realizada, e a partir dos dados obtidos foi calculada uma média. Esses valores informam uma avaliação do solo e da água na entrada e saída do efluente tratado com esgoto doméstico. A Tabela 6 apresenta os dados obtidos na entrada no reator UASB e a Tabela 11 a saída da lagoa de polimento. Nas tabelas 7 a 10, mostrou os dados das análises nos drenos 1, 2, 3 e respectivamente, com estes dados é possível obter indicativos de qualidade do solo a partir da qual é possível estimar a produtividade das plantas e das sementes. Os resultados dos parâmetros analisados para o efluente bruto encontram-se resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da caracterização do efluente bruto da Estação de Tratamento de Pesqueira – PE.

EFLUENTE BRUTO	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ	Von Sperling	Padrão de Lançamento
Ph	-	7,59	7,41	7,74	0,2	6,7 – 7,5	6,0-8,6*
DQO	mg de O ₂ /L	464,02	140,62	596,74	218,1	450/800	≤ 100*
DBO	mg de O ₂ /L	99,94	17,22	316,04	144,8	250/450	<3,0**
SST	mg/L	132,59	44,00	213,50	69,4	-	-
SSV	mg/L	111,60	27,67	196,00	68,7	-	-
SSF	mg/L	20,99	16,33	27,00	5,1	-	-
ST	mg/L	1577,44	1288,25	1809,00	224,8	-	-
SV	mg/L	353,56	260,00	481,00	102,3	-	-
SF	mg/L	1223,87	1005,50	1549,00	252,1	-	-
CE	uS/cm	2547,50	1700,00	3330,00	786,1	-	-
SDT	mg/L	1444,84	1244,25	1670,50	199,9	-	-
SDV	mg/L	241,96	148,50	285,00	63,6	-	-
SDF	mg/L	1202,89	989,17	1522,00	246,9	-	-
Fósforo	mg/L	22,18	15,43	33,27	7,8	-	-
NTK	mg/L	41,96	6,36	98,99	39,8	-	-
Sulfatos	mg/L	169,59	31,55	263,11	98,2	-	-
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	466,73	279,04	770,20	211,5	110/170	-
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	373,30	336,63	415,84	34,4	-	-
Dureza de Ca	(mg de Ca/L)	193,18	143,79	290,28	66,2	-	-
Dureza de Mg	(mg de Mg/L)	66,15	28,88	100,97	29,5	-	-
Cloretos	(mg de Cl/L)	397,68	353,49	454,49	52,1	-	-
Sódio	(mg de Na/L)	262,86	135,73	440,00	152,4	-	-
Potássio	(mg de K/L)	89,49	76,44	117,20	19,2	-	-

*Portaria 05/89 - SSMA - **Resolução CONAMA - 357/2005

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é uma medida indireta da concentração de matéria orgânica, ou seja, a quantidade de oxigênio exigida para a oxidação completa da matéria oxidável total presente no efluente, tanto orgânica como inorgânica (BAUMGARTEN; POZZA, 2001). A média de DQO encontrada foi de 464,02 mg/L, indicando uma concentração de matéria orgânica que acarretará, para sua degradação, consumo do oxigênio dissolvido presente no corpo receptor.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), utilizada para expressar o valor da poluição produzida por matéria orgânica oxidável biologicamente, corresponde à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microorganismos do esgoto ou águas poluídas, na oxidação biológica, quando mantida a uma dada temperatura por um espaço de tempo convencional. A média de DBO encontrada foi de 99,94 mg/L, indicando que essa demanda é o suficiente, para consumir todo o oxigênio dissolvido da água, o que condiciona a morte de todos os organismos aeróbios de respiração subaquática.

O fósforo apresentou valores que variaram entre 15,43 mg/L e 33,0 mg/L. Valores como estes, associados a presença de compostos nitrogenados, podem conduzir a um crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas causando a eutrofização do corpo receptor. Em quantidade suficiente, o fósforo atua no processo de formação de açúcares, atua para haver uma boa floração e para que a planta cresça mais rapidamente.

O nitrogênio atua diretamente na produção de açúcares na folha e influencia na produção intensiva de folhas e ramos. A média das concentrações de nitrogênio total foi de 41,96 mg/L. Deve-se considerar que o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas, mas os processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implicam no consumo de oxigênio dissolvido do corpo receptor. O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes (VON SPERLING, 2005).

O pH apresentou média de 7,59. Valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico do efluente (Von Sperling, 2005). O pH padrão situa-se entre 6,0 e 8,6. Observa-se que o efluente está na faixa do padrão exigido para posterior lançamento em um corpo receptor.

O efluente apresentou uma carga considerável de sólidos, tanto dissolvidos quanto fixos, o que afetou os demais parâmetros analisados, devido a carga orgânica e inorgânica nele presentes.

Os parâmetros pH, DQO, sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e fósforo apresentaram coeficientes de variação inferiores a 30%, indicando que no período estudado não houve grandes variações nos seus resultados. Já para os demais parâmetros observamos uma heterogeneidade nos coeficientes de variação, sendo necessário um número maior de análises para melhor caracterizar este efluente.

Observando os resultados podemos ressaltar a importância de um tratamento prévio do efluente do esgoto bruto para o atendimento as condições estabelecidas pela legislação vigente, antes de sua utilização para agricultura.

As Figuras 39 a 41 mostram os resultados dos parâmetros: DQO, DBO, ST, STV, SST no efluente bruto, obtidos durante a caracterização.

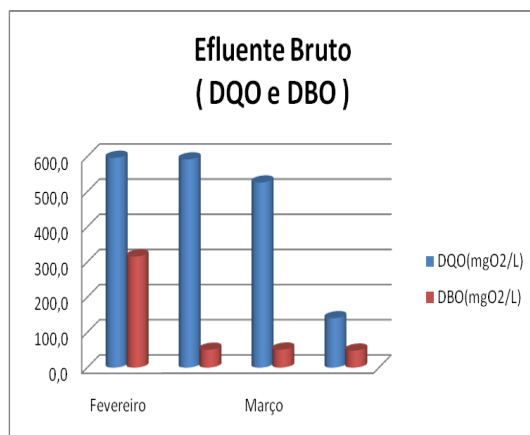


Figura 39 – Comportamento DQO e DBO

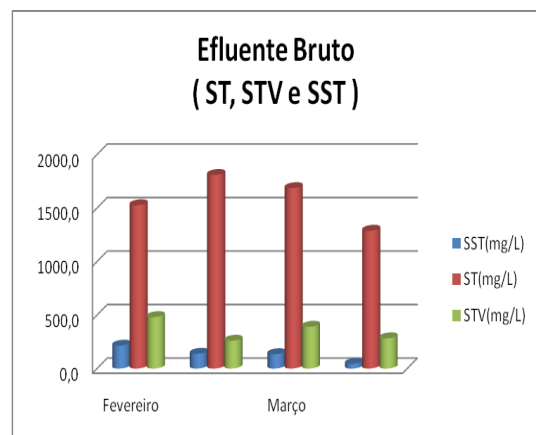


Figura 40 - Comportamento - ST,STV e SST

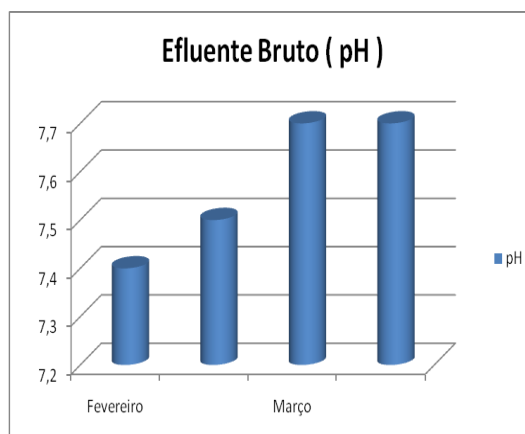


Figura 41 – Comportamento do pH

Evolução da DQO e DBO durante o monitoramento realizado na ETE de Pesqueira do Efluente bruto. Os resultados dos parâmetros analisados para o efluente tratado do dreno 1 ao dreno 4 encontram-se resumidos nas Tabelas 8 a 11.

Tabela 8 – Resultados da caracterização do efluente da Estação de Tratamento de Pesqueira – PE no **dreno 1**.

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ L	230,04	103,95	293,87	109,2
DBO	mg de O ₂ L	24,63	2,70	63,27	33,6
SST	mg/L	269,17	26,50	753,00	419,0
SSV	mg/L	181,50	6,75	530,00	301,8
SSF	mg/L	87,67	18,75	223,00	117,2
ST	mg/L	9528,92	3653,75	12861,50	5103,4
SV	mg/L	2362,75	816,00	3169,00	1339,9
SF	mg/L	7166,17	2837,75	9758,25	3772,9
CE	uS/cm	11690,00	5400,00	17230,00	5950,5
pH	-	8,40	8,15	8,70	0,3
SDT	mg/L	9259,75	3627,25	12833,50	4936,4
SDV	mg/L	2181,25	808,25	3096,50	1210,9
SDF	mg/L	7078,50	2819,00	9737,00	3726,5
Fósforo	mg/L	4,24	0,53	7,94	3,7
NTK	mg/L	3,73	0,00	5,66	3,2
Sulfatos	mg/L	635,09	503,14	798,97	150,5
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	528,90	462,12	590,91	64,5
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	2639,52	1128,71	3445,55	1309,4
Dureza Cálcio	(mg de Ca/L)	904,35	483,80	1116,50	364,2
Dureza Magnésio	(mg de Mg/L)	743,28	259,90	1010,70	419,4
Cloretos	(mg de Cl/L)	5049,86	1161,47	8988,75	3913,9
Sódio	(mg de Na/L)	845,75	540,70	1409,90	489,1
Potássio	(mg de K/L)	356,21	148,21	509,24	186,7

Tabela 9 – Resultados da caracterização do efluente da Estação de Tratamento de Pesqueira – PE no **dreno 2**.

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	300,94	200,00	395,59	85,2
DBO	mg de O ₂ /L	30,62	6,45	94,62	4,0
SST	mg/L	48,11	29,25	81,50	7,6
SSV	mg/L	23,00	9,00	59,00	2,1
SSF	mg/L	25,11	18,50	31,25	6,7
ST	mg/L	12033,75	3603,75	18030,25	7214,6
SV	mg/L	3395,19	684,75	5776,00	2573,7
SF	mg/L	8638,56	2919,00	12254,25	4673,7
CE	uS/cm	14742,50	5500,00	23300,00	8903,0
pH	-	7,93	7,74	8,13	0,2
SDT	mg/L	11578,72	3559,25	17324,00	6882,6
SDV	mg/L	3210,35	671,50	5662,75	2519,8
SDF	mg/L	8368,37	2887,75	11661,25	4405,1
Fósforo	mg/L	4,37	0,06	12,76	6,7

Tabela 9. (continuação)

NTK	mg/L	5,17	0,61	8,48	3,1
Sulfatos	mg/L	1091,79	743,35	1543,68	403,8
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	461,14	443,18	477,15	17,0
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	3535,39	1168,32	5151,46	1831,7
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	1175,66	483,80	1590,17	514,1
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/l)	1016,83	279,15	1554,98	589,3
Cloretos	(mg de Cl/L)	9001,97	1161,47	25049,67	2665,6
Sódio	(mg de Na/L)	1048,13	175,01	1759,79	805,7
Potássio	(mg de K/L)	358,04	139,35	457,84	174,3

Tabela 10 – Resultados da caracterização do efluente da Estação de Tratamento de Pesqueira – PE no **dreno 3**

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	333,13	241,95	391,01	43,4
DBO	mg de O ₂ /L	33,80	7,18	90,82	6,6
SST	mg/L	44,26	25,80	54,75	14,6
SSV	mg/L	20,79	12,40	35,00	4,6
SSF	mg/L	23,48	13,40	33,50	10,6
ST	mg/L	13429,06	11521,00	17667,25	3344,7
SV	mg/L	3897,75	3113,50	5716,50	1349,0
SF	mg/L	9531,31	8112,00	11950,75	2017,4
CE	uS/cm	16070,00	12930,00	22300,00	4555,3
pH	-	8,04	7,61	8,65	0,2
SDT	mg/L	13384,80	11495,20	17612,50	3332,1
SDV	mg/L	3876,96	3078,50	5695,25	1344,5
SDF	mg/L	9507,84	8098,60	11917,25	2008,8
Fósforo	mg/L	11,64	0,01	40,50	22,6
NTK	mg/L	3,65	0,89	8,77	3,7
Sulfatos	mg/L	1079,89	267,65	1658,53	385,3
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	456,44	334,60	604,80	62,7
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	3652,56	3029,71	4673,27	911,5
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	1133,84	951,48	1435,28	259,2
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/L)	1098,74	904,82	1414,99	289,2
Cloretos	(mg de Cl/L)	6280,90	4241,88	9620,53	1020,4
Sódio	(mg de Na/L)	1906,90	1307,00	2520,00	454,1
Potássio	(mg de K/L)	415,50	391,24	436,58	22,7

Tabela 11 – Resultados da caracterização do efluente da Estação de Tratamento de Pesqueira – PE no **dreno 4**.

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	157,48	74,64	304,20	129,6
DBO	mg de O ₂ /L	31,74	4,30	94,62	7,8
SST	mg/L	31,79	6,00	56,00	24,9
SSV	mg/L	14,98	1,00	38,00	9,3
SSF	mg/L	16,81	3,00	34,24	16,1
ST	mg/L	5212,50	2335,00	12020,00	5334,9
SV	mg/L	1047,00	355,00	2860,00	1424,55
SF	mg/L	4165,50	1980,00	9160,00	3914,3
CE	uS/cm	7185,00	3690,00	15400,00	6320,8
pH	-	8,21	7,71	8,60	0,3

Tabela 11.(continuação)

SDT	mg/L	5180,71	2329,00	11967,83	5310,1
SDV	mg/L	1032,02	352,00	2842,07	1415,4
SDF	mg/L	4148,69	1977,00	9125,76	3898,5
Fósforo	mg/L	3,04	1,93	4,72	1,2
NTK	mg/L	1,77	0,00	4,95	2,5
Sulfatos	mg/L	731,49	249,34	1899,72	918,9
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	471,91	377,52	515,15	78,7
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	1557,65	950,50	3148,52	1252,2
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	606,84	403,17	1048,24	359,3
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/L)	394,96	221,39	904,82	394,6
Cloretos	(mg de Cl/L)	1674,90	908,98	3736,90	1604,3
Sódio	(mg de Na/L)	537,85	328,57	780,00	111,3
Potássio	(mg de K/L)	214,94	114,34	447,21	183,1

As figuras 42 a 50 apresentam os resultados do efluente do dreno 1 ao dreno 4 respectivamente, obtidos durante a caracterização.

Dreno 1

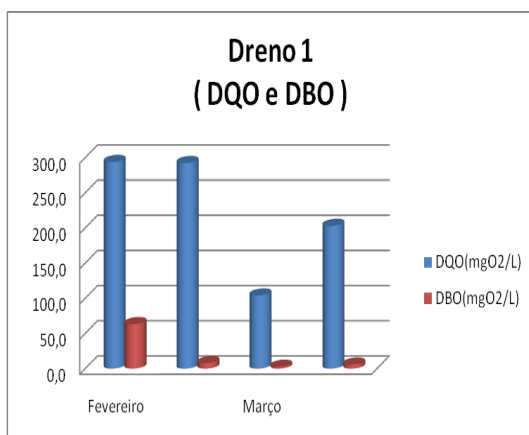


Figura 42 – DQO e DBO no dreno 1

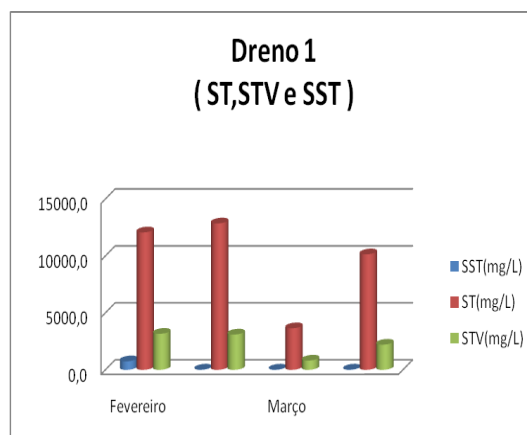


Figura 43 – ST,STV e SST no dreno 1

Dreno 2

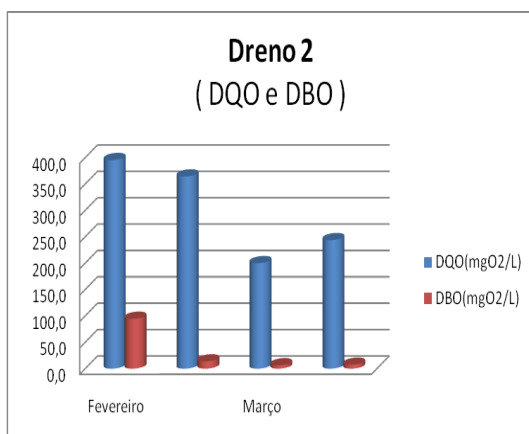


Figura 44 – DQO e DBO no dreno 2

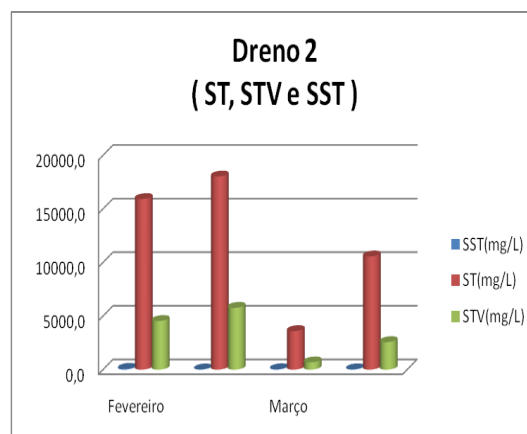


Figura 45 – ST,STV e SST no dreno 2

Dreno 3

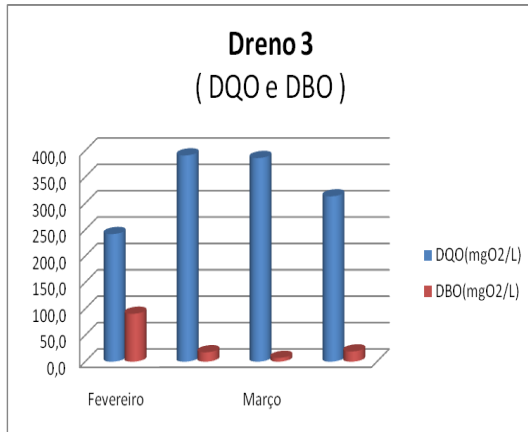


Figura 46 – DQO e DBO no dreno 3

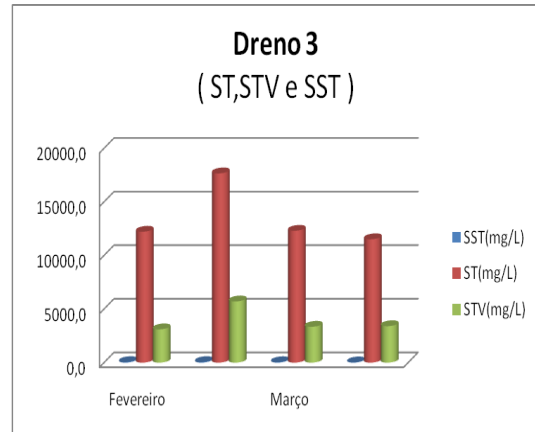


Figura 47 – ST,STV e SST no dreno 3

Dreno 4

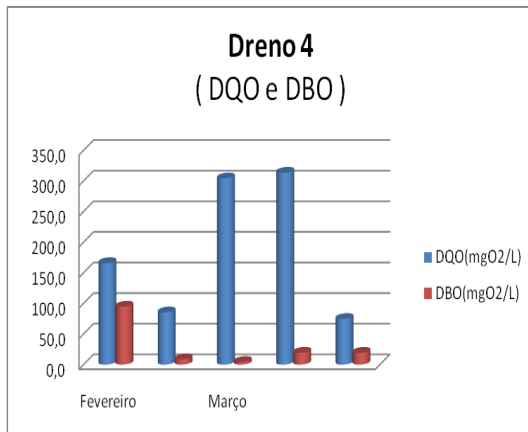


Figura 48 – DQO e DBO no dreno 4

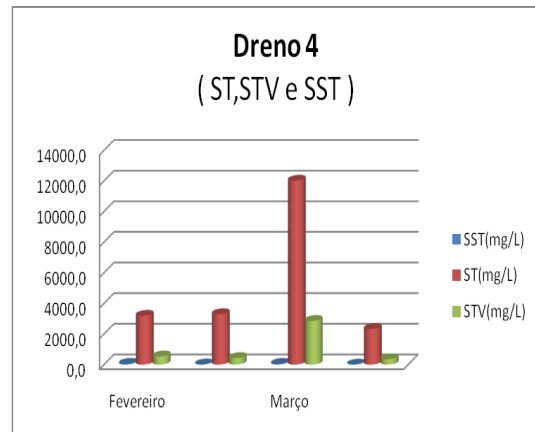


Figura 49 – ST,STV e SST no dreno 4

Na Figura 34 estão apresentados os resultados de pH do efluente do dreno 1 a 4:

pH

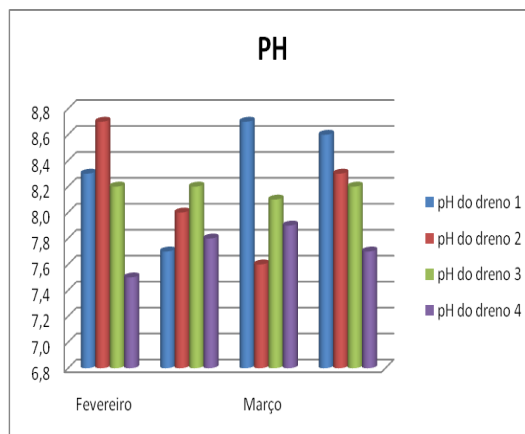


Figura 50 – pH do dreno 1 ao dreno 4

Os resultados dos parâmetros analisados para o efluente tratado encontram-se resumidos na Tabela 11.

Tabela 12 – Resultados da caracterização da saída da Estação de Tratamento de Pesqueira – PE.

SAÍDA	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ	Esgoto Bruto(Von Sperlring)	PADRÃO DE Lançamento (esgoto tratado)
pH	-	7,78	7,35	8,63	0,6	6,7 – 7,5	6,0 – 8,6*
DQO	mg deO ₂ /L	151,01	366,60	456,63	42,5	450 – 800	≤ 100*
DBO	mg deO ₂ /L	30,29	48,35	165,54	54,5	250 – 450	≤ 3**
SST	mg/L	149,06	88,60	196,00	46,2	200 – 450	≤ 40*
SSV	mg/L	94,09	36,00	132,00	45,5		
SSF	mg/L	54,97	9,00	160,00	71,3		
ST	mg/L	1424,69	1400,25	1459,00	24,8	700 – 1350	
SV	mg/L	336,31	262,50	449,50	87,7		
SF	mg/L	1088,38	967,00	1196,50	104,6		
CE	uS/cm	2012,25	1229,00	2500,00	549,2		
SDT	mg/L	1275,63	1220,50	1370,40	68,8		
SDV	mg/L	242,22	143,00	413,50	119,5		
SDF	mg/L	1033,41	807,00	1187,50	170,7		
Fósforo total	mg/L	38,12	7,94	85,96	34,2	5 – 25	0,1**
NTK	mg/L	29,45	24,75	33,66	3,7	35 – 70	10*
Sulfatos	mg/L	144,60	23,60	260,81	115,5		
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	422,66	390,15	454,55	26,5	110 – 170	
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	306,67	277,23	356,44	34,4		
Dureza de Ca	(mg deCa/L)	159,87	139,56	193,52	24,3		
Dureza de Mg	(mg deMg/L)	56,06	48,13	67,38	9,6		
Cloretos	(mg deCl/L)	281,53	90,90	353,49	127,6	20 – 50	250**
Sódio	(mg deNa/L)	252,51	116,44	380,00	119,4		
Potássio	(mg deK/L)	66,53	50,44	76,80	11,9		

*Portaria 05/89 - SSMA - **Resolução 357/2005 – CONAMA

As Figuras 51 a 53 apresentam os resultados da caracterização do efluente tratado de Pesqueira.

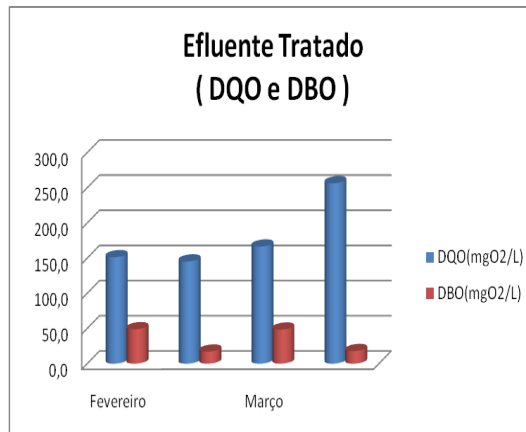


Figura 51 – DQO e DBO efluente tratado

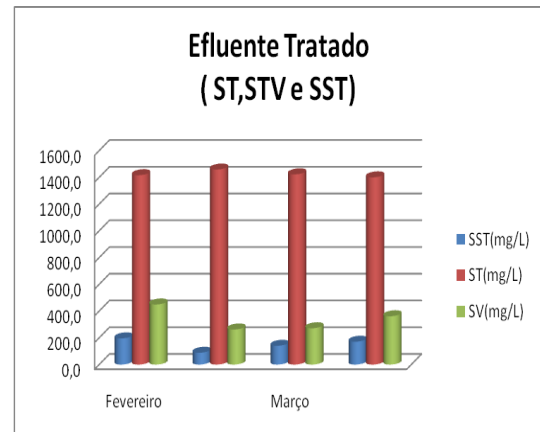


Figura 52 – ST,STV e SST do efluente tratado

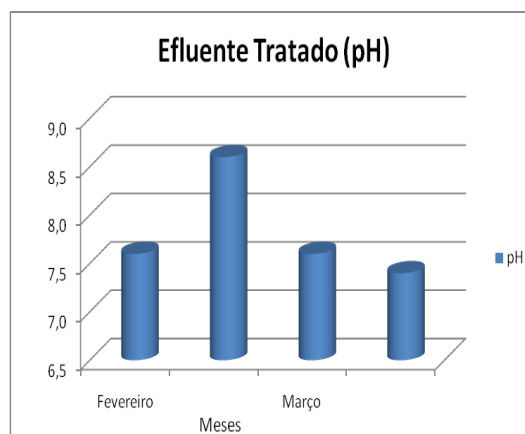


Figura 53 – pH do efluente tratado

5.2 - Caracterização do plantio

O solo para plantio destas oleaginosas deve ser bem drenado, pois, as plantas são extremamente sensíveis ao encharcamento, mesmo que temporário. Cerca de três dias sob encharcamento pode provocar morte das plantas. Solos com alta salinidade também são pouco recomendados, pois a presença de alta concentração de sais pode prejudicar o crescimento da planta. Os resultados nos drenos de 1 a 4 mostraram que o solo está sendo tratado, pois, os sais contidos no solo estão sendo lixiviados e o esgoto está aos poucos deixando a terra preparada para a plantação.

5.3 – Significado ambiental dos parâmetros

Os sólidos suspensos totais (SST) constituem-se da fração dos ST que fica retida em um filtro. São, pois, todos os sólidos em estado grosseiro. Os resultados apresentados mostraram que há uma grande diminuição dos sólidos suspensos nos

drenos, pois o dreno 1 apresenta uma média de 269,17 mg/L, no dreno 2 a média é bem menor 48,11 mg/L e no dreno 3 diminui para uma média de 44,01 mg/L e na saída no dreno 31,79 mg/L, isso mostra que a matéria orgânica foi degradada para a fertirrigação do solo.

O resíduo total ou sólidos totais (ST) é o termo empregado para material que permanece em um cadinho após evaporação da água da amostra e sua subsequente secagem em estufa, a 103°C - 105°C. Com esta análise foi determinada a quantidade total do material presente no esgoto, incluindo todos os sólidos dissolvidos e em suspensão. O teor de sólidos totais no afluente serve como meio para classificar os esgotos em forte, fraco e médio, sendo que a determinação e amostras colhidas ao longo do tratamento permitem avaliar a eficiência do processo.

Os sólidos suspensos fixos (SSF) é o termo empregado para a fração de SFT filtrada em membrana, após calcinação a 600°C. O SSF mede aproximadamente a quantidade de areia presente. Os valores na tabela mostram que a quantidade de areia esta diminuindo da entrada do dreno 1 até a saída no dreno 4.

A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade em conduzir corrente elétrica, em função da concentração iônica, principalmente pelo conteúdo de nutrientes como cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato e cloreto (ESTEVES, 1988). À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Isso foi observado nos drenos de 1 ao 4, pois, o valor da condutividade aumentou consideravelmente, constatando que o solo, apesar de ser sódico-salino e reter os sais, com este tipo de irrigação deixa o solo em melhores condições, pronto para a plantação de mamona.

Nos processos biológicos do tratamento de esgotos, o pH é crítico para o desenvolvimento de microrganismos. Muitos processos químicos utilizados para coagular esgotos e despejos, adensar lodos ou oxidar substâncias requerem controle do pH. O pH é importante, dada a sua relação com a acidez e alcalinidade. Neste trabalho o valor do pH está de acordo com os padrões, pois, nenhuma média ficou acima de 8,5, valor esperado para a irrigação com este tipo de solo. É um solo alcalino onde é indicado para maior produtividade da mamona, pois a plantação da mamona não se desenvolve em solos ácidos.

Concentrações elevadas de sólidos dissolvidos fixos (SDF) em comparação com sólidos dissolvidos voláteis (SDV) indicam água residuária com alta salinidade e a provável necessidade de tratamento físico-químico. Apesar dos valores indicarem a presença dos sais foi constatado que o esgoto doméstico está lixiviando todos esses sais e está deixando o solo preparado para a plantação. Isto significa que o esgoto doméstico está deixando o solo com matéria orgânica suficiente para o crescimento da mamona.

As concentrações de nitrogênio total Kjeldahl e de fósforo total tiveram um decaimento mostrando que esses parâmetros indicam sua retenção no solo e absorção pelas plantas.

A dureza é dada pela concentração total de cálcio e de magnésio, expressa na forma de carbonato de cálcio, embora também causem dureza os bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos e silicatos. A água das chuvas que percorre o solo enriquece-se de CO₂ produzido pelas bactérias, e com isso ocorre um abaixamento de pH; os carbonatos insolúveis são atacados e convertidos a bicarbonatos solúveis. Os sulfatos, cloretos e silicatos também se dissolvem. Os resultados mostram que todos os parâmetros analisados na tabela aumentam, contribuindo para a qualidade do solo.

5.4 – Eficiência da estação de tratamento de Pesqueira-PE

As eficiências do sistemas de tratamento de Pesqueira e Ibimirim foram obtidas através da seleção de parâmetros contidos nos boletins de análises, sendo priorizadas as seguintes características físico-químicas: DQO e DBO, dois dos aspectos de fundamental importância numa análise qualitativa de aspectos referentes aos estudos ambientais, uma vez que a DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbias, e a DQO objetiva de forma semelhante a oxidação de matéria orgânica, mas através de agentes químicos.

Utilizou-se a seguinte expressão matemática para as respectivas eficiência dos sistemas de tratamento:

$$|E(\%) = [(S_o - S / S_o)] * 100|$$

Onde:

E: eficiência do tratamento do parâmetro estudado – efluente bruto

S: valor do parâmetro estudado – efluente tratado

S_o: valor do parâmetro estudado – efluente bruto

Os valores de eficiência da estação de Pesqueira são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Eficiência de remoção da DQO.

Data da coleta	Eficiência (%)
05/02/2009	$[(596,7 - 151,4)/596,7]*100= 83,25\%$
12/02/2009	$[(592,2 - 145,4)/592,2]*100= 61,15\%$
02/03/2009	$[(526,5 - 166,6)/526,5]*100= 68,36\%$
23/03/2009	$[(140,6 - 37,8)/140,6]*100= 73,11\%$

Tabela 14 – Eficiência de remoção da DBO.

Data da coleta	Eficiência (%)
05/02/2009	$[(316 - 49)/316]*100= 84,50\%$
12/02/2009	$[(509 - 17,2)/509]*100= 96,62\%$
02/03/2009	$[(526,5 - 166,6)/526,5]*100= 68,84\%$
23/03/2009	$[(256,6 - 40,6)/256,6]*100= 84,18\%$

A demanda química de oxigênio (DQO), outra característica das águas residuárias, obteve significativa redução em seus resultados abordados em efluente tratado, demonstrando a eficiência do tratamento, como máxima eficiência obtida de $E=83,25\%$, comprovando a qualidade da ETE e reduzindo, a carga poluidora do efluente gerado. Deste modo, foi demonstrada a diferença entre os índices de poluição dos valores estudados em efluentes bruto e tratado, conforme as Figuras 54 e 55:

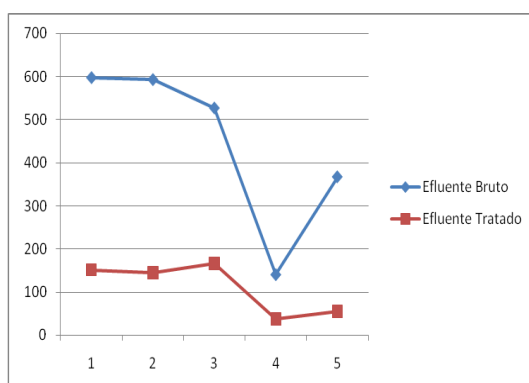


Figura 54 – Eficiência de DQO (mg/L)

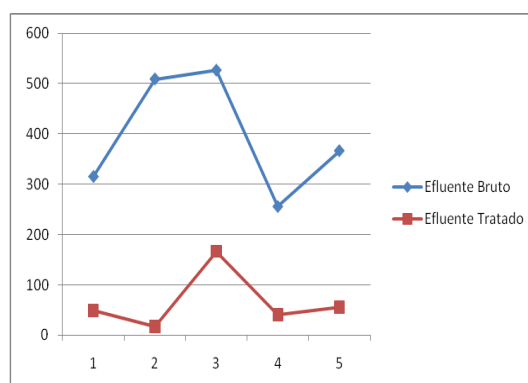


Figura 55 – Eficiência de DBO (mg/L)

A eficiência da ETE, antes e após o tratamento, está ilustrada nas Figuras abaixo. A Figura 45 caracteriza da estação de tratamento de esgotos (ETE) do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO), onde percebem-se valores elevados para

efluente bruto e valores baixos para o efluente tratado, observando-se uma eficiência de remoção satisfatória .

5.5 - Caracterização do efluente bruto da Estação de Ibimirim-PE

Segue os resultados das análises do efluente bruto da estação de Ibimirim mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da caracterização do Efluente bruto da Estação de Tratamento de Ibimirim – PE.

EFLUENTE BRUTO	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	1968,27	1321,00	3537,60	1009,5
DBO	mg de O ₂ /L	335,59	149,66	522,90	153,8
SST	mg/L	816,30	267,50	2319,00	952,5
SSV	mg/L	685,75	302,90	1663,00	623,9
ST	mg/L	2020,00	1393,00	3316,00	849,1
SV	mg/L	1046,40	597,10	2126,00	695,7
O&G	mg/L	136,43	55,60	293,60	104,3
CE	uS/cm	1658,50	1482,00	1757,00	121,4
pH	-	7,03	6,48	7,50	0,5
SDT	mg/L	1006,90	910,30	1060,20	67,1
SDV	mg/L	396,68	312,10	463,00	62,1
SSed	mL/L	39,53	8,00	84,00	33,9
NTK	mg/L	104,25	75,30	147,70	31,9
Nit. Amoniacal	mg/L	68,85	49,50	82,20	13,7
Nitrato	mg/L	2,30	0,70	4,60	1,7
Nitrito	mg/L	0,12	0,08	0,16	0,0
Sulfatos	mg/L	132,45	21,30	195,30	76,7
Fósforo	mg/L	10,16	6,02	12,80	2,9
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	389,73	178,20	495,00	140,7
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	127,45	108,90	151,50	19,8
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	71,33	48,40	86,40	16,3
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/L)	38,98	22,10	71,20	21,7
Cloretos	(mg de Cl/L)	179,88	126,20	252,50	52,5
Sódio	(mg de Na/L)	2479,35	128,10	9499,80	4423,7
Potássio	(mg de K/L)	123,68	5,20	392,70	173,8

Observando os resultados da tabela 15, podemos ressaltar a importância de um tratamento prévio do efluente do esgoto bruto para o atendimento as condições estabelecidas pela legislação vigente, antes de sua utilização para agricultura. A seguir

observam-se os dados do desempenho dos respectivos sistemas de tratamento de efluentes: Digestor Anaeróbio mais filtro, UASB e somente o Filtro Anaeróbio. Para tanto, foram investigados os parâmetros:

5.5.1 – Caracterização dos sistemas de tratamento de Ibirimir-PE

Nas Tabelas 16 a 18, mostram os resultados adquiridos de cada sistema de tratamento.

Tabela 16 – Resultados do sistema digestor + filtro anaeróbio da estação de Tratamento de Ibirimir – PE.

DIGESTOR+FILTRO	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	384,58	162,70	567,10	185,0
DBO	mg de O ₂ /L	47,30	9,50	72,30	27,4
SST	mg/L	44,30	27,00	89,00	28,5
SSV	mg/L	33,03	23,10	59,00	16,5
ST	mg/L	815,40	800,10	837,30	16,1
SV	mg/L	157,00	137,20	205,00	30,8
O&G	mg/L	12,98	10,50	14,60	1,7
CE	uS/cm	1984,73	1731,00	2260,00	249,0
pH	-	7,34	6,35	7,89	0,7
SDT	mg/L	744,15	713,20	788,00	31,7
SDV	mg/L	122,50	113,90	146,00	14,9
SSed	mL/L	1,08	0,90	1,20	0,1
NTK	mg/L	74,33	67,80	80,80	5,3
Nit. Amoniacal	mg/L	60,18	57,60	63,40	2,5
Nitrato	mg/L	1,05	0,50	2,40	0,9
Nitrito	mg/L	0,15	0,06	0,30	0,1
Sulfatos	mg/L	89,68	13,40	137,30	55,6
Fósforo	mg/L	8,68	7,21	10,10	1,3
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	438,65	278,60	594,50	147,5
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	196,25	167,20	247,50	34,7
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	109,48	102,80	112,90	4,4
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/L)	62,85	27,00	86,60	25,7
Cloretos	(mg de Cl/L)	159,00	151,50	176,70	11,5
Sódio	(mg de Na/L)	116,58	77,70	178,70	45,4
Potássio	(mg de K/L)	42,43	3,00	69,50	29,4

Tabela 17 – Resultados do sistema UASB da estação de Tratamento de Ibimirim – PE.

UASB	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	395,48	178,10	960,00	359,4
DBO	mg de O ₂ /L	36,05	34,10	40,20	2,7
SST	mg/L	61,63	34,00	80,00	19,6
SSV	mg/L	55,03	33,00	67,50	14,9
ST	mg/L	824,58	789,00	867,00	33,0
SV	mg/L	183,35	156,70	211,00	22,3
O&G	mg/L	6,15	3,00	13,60	4,8
CE	uS/cm	2137,70	1825,00	2460,00	267,3
pH	-	7,14	6,50	7,71	0,5
SDT	mg/L	776,60	765,10	787,00	9,2
SDV	mg/L	123,38	97,10	178,00	36,2
SSed	mL/L	0,40	0,30	0,50	0,1
NTK	mg/L	106,90	103,60	108,80	2,3
Nit. Amoniacal	mg/L	62,13	50,10	89,20	17,5
Nitrato	mg/L	1,23	1,10	1,50	0,2
Nitrito	mg/L	0,10	0,06	0,14	0,0
Sulfatos	mg/L	19,88	16,40	23,30	2,8
Fósforo	mg/L	10,25	9,00	13,70	2,2
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	503,03	302,30	743,80	205,1
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	221,63	178,60	303,30	54,2
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	155,63	106,90	198,70	42,7
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/L)	44,70	27,00	83,50	25,3
Cloretos	(mg de Cl/L)	171,10	154,20	189,40	14,8
Sódio	(mg de Na/L)	99,10	67,80	128,10	27,7
Potássio	(mg de K/L)	43,58	3,90	69,50	28,5

Tabela 18 – Resultados do sistema filtro da estação de Tratamento de Ibimirim

FILTRO	UNIDADES	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	δ
DQO	mg de O ₂ /L	694,88	331,50	1029,00	327,2
DBO	mg de O ₂ /L	65,03	53,40	90,70	16,6
SST	mg/L	114,60	42,80	142,50	45,8
SSV	mg/L	83,25	33,50	107,90	32,7
ST	mg/L	1008,53	979,30	1051,50	30,2
SV	mg/L	258,25	234,50	287,50	22,8
O&G	mg/L	12,88	8,10	19,00	4,5
CE	uS/cm	1884,25	1657,00	2116,00	195,4
pH	-	7,10	6,70	7,75	0,5
SDT	mg/L	916,68	900,10	946,40	20,0
SDV	mg/L	194,43	159,60	254,00	40,4

Tabela 18. (continuação)

SSed	mL/L	4,33	3,70	5,00	0,6
NTK	mg/L	84,30	64,10	107,40	17,9
Nit. Amoniacal	mg/L	66,33	37,60	78,10	18,4
Nitrato	mg/L	2,18	1,00	3,30	0,9
Nitrito	mg/L	0,15	0,06	0,26	0,1
Sulfatos	mg/L	67,70	18,30	113,10	45,2
Fósforo	mg/L	9,39	9,10	9,85	0,3
Alc. Total	(mg de CaCO ₃ /L)	442,18	245,30	748,70	221,4
Dureza Total	(mg de CaCO ₃ /L)	222,85	211,10	237,40	11,3
Dureza de Cálcio	(mg de Ca/L)	150,70	90,50	194,50	47,5
Dureza de Magnésio	(mg de Mg/L)	33,78	17,60	61,40	19,4
Cloretos	(mg de Cl/L)	186,20	151,50	202,00	22,8
Sódio	(mg de Na/L)	111,65	78,30	158,40	36,7
Potássio	(mg de K/L)	53,63	37,00	69,50	14,3

As eficiências de remoção de DQO e DBO dos sistemas de tratamento: digestor + filtro, UASB e filtro em questão encontram-se nas Tabelas 19 a 24 respectivamente. Os valores gerados na expressão foram:

Eficiência do digestor + filtro gerados na expressão foram:

Tabela 19 – Eficiência de remoção da DQO.

Data da coleta	Eficiência (%)
25/02/2010	$[(4101 - 263,2)/4101]*100= 93,6\%$
08/04/2010	$[(1883,6 - 162,7)/1883,6]*100= 91,4\%$
13/11/2009	$[(1756,3 - 545,3)/1756,3]*100= 69\%$
08/10/2009	$[(1654,2 - 567,1)/1654,2]*100= 65,72\%$

Tabela 20 – Eficiência de remoção da DBO.

Data da coleta	Eficiência (%)
25/02/2010	$[(522,9 - 9,5)/522,9]*100= 98,2\%$
08/04/2010	$[(371,1 - 40,4)/371,1]*100= 89,11\%$
13/11/2009	$[(298,7 - 67)/298,7]*100= 77,6\%$
08/10/2009	$[(149,7 - 72,3)/149,7]*100= 51,7\%$

Eficiência do reator UASB gerados na expressão foram:

Tabela 21 – Eficiência de remoção da DQO.

Data da coleta	Eficiência (%)
25/02/2010	$[(4101 - 211,5)/4101]*100= 94,84\%$
08/04/2010	$[(1883,6 - 212)/1883,6]*100= 88,74\%$
13/11/2009	$[(1756,3 - 960)/1756,3]*100= 45,34\%$
08/10/2009	$[(1654,2 - 178,1)/1654,2]*100= 89,23\%$

Tabela 22 – Eficiência de remoção da DBO

Data da coleta	Eficiência (%)
25/02/2010	$[(522,9 - 40,2)/522,9]*100= 92,31\%$
08/04/2010	$[(371,1 - 34,3)/371,1]*100= 90,75\%$
13/11/2009	$[(298,7 - 35,6)/1756,3]*100= 88,1\%$
08/10/2009	$[(149,7 - 34,1)/149,7]*100= 77,22\%$

Eficiência do filtro anaeróbio gerados na expressão foram:

Tabela 23 – Eficiência de remoção da DQO

Data da coleta	Eficiência (%)
25/02/2010	$[(4101 - 331,5)/4101]*100= 91,92\%$
08/04/2010	$[(1883,6 - 431,4)/1883,6]*100= 77,1\%$
13/11/2009	$[(1756,3 - 1029)/1756,3]*100= 46,5\%$
06/10/2009	$[(1654,2 - 987,6)/1654,2]*100= 40,3\%$

Tabela 24 – Eficiência de remoção da DBO(mg/L)

Data da coleta	Eficiência (%)
25/02/2010	$[(522,9 - 90,7)/522,9]*100= 82,65\%$
08/04/2010	$[(371,1 - 58,4)/371,1]*100= 84,26\%$
13/11/2009	$[(298,7 - 53,4)/1756,3]*100= 82,12\%$
06/10/2009	$[(149,7 - 57,6)/149,7]*100= 61,52\%$

As Figuras 56 a 61, caracterizaram a eficiência da estação de tratamento de esgotos(ETE) do parâmetro de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio(DBO) em cada sistema de tratamento, onde percebem-se valores elevados para efluente bruto e valores baixo para o efluente tratado.

DQO

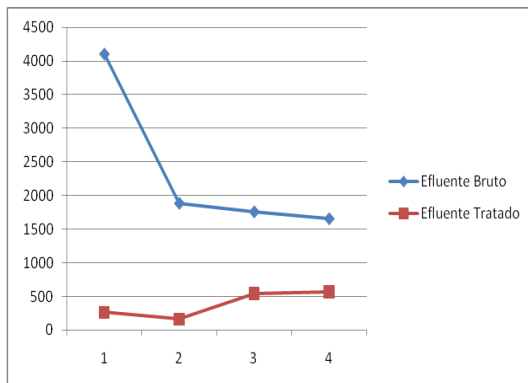


Figura 56 – Eficiência: DQO(mg/L) no digestor + filtro

DBO

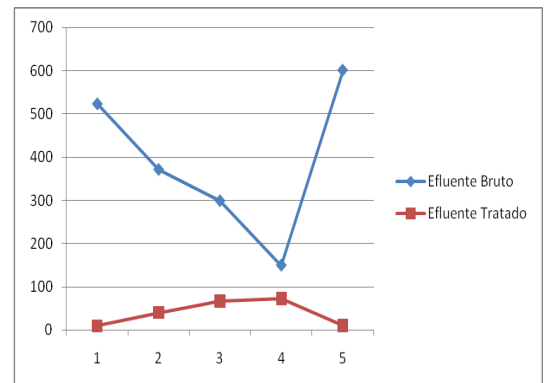


Figura 57 – Eficiência: DBO(mg/L) no digestor + filtro

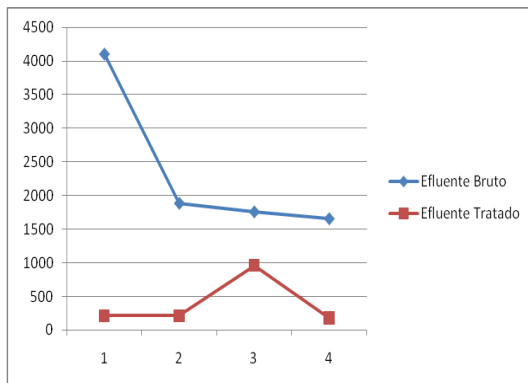


Figura 58 – Eficiência: DQO(mg/L) no reator UASB

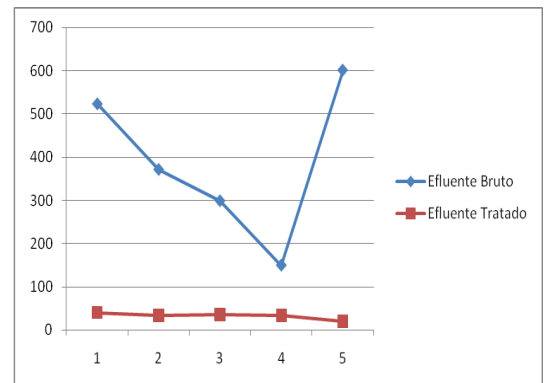


Figura 59 – Eficiência: DBO(mg/L) no reator UASB

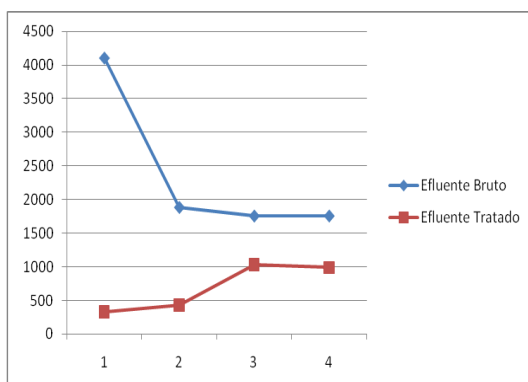


Figura 60 – Eficiência: DQO(mg/L) no filtro anaeróbio.

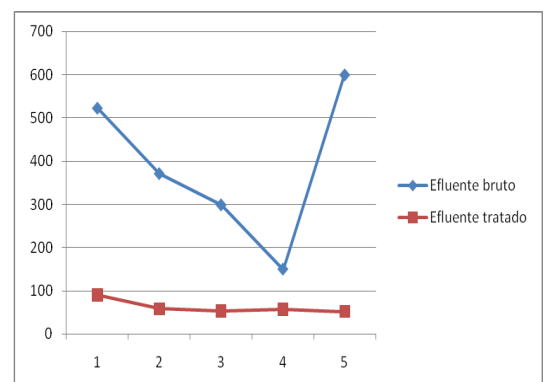


Figura 61 – Eficiência: DBO(mg/L) no filtro anaeróbio

A DQO, obteve significativa redução em seus resultados, demonstrando a eficiência do tratamento, sendo que a máxima eficiência obtida foi de 94,84%, comprovando a qualidade do UASB e reduzindo praticamente os índices de poluição dos valores estudados em efluentes bruto e tratado, conforme a Figura 56.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO), obteve significativa redução no reator UASB, demonstrando eficiência em sua remoção. Na Figura 59, percebe-se a diferença entre os valores estudados em efluentes bruto e tratado.

A eficiência dos parâmetros, antes e após o tratamento no filtro, está ilustrada nos gráficos abaixo. Percebe-se que no geral a eficiência de remoção de DQO no filtro não foi o suficiente, observou-se uma certa irregularidade e ainda foi além do esperado, chegando até a 91,92%. Já na remoção da DBO, o filtro teve uma boa eficiência dentre os valores de 61,52% a 84,26% de remoção.

Como se observaram nas Tabelas 19, 21 e 23, a DQO apresentou no efluente a eficiência para o digestor + filtro o valor mínimo de 65,71% de remoção e máxima de 91,4%, para o reator UASB a eficiência mínima de 45,34% e máxima de 94,84% e para o filtro anaeróbio a eficiência mínima de 40% e máxima de 91%.

Nas Tabelas 20, 22 e 24, a DBO, remoção mínima de 51,7% e máxima de 98,2% para o digestor+filtro, mínima de 77,22% e máxima de 92,31% para o UASB e mínima de 61% e máxima de 82% para somente o filtro anaeróbio. Tendo como melhor desempenho primeiramente o sistema UASB, o digestor+filtro e em seguida somente o filtro.

Quanto aos sólidos suspensos totais, suspensos voláteis, totais, voláteis, dissolvidos totais e dissolvidos voláteis a maior remoção encontrou-se no sistema do digestor+ filtro, entre 94% a 95%, para o UASB entre 91% a 92% e para o filtro cerca de 81% a 86%. Nos demais parâmetros não tiveram mudanças significativas. Observando no geral estes resultados dos sistemas de tratamento, a eficiência dos mesmos variou muito pouco entre si. A remoção de matéria orgânica foi satisfatória para os sistemas.

5.6 - Aplicação de Análise de Componentes Principais – ACP

5.6.1 – Aplicação da Análise de Componentes Principais nos dados do Município de Pesqueira-PE

A análise a seguir mostra os resultados das análises de componentes principais (ACP) feitas a partir de todos os parâmetros físico-químicos das análises do efluente bruto (afluente), tratado nos drenos (1, 2, 3 e 4) e saída.

Obtiveram-se 3 gráficos da ACP com três componentes principais totalizando 79% das amostras caracterizadas por estes componentes conforme os parâmetros destacados na Tabela 25, representando 60% de variância explicada na CP1, 12% na CP2 e 7% na CP3.

Tabela 25 – Pesos das três primeiras componentes principais e percentagem de variância explicada.

	CP1(60%)	CP2(12%)	CP3(7%)
DQO	-7,05E-02	0,523	8,50E-02
DBO	-0,100	0,353	2,88E-02
SST	-0,185	0,409	-5,97E-02
SSV	-0,184	0,347	2,74E-02
SSF	-4,06E-02	0,204	-0,181
ST	0,264	0,101	1,56E-03
SV	0,255	0,147	-4,51E-02
SF	0,266	8,03E-02	2,14E-02
CE	0,262	6,95E-02	-1,16E-03
pH	9,36E-02	-0,228	0,516
SDT	0,265	9,10E-02	2,69E-04
SDV	0,256	0,127	-5,19E-02
SDF	0,266	7,48E-02	2,25E-02
P	-6,43E-02	6,09E-02	-0,126
NTK	-0,163	0,291	0,312
Sulfatos	0,207	-4,28E-02	-8,58E-02
Alc,Total	5,39E-02	5,50E-02	0,729
Dureza Total	0,264	8,64E-02	9,82E-03
Dureza Ca	0,249	5,46E-02	-7,40E-02
Dureza Mg	0,262	0,103	3,61E-04
Cloretos	0,196	0,169	2,43E-02
Sódio	0,207	6,33E-02	-0,136
Potássio	0,261	3,45E-02	8,04E-02

Três componentes principais permitiram representar aproximadamente 79% da variância dos dados originais, podendo ser utilizadas para verificar semelhanças e diferenças dentro do conjunto amostral (Figuras 62 e 63).

Na Figura 62, observou-se ao longo do eixo CP1 (linha horizontal), uma separação nítida das amostras do efluente bruto e tratado no reator UASB (representada pelos símbolos cheios) que se situam ao lado esquerdo do gráfico e da água residuária lixiviada nos drenos (representada pelos símbolos vazados) que estão posicionadas no lado direito do mesmo nas quatro coletas realizadas. Esta componente está mais influenciada diretamente pelas variáveis de cloretos, sódio, sulfatos, cálcio, potássio, condutividade, dureza total, sólidos voláteis, sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos, sólidos fixos e sólidos totais. As amostras dos drenos foram as que apresentaram maior concentração destes parâmetros, devido a esse contato com o solo do município, que é um solo salino sódico que apresentam, normalmente reação alcalina, com valores de pH superiores a 8,5, elevada concentração de cátions de sódio e alta presença de sais solúveis, em razão da alta taxa de evaporação e da baixa precipitação pluviométrica da região. Ao longo do eixo CP2 (linha vertical) apresenta maior concentração de sólidos suspensos totais, fixos, voláteis, DBO e DQO nas amostras A1-C1, A4-C1 e A1-C3 do dia 05/02 pelas respectivas amostras serem do esgoto bruto, exceto da A4-C4, por ser uma amostra da saída do tratamento e menor concentração destes parâmetros em algumas amostras dos drenos.

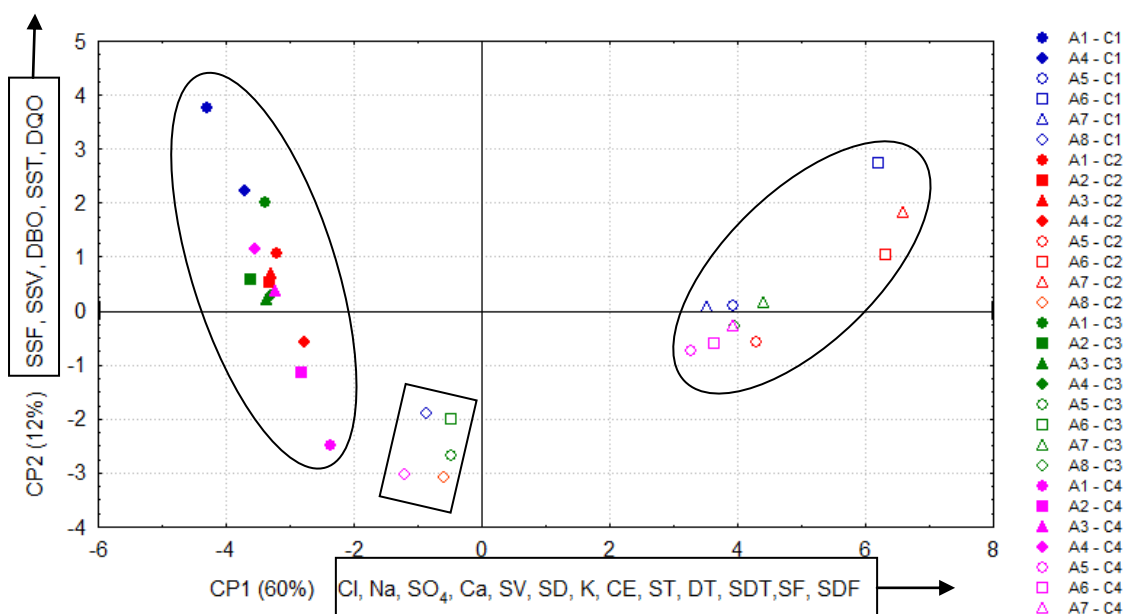


Figura 62 - Escores da CP1xCP2 da estação de Pesqueira.

Na Figura 63 foi observado que ao longo do eixo CP3 (linha vertical), as variáveis que mais influenciaram foram: NTK, alcalinidade total e pH. As amostras que obtiveram mais influência destas variáveis foram nos esgotos brutos, uma vez que a presença destas variáveis são características dos esgotos não tratados.

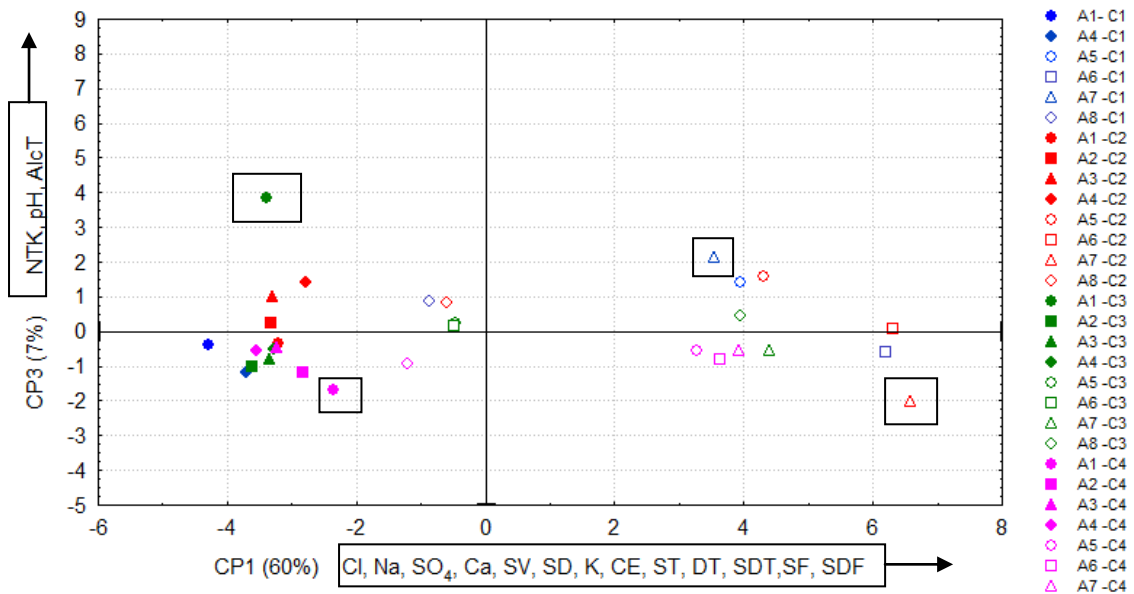


Figura 63 - Escores da CP1XCP3 da estação de Pesqueira

5,6,2 – Aplicação da Análise de Componentes Principais nos dados do Município de Ibirimir-PE

A Tabela 26 mostram os resultados das análises de componentes principais (ACP) feitas a partir da correlação de todos os parâmetros físico-químicos das análises do poço, efluente bruto (afluente), digestor + filtro, UASB e filtro Anaeróbio.

Obtiveram-se 3 gráficos da ACP com quatro componentes principais totalizando 76% das amostras caracterizadas por estes componentes conforme os parâmetros destacados na tabela 26, apresentando variância explicada de 36% na CP1, 19% na CP2, 12% na CP3 e 9% na CP4.

Tabela 26 - Pesos das quatro primeiras componentes principais e percentagem de variância explicada.

	CP1 (36%)	CP2(19%)	CP3(12%)	CP4(9%)
DQO	-0,315	-3,13E-03	-4,14E-02	9,83E-02
DBO	-0,294	0,14	-0,107	-7,30E-02
SST	-0,318	-8,95E-02	-6,28E-02	4,66E-03
SSV	-0,328	-2,18E-02	-2,79E+01	7,68E-03
ST	-0,324	7,29E-02	1,18E-02	1,89E-02
SV	-0,328	1,34E-02	4,38E-02	-2,95E-03
O&G	-0,125	0,259	-0,292	-0,153
CE	0,207	-0,106	-0,202	0,16
pH	0,113	-2,83E-02	0,385	-0,403
SDT	1,14E-03	0,363	0,22	-5,21E-02
SDV	-0,243	0,182	0,275	4,92E-02
SSed	-0,315	-7,04E-02	-7,79E-02	8,37E-02
Nitrogênio Total	-0,243	-0,21	-7,35E-02	-9,87E-03
Nitrogênio Amon	-0,147	-0,311	7,87E+01	0,237
Nitrito	9,24E-02	1,28E-03	-1,64E-02	0,426
Nitrato	-3,20E-03	0,339	-2,37E-02	-0,197
SULFATOS	1,08E-02	0,201	0,248	0,289
FÓSFORO	-0,11	-0,345	0,132	0,127
ALC,Total	8,50E-03	-0,274	0,244	-0,349
Dureza Total	0,101	-0,275	-9,72E-02	-0,219
Dureza Cálcio	0,193	-5,67E-02	-0,281	0,259
Cloretos	7,69E-02	1,51E-02	0,353	0,332
Dureza Mg	-8,04E-02	-0,295	-1,72E-03	-0,12
Sódio	-4,11E-02	6,66E-02	0,389	0,155
Potássio	-2,76E-02	0,238	-0,244	9,92E-03

Os componentes principais representaram aproximadamente 76% da variância dos dados originais, podendo ser utilizadas para verificar semelhanças e diferenças dentro do conjunto amostral (Figuras 64 a 66). As respectivas análises foram realizadas em Outubro e Novembro de 2009, Fevereiro e Abril de 2010.

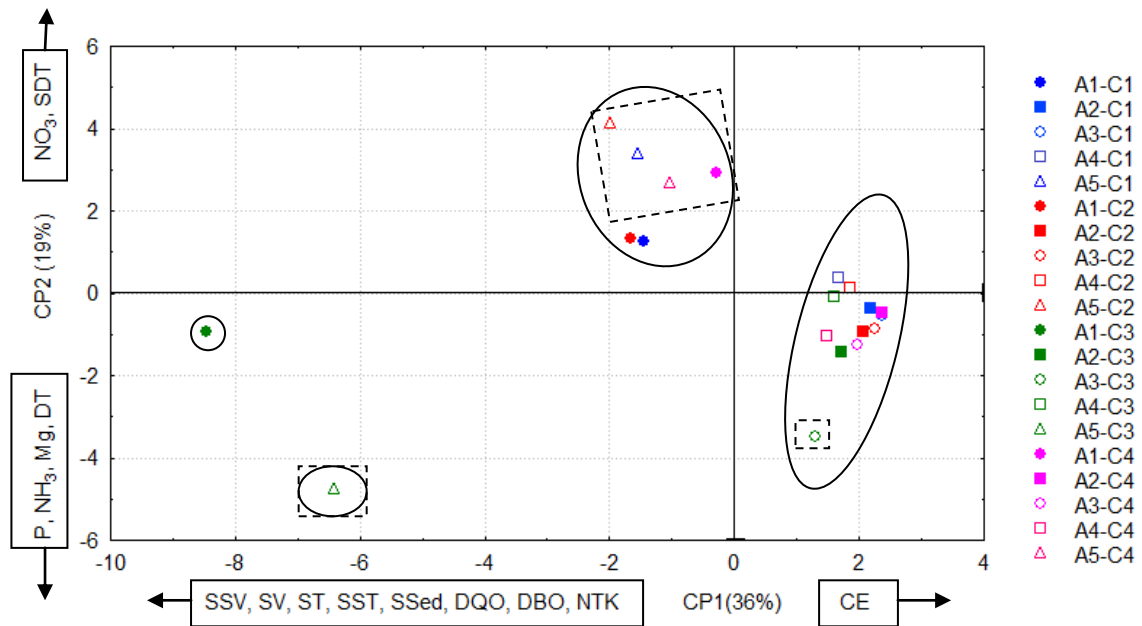


Figura 64 - Escores da CP1XCP2 da estação de Ibimirim.

Na Figura 64, pode ser observado ao longo do eixo CP1 (linha horizontal) uma separação nítida das amostras dos poços (representado pelo símbolo vazado triangular) e esgotos brutos (representado pelo símbolo cheio arredondados) dos tratados no reator UASB (representado pelo símbolo vazado na forma losango), digestor (representado pelo símbolo cheio quadrangular) e filtro (representado pelo símbolo vazado na forma quadrangular) que se situam ao lado esquerdo do gráfico e dos sistemas de tratamento (representada pelos símbolos vazados) que estão posicionadas no lado direito do mesmo nas quatro coletas realizadas. Nos sistemas de tratamento evidenciou-se maiores valores de Condutividade, assim como no poço e no efluente bruto observou-se maiores teores de DBO, DBO, Sólidos e NTK, como esperado. Analisando-se a CP2 (linha vertical) observa-se maior concentração de nitratos e sólidos dissolvidos totais no efluente bruto e uma maior concentração de fósforo, amônia, dureza total e magnésio em destaque numa amostra do poço da terceira coleta representada por o símbolo vazado triangular.

Na Figura 65, pode ser observado que ao longo do eixo CP3 (linha vertical), as variáveis que mais influenciaram foram: SDV, Na, Cl, Nitrito no esgoto bruto e nas variáveis O&G, Ca, K e condutividade foram evidenciadas uma maior presença nos poços.

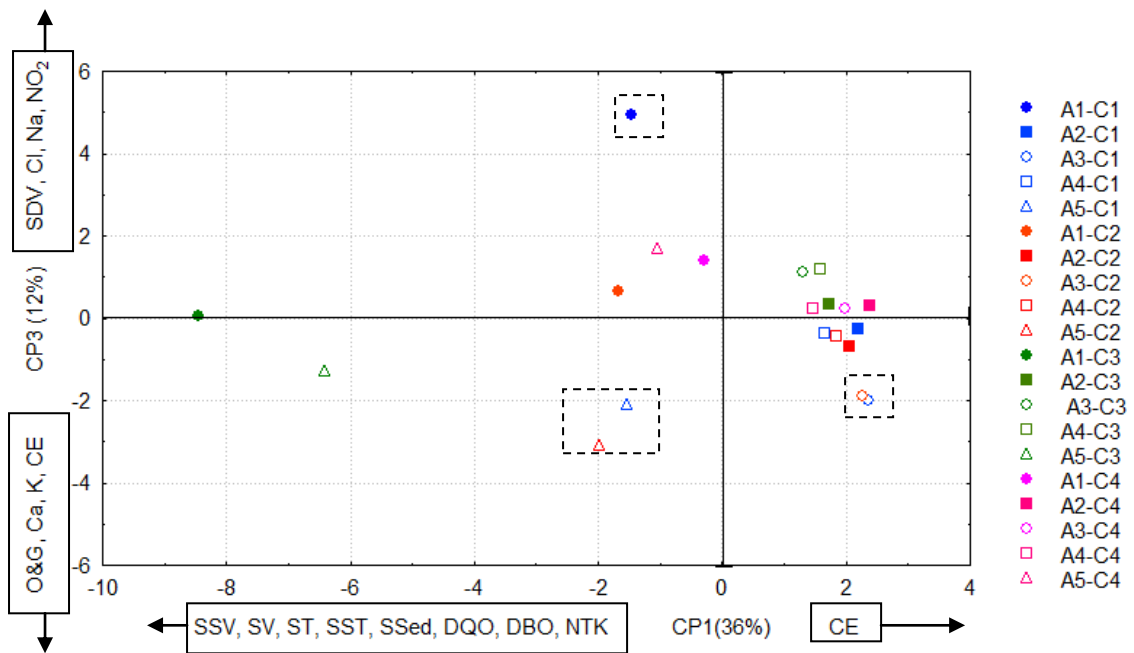


Figura 65 - Escores da CP1XCP3 da estação de Ibimirim.

Na Figura 66, pode ser observado que ao longo do eixo da CP4, as variáveis que tem maior influência são SO₄²⁻, Cl e pH, Estas variáveis apresentam maiores teores nos poços e UASB e alcalinidade total ficou mais evidente nos poços e no sistema filtro.

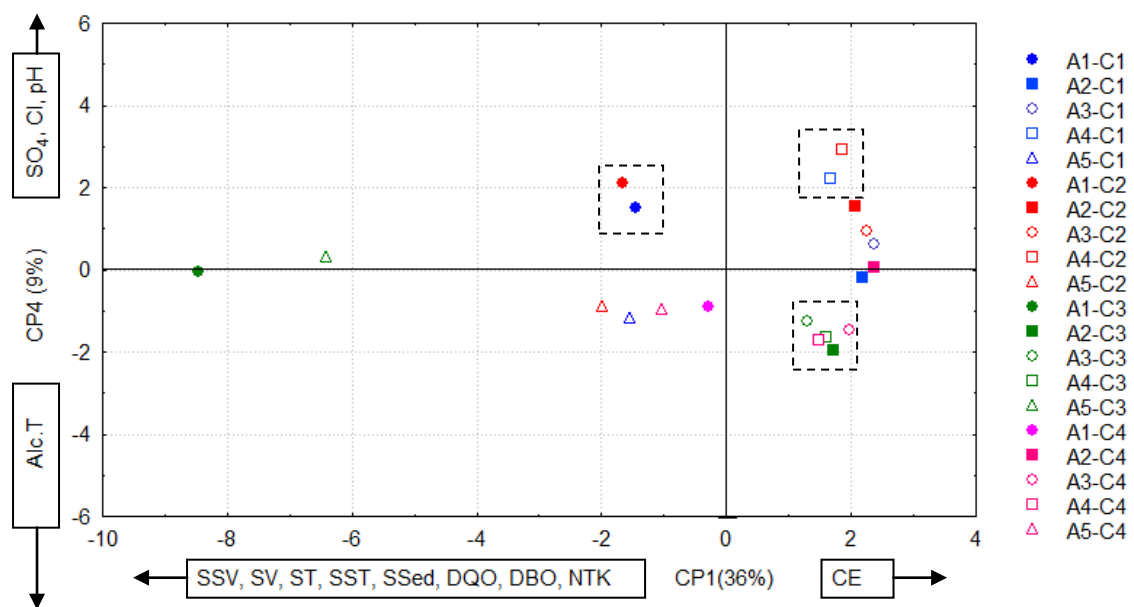


Figura 66 - Escores da CP1XCP4 da estação de Ibimirim.

A ACP permitiu, portanto, extrair informações relevantes, a partir de um volumoso conjunto de dados, com discriminação das variáveis ou fatores físico- na

separação entre as amostras coletadas no sistema de tratamento de efluente (reator e solo) em diferentes períodos de amostragem, A aplicação da ACP possibilitou a identificação das principais tendências nos dados.

5,7 - Avaliação da produtividade de mamona irrigada e fertirrigada, teor e caracterização dos óleos

As sementes de mamona irrigadas obtiveram um valor médio de 0,55 g cada, quanto as sementes de mamona fertirrigadas apresentaram um valor médio de 0,77g cada. A seguir nas Figuras 67 e 68 é mostrada uma avaliação rápida e bem resumida das amostras das respectivas sementes com seus pesos, mostrando a amplitude dos dados, isto é a diferença entre os maiores e os menores valores adquiridos.

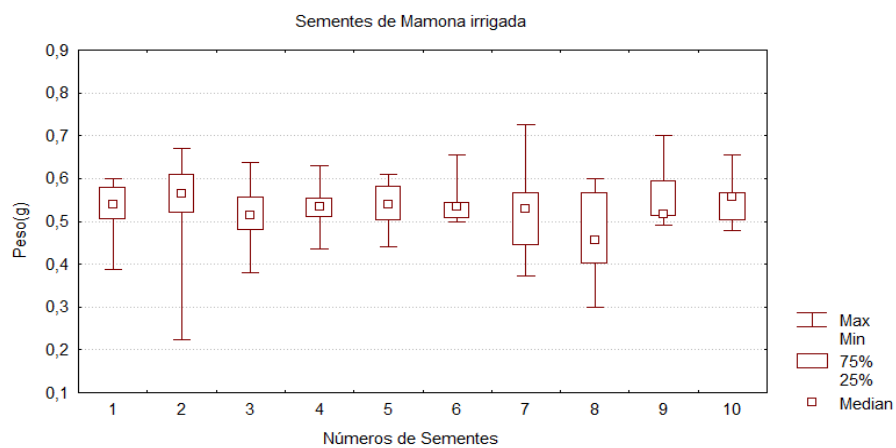


Figura 67 – Peso das sementes de mamona irrigada.

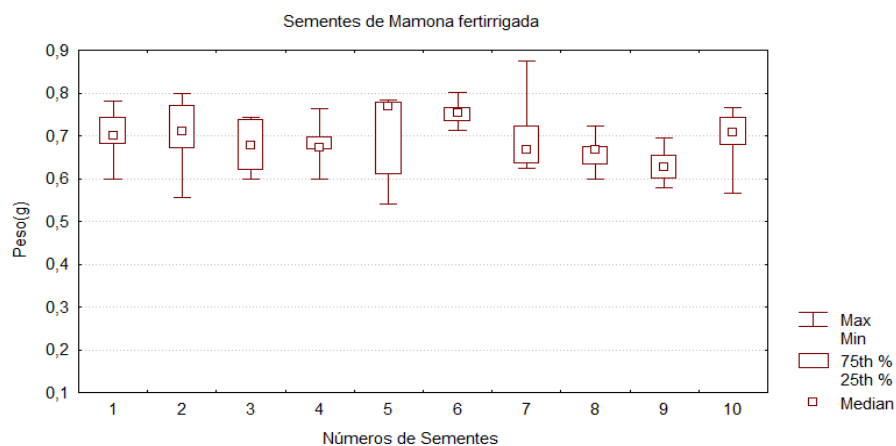


Figura 68 – Peso das sementes de mamona fertirrigada.

Analisando as Figuras 67 e 68 pode ser afirmado que a fertirrigação teve influência na qualidade das sementes, influenciando como consequência na produtividade das plantas.

Os resultados da produtividade da mamona está apresentada na tabela 27.

Tabela 27 - Produtividade da mamona

	mamona irrigada	mamona fertirrigada
massa de sementes trituradas (g)	129,5	180
Massa de óleo (g)	54,4	87,5
Fração mássica (%)	42,0	48,6

Conforme a tabela 27, pode ser constatado que a produtividade medida através da fração mássica foi maior para as sementes provenientes das mamoneiras que foram fertirrigadas durante seu desenvolvimento do que as sementes provenientes das mamoeiras irrigada com água pura, significando um aumento de 15,7 % do teor de óleo.

Diversos fatores podem contribuir para uma variabilidade do teor de óleo da oleaginosa, tais como: teor de umidade; variabilidade genética da amostra recebida; estado de conservação dos frutos.

Outro fator importante de ser analisado é o tipo de irrigação a que a oleaginosa foi submetida no período de cultivo, por isso, foi realizado um total de oito extrações de óleo em amostras de sementes irrigadas com água doce ou com esgoto bruto. Desse total, cinco foram amostras de sementes fertirrigadas, e outras três foram amostras de sementes irrigadas com água pura.

Os resultados do teor de óleo expresso em fração mássica são apresentados nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 28 - Teor de óleo da semente de mamona fertirrigada,

Amostra	Massa (g)		Teor de óleo em relação às sementes (%)
	Sementes	Óleo	
1	40	21,44	53,6
2	40	15,94	39,9
3	40	19,67	49,2
4	40	21,43	53,6
5	20	9,02	45,6
Média			48,4

Tabela 29 - Teor de óleo da semente de mamona irrigada com água pura.

Amostra	Massa (g)		Teor de óleo em relação às sementes (%)
	Sementes	Óleo	
1	40	15,55	38,9
2	40	18,86	47,1
3	49,5	20,02	40,4
Média			42,1

Como pode ser observado, há uma variação entre 39,9% e 53,6% no teor de óleo extraído de sementes de mamona fertirrigada e uma variação entre 38,9% e 47,1% no teor de óleo extraído de sementes de mamona irrigada, média de 48,4% e 42,1%, respectivamente. Assim, a influência da irrigação por esgoto doméstico é constatada a partir do rendimento obtido no processo de extração, onde foi verificado que há uma maior quantidade de óleo de mamona fertirrigada, conforme demonstram as Figuras 59 e 60 a seguir:

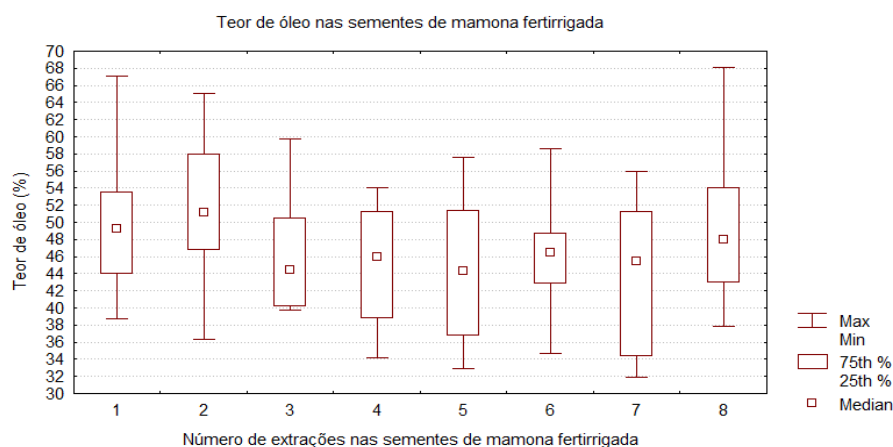


Figura 69 - Teor de óleo na semente de mamona fertirrigada.

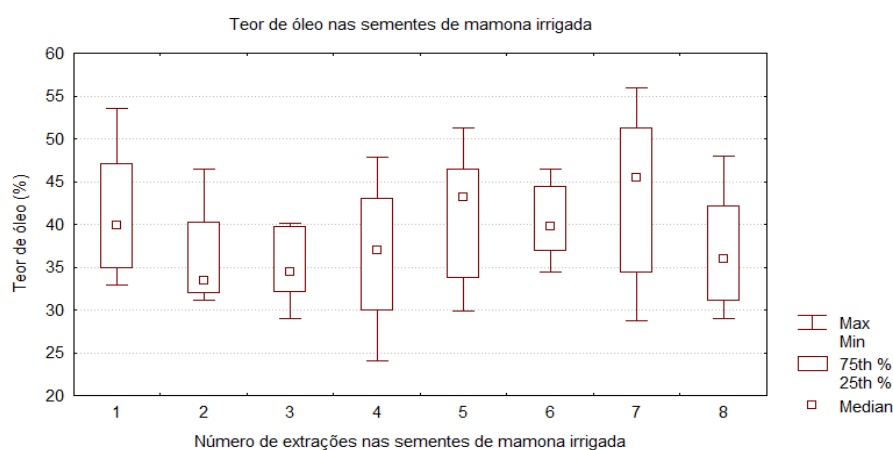


Figura 70 - Teor de óleo na semente de mamona irrigada.

5.8 - Avaliação da qualidade do óleo apartir da mamona

As amostras de óleo extraídos foram caracterizados seguindo suas respectivas metodologias. Os resultados das análises do índice de acidez, da massa específica e da viscosidade cinemática são apresentados nas Tabelas 30 e 31.

Tabela 30 - Resultados das análises do óleo de mamona fertirrigada,

Análises	Unidades	Valor
Índice de acidez do óleo ¹	(mg KOH/g)	0,0003
Massa específica do óleo ²	(kg/m ³)	940
Viscosidade cinemática do óleo ³	(cSt)	248,65

(1) ASTM D664²; (2) ASTM D4052³; (3) ASTM D445

Tabela 31 - Resultados das análises do óleo de mamona irrigada com água doce,

Análises	Unidades	Valor
Índice de acidez do óleo ¹	(mg KOH/g)	3,1844
Massa específica do óleo ²	(kg/m ³)	961,4
Viscosidade cinemática do óleo ³	(cSt)	262,5

(1) ASTM D664²; (2) ASTM D4052³; (3) ASTM D445⁴

De acordo com as análises apresentadas na Tabela 30, observa-se um baixo índice de acidez (0,0003mg KOH/g) para a amostra de óleo de mamona fertirrigada. Já de acordo com as análises apresentadas na Tabela 31, observa-se um alto índice de acidez (3,18 mg KOH/g) para a amostra de óleo de mamona irrigada com água doce.

Portanto, enquanto o óleo da mamona irrigada com água doce apresenta um índice de acidez elevado aumentando a perda da neutralização e indicando a baixa qualidade inferior das sementes, quando comparados com a fertirrigadas (ANGELUCCI et al, 1987), o óleo da mamona fertirrigada apresentou um índice de acidez baixíssimo podendo ser classificado como tipo 1 por possuir valor inferior a 1% (SANTOS, 2001).

A massa específica também é uma importante característica fluidodinâmica do combustível, pois junto com a viscosidade, é importante para o bom funcionamento dos motores de ciclo de diesel. Para o biodiesel, essa propriedade se assemelha à do diesel, exceto o biodiesel de mamona que apresenta uma elevada viscosidade e alta massa específica que é de 0,959 kg/L (MONTEIRO, 2007). Sendo assim, os valores das massas específicas para os óleos de mamona proveniente de ambos os tipos de irrigação estão de acordo com o encontrado na literatura.

Em relação à viscosidade, não há um valor fixo na literatura, Entretanto, obtêve-se valores próximos para a viscosidade cinemática dos óleos.

Pela análise cromatográfica da composição média em ácidos graxos, aparecem em maior quantidade os ácido oléico (C18:1), linoleico (C18:2) e ricinoleico (C18:1-OH) em maiores proporções, 11,3%, 13,5% e 69,9% respectivamente.

A Tabela 32 mostra a composição química em ácidos graxos do óleo de mamona irrigada.

Tabela 32 – Composição química em ácidos graxos do óleo de mamona irrigada.

Ácidos Graxos	Nº Carbono / Nº dupla ligação	Estrutura	Composição (%)
Palmítico	16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	3,2
Estearico	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	2,1
Oléico	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	11,3
Linoléico	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13,5
Ricinoleico	18:1- OH	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	69,9
Saturados			5,3
Insaturados			94,7

Os valores obtidos na composição média dos ácidos graxos demonstraram que, o mais importante constituinte do óleo de mamona, o ácido ricinoléico, ficou abaixo da média que varia entre 84-91(%) com resultado de 69,9%.

Esse ácido atua fortemente nas propriedades físicas e químicas, contribuindo para as propriedades finais tanto do óleo como para o biodiesel, A presença do grupo hidroxila do carbono 12 e carboxila do carbono 1 na cadeia do ácido ricinoleico provoca interações do tipo ligação de hidrogênio, tanto entre moléculas que estão interagindo entre si (ligações intermoleculares) quanto em uma única molécula (ligação intramolecular).

Já a análise cromatográfica da composição média em ácidos graxos no óleo da mamona fertirrigada aparecem em maior quantidade em ácido oléico (C18:1), linoleico (C18:2) e ricinoléico (C18:1-OH) em maiores proporções, 3,5%, 4,3% e 87,9% respectivamente, A Tabela 33 mostra a composição química em ácidos graxos do óleo de mamona fertirrigada.

Tabela 33 – Composição química em ácidos graxos do óleo de mamona fertirrigada.

Ácidos Graxos	Nº Carbono / Nº dupla ligação	Estrutura	Composição (%)
Palmítico	16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	2,2
Esteárico	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	2,1
Oléico	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	3,5
Linoléico	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	4,3
Ricinoleico	18:1-OH	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	87,9
Saturados			4,3
Insaturados			95,7

Em relação ao ácido ricinoléico, seu principal componente é um dos critérios de avaliação considerado no momento da comercialização; seu mínimo aceitável é 84%; e no material analisado do óleo de mamona fertirrigada, a porcentagem deste, obteve o valor de 87,9%. Onde este valor se encontra dentro do padrão aceitável, assim este material é considerado promissor do ponto de vista comercial (ICOA,2005).

5.9 - Avaliação da qualidade do biodiesel

Os óleos foram transesterificados e a qualidade do biodiesel foi avaliada. Na Figura 71 é demonstrada a cromatografia do biodiesel de mamona irrigada.

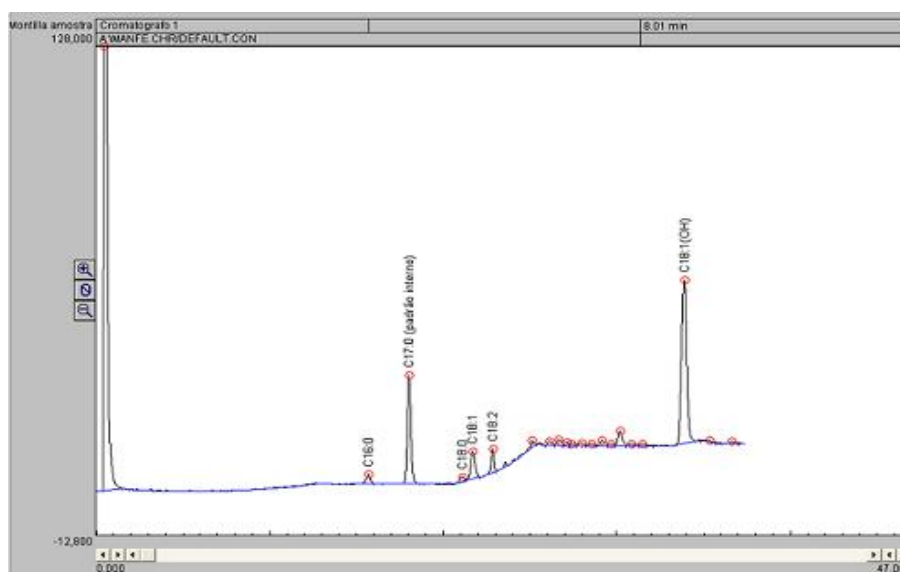


Figura 71 - Análise por cromatografia em fase gasosa do biodiesel de mamona irrigada.

Tabela 34 - Composição química em ácidos graxos do biodiesel de mamona irrigada

ÁCIDOS GRAXOS	N CARBONO / N DUPLA LIGAÇÃO	COMPOSIÇÃO (%)
Palmítico	16:0	4,00
Estearico	18:0	2,91
Oléico	18:1	16,26
Linoléico	18:2	13,10
Ricínolico	18:1 OH	63,73
Saturados	-	6,91
Insaturados	-	93,09

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 34, os ésteres de ácidos graxos insaturados aparecem em maior quantidade com os ésteres de ácido oléico (C18:1), linoléico (C18:2) e ricínolico (C18:1 OH) em maiores proporções, 16,26%, 13,10% e 63,73%, respectivamente, apresentando portanto um total de 93,09% da composição dos ésteres de ácidos graxos do biodiesel. Os ésteres de ácidos graxos saturados - ácidos palmítico (C16:0) e estearico (C18:0) - foram encontrados em níveis mais baixos, apresentando um total de 6,91% da composição dos ésteres de ácidos graxos do biodiesel.

Na Figura 72, demonstra a análise cromatográfica realizada com o biodiesel produzido a partir da mamona fertirrigada.

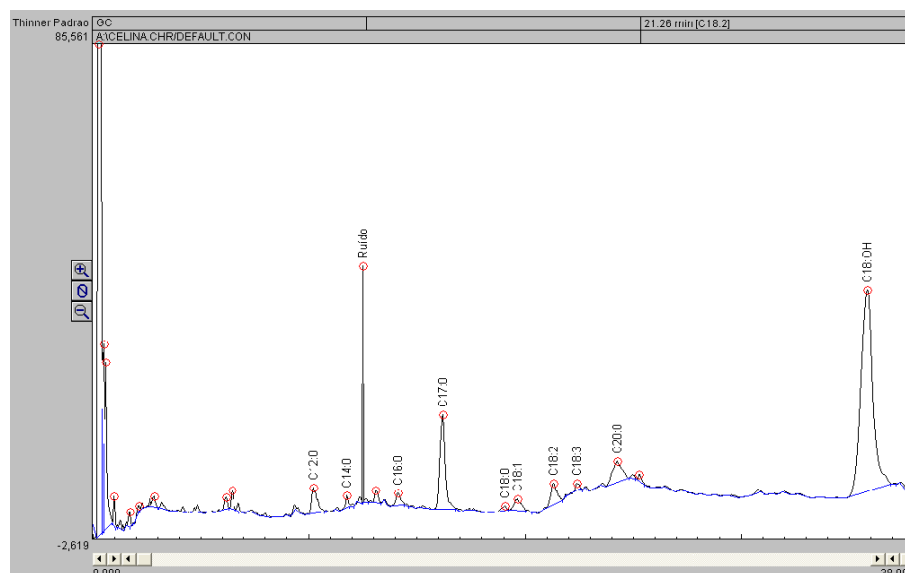


Figura 72 - Análise por cromatografia em fase gasosa do biodiesel de mamona fertirrigada.

Os resultados apresentados na Tabela 35, mostram que os ésteres de ácidos graxos insaturados aparecem em maior quantidade, apresentando, portanto, um total de 79,9% da composição dos ésteres de ácidos graxos do biodiesel. Os ésteres de ácidos

graxos saturados foram encontrados em níveis mais baixos, apresentando um total de 20,0782% da composição dos ésteres de ácidos graxos do biodiesel,

Tabela 35 - Composição química em ácidos graxos do biodiesel de mamona fertirrigada

ÁCIDOS GRAXOS	N CARBONO / N DUPLA LIGAÇÃO	COMPOSIÇÃO (%)
Láurico	12:0	6,9875
Mirístico	14:0	1,3453
Palmítico	16:0	2,5184
Esteárico	18:0	0,5581
Oléico	18:1	5,0850
Linoléico	18:2	6,5751
Linolênico	18:3	0,6922
Araquídico	20:0	8,6688
Ricínolico	18:1 OH	67,5695
Saturados	-	20,0782
Insaturados	-	79,9218

Apartir da composição química em ácidos graxos do biodiesel de mamona, calculou-se pelo método europeu, a pureza de cada biodiesel produzido. O biodiesel da mamona fertirrigada apresentou pureza de 78,1%, já o da mamona irrigada com água pura apresentou pureza de 47,1%.

Conforme descrito na literatura o número de cetano, NC, o qual é um indicativo adimensional da qualidade de ignição do biodiesel, diminui com o aumento das insaturações e aumenta com o tamanho da cadeia (grupos -CH₂-). Outra propriedade importante é a estabilidade à oxidação que afeta a qualidade do biodiesel principalmente em decorrência de longos períodos de armazenamento. As razões para a auto-oxidação do biodiesel estão relacionadas a presença das insaturações, ou seja, ligações duplas (-CH₂=CH₂-), na cadeia dos ésteres (KNOTHE, et al., 2006).

De acordo com os resultados das composições apresentadas, o equilíbrio dos teores de ésteres de ácidos graxos insaturados e saturados sugerem que o biodiesel produzido, apresente uma boa qualidade de ignição e alta estabilidade oxidativa.

Diversos fatores podem contribuir para uma variabilidade do teor de óleo da oleaginosa, entretanto, o fator analisado nessa pesquisa foi a irrigação a qual a plantas de mamona foram submetidas no período de cultivo,

Através da Tabela 27, pode ser constatado que a produtividade medida através da fração mássica foi maior para as sementes provenientes das mamoneiras que foram

fertirrigadas durante seu desenvolvimento com água residuária previamente tratada, significando um aumento de 15,71% do teor de óleo,

De acordo com as análises apresentadas na Tabela 30, pode ser observado um baixo índice de acidez para o óleo de mamona fertirrigada e um alto índice de acidez para óleo de mamona irrigada com água doce apresentada na Tabela 31. A acidez livre de uma gordura decorre da hidrólise parcial dos glicerídeos, razão pela qual não é uma constante ou característica, mas, sim, uma variável intimamente relacionada com a natureza e a qualidade da matéria-prima, com a qualidade e o grau de pureza da gordura, com o processamento e com as condições de conservação da gordura (MORETO & FETT, 1998). Portanto, enquanto o óleo da mamona irrigada com água doce apresenta um índice de acidez elevado, aumentando a perda durante a neutralização e indicando a qualidade inferior das sementes, de manuseio e armazenamento impróprios ou de um processamento insatisfatório (ANGELUCCI, 1987), o óleo da mamona fertirrigada apresentou um índice de acidez baixo podendo ser classificado como tipo 1 por possuir valor inferior a 1% (SANTOS, 2001). A densidade também é uma importante característica fluidodinâmica do combustível, pois junto com a viscosidade possui uma infinita importância para o bom funcionamento dos motores de ciclo de diesel, para o biodiesel essa propriedade se assemelha as do diesel, exceto o biodiesel de mamona que apresenta uma elevada viscosidade, devido à alta densidade do óleo que é de 0,959kg/L (MONTEIRO, 2007). Sendo assim, os valores das massas específicas de ambos os tipos de óleo estão de acordo com o encontrado na literatura,

Em relação à viscosidade, não há um valor fixo, entretanto, os valores obtidos são próximos, Dependendo da matéria-prima, o biodiesel pode conter mais ou menos ácidos graxos insaturados em sua composição, os quais são susceptíveis a reações de oxidação aceleradas pela exposição ao oxigênio e altas temperaturas. A decomposição térmica também pode resultar em compostos poliméricos, que são prejudiciais ao funcionamento do motor. Foi feita a transesterificação dos óleos com consequente análise da qualidade do biodiesel, a composição dos ácidos graxos para ambos os tipos de irrigação e a quantificação desses através do percentual de área. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 35, é observado que os ésteres de ácidos graxos insaturados aparecem em maior quantidade que os ésteres de ácidos graxos saturados.

5.10 - Teor e caracterização de óleo do pinhão manso

As sementes de pinhão manso irrigadas têm uma massa média de 0,78g, com um desvio padrão de 0,033, como ilustra na Figura 73, com intervalo de confiança de 75%. Elas são compostas por 36,7% de casca e 63,3% de albúmem.

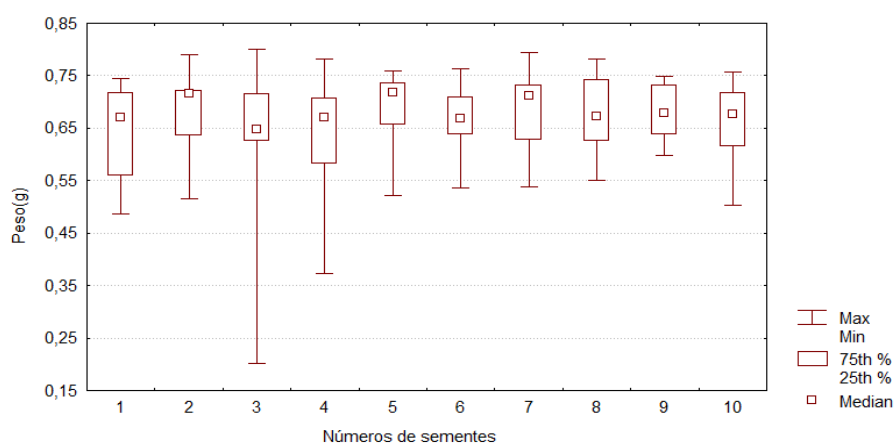


Figura 73 – Massa das sementes de pinhão manso irrigado

Fez-se o processo de extração da semente, utilizando o método de soxhlet. Foi possível extrair das sementes um valor médio de 31% de óleo, como demonstra figura 74.

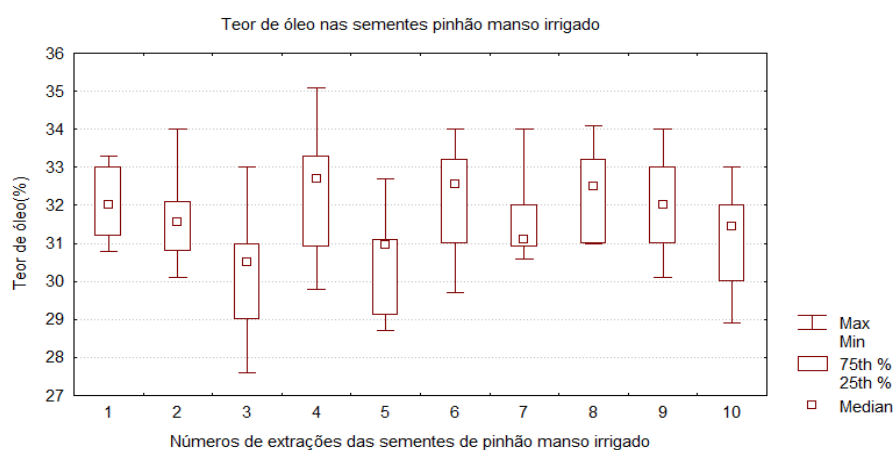


Figura 74 – Teor de óleo na semente de pinhão manso irrigado

Os resultados do teor de óleo (pinhão manso) expresso em fração mássica são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Teor de óleo da semente de Pinhão manso irrigado com água pura,

Amostra	Massa (g)		Teor de óleo em relação às sementes (%)
	Sementes	óleo	
1	30	10,33	34,4
2	30	6,39	14,2
3	30	6,80	22,67
4	30	7,77	25,91
5	38	13,43	34,87
Média			26,41

Como pode ser observado, há uma variação entre 14,5% e 34,5% no teor de óleo extraído de sementes de pinhão manso irrigado numa média de 26,41%. Este valor considera-se abaixo da percentagem do óleo de Pinhão manso da literatura, que é cerca de 35%, isto se deve a perdas durante o processo, tempo de extração, umidade, dentre outros fatores que estão influenciando no rendimento do óleo, que já está sendo analisados para possível correção.

O óleo foi caracterizado seguindo suas respectivas metodologias, os resultados das análises do índice de acidez, da massa específica (densidade) e da viscosidade cinemática são apresentados na tabela 37.

Tabela 37 - Resultados das análises do óleo de Pinhão manso irrigado com água pura,

Análises	Unidades	Valor
Índice de acidez do óleo ¹	(mg KOH/g)	18,82
Massa específica do óleo ²	(kg/m ³)	911,5
Viscosidade cinemática do óleo ³	(cSt)	31,49

(1) ASTM D664²; (2) ASTM D4052³; (3) ASTM D445⁴.

De acordo com as análises apresentadas na Tabela 37, observa-se elevado índice de acidez (18,82 mg KOH/g) para a amostra de óleo de pinhão manso irrigado com água pura. Foram utilizadas algumas gramas de óleo de pinhão manso, aquecido a certa temperatura e em seguida foi adicionado o catalisador H₂SO₄ dissolvido em álcool metílico. O sistema foi submetido a agitação de 300 rpm por 1h a uma temperatura de 55°C, para posterior separação de fases em um funil de decantação. Novamente, fez-se a análise do óleo já neutralizado o qual resultou em uma acidez de 0,96 mg KOH/g.

Tabela 38 - Resultado da análise do óleo de Pinhão manso neutralizado,

Análise	Unidades	Valor
Índice de acidez do óleo neutralizado	(mg KOH/g)	0,9624

A análise da massa específica da amostra do óleo foi de $911,5 \text{ kg/m}^3$, observa-se um valor coerente com o padrão do óleo de pinhão manso. A viscosidade cinemática da amostra do óleo foi 31,49 cSt, também coerente com as características do óleo.

O óleo foi caracterizado por cromatografia a gás, conforme mostra a Figura 75 e a Tabela 39 apresenta o teor de ácidos graxos presentes no óleo.

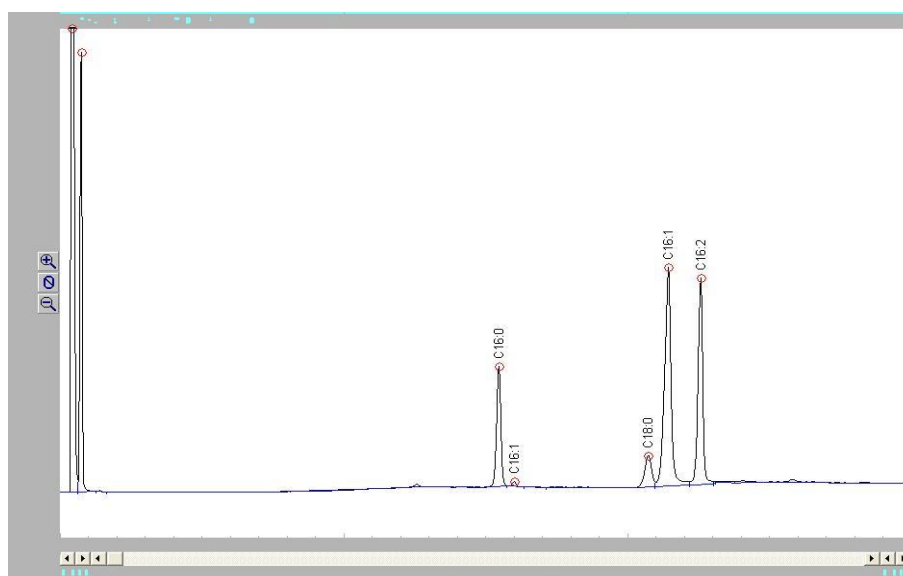


Figura 75- Análise por cromatografia em fase gasosa (GC) do óleo de pinhão manso irrigado.

Tabela 39 - Composição química em ácidos graxos do óleo de pinhão manso irrigado.

Ácidos graxos	N Carbono / N dupla ligação	Estrutura	Composição (%)
Palmítico	16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	15,87
Palmitoléico	16:1	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_5 - \text{HC} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$	0,71
Estearico	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	6,99
Oléico	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	45,83
Linoléico	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	30,60
Saturados	-	-	22,86
Insaturados	-	-	77,14

Os ésteres de ácidos graxos insaturados aparecem em maior quantidade com os ésteres de ácido oléico (C18:1) e linoléico (C18:2) em maiores proporções, 45,83 % e 30,60%, respectivamente. Os ésteres metílico de ácidos palmítico (C16:0), palmitoléico (C16:1) e esteárico (C18:0) foram encontrados em níveis mais baixos. O resultado demonstra que o óleo neutralizado está dentro das especificações estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para óleos vegetais e propício para a produção de biodiesel, devido a sua acidez inferior a 2mg de KOH/g óleo.

5.10.1 – Avaliação da qualidade do biodiesel de pinhão manso

Foi feita a transesterificação dos óleos e analisou-se a qualidade do biodiesel, a composição dos ácidos graxos para ambos os tipos de irrigação e a quantificação desses através do percentual de área, pois, dependendo da matéria-prima, o biodiesel pode conter mais ou menos ácidos graxos insaturados em sua composição, os quais são susceptíveis a reações de oxidação aceleradas pela exposição ao oxigênio e altas temperaturas, condições que são pertinentes ao funcionamento do motor. A decomposição térmica também pode resultar em compostos poliméricos, que são prejudiciais ao funcionamento do motor, portanto, há a necessidade de se determinar a composição em ésteres de ácidos graxos no biodiesel para poder se estudar sua estabilidade. Na Figura 76 pode-se observar o resultado da análise cromatográfica do biodiesel de pinhão manso irrigado com água de abastecimento.

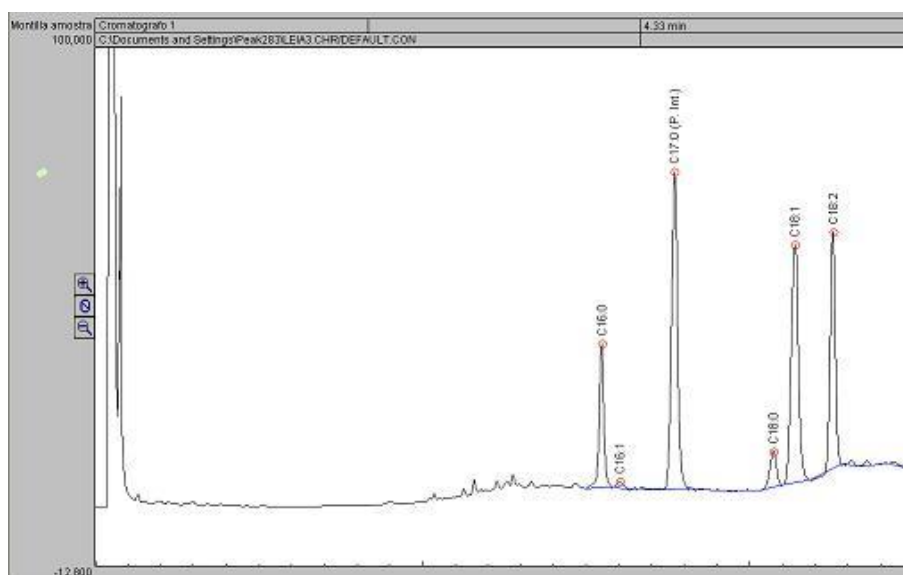


Figura 76 - Cromatograma da amostra de biodiesel de pinhão manso irrigado.

Tabela 40 - Os ácidos graxos com suas respectivas áreas e composições

Ésteres	Área	Composição (%)
C16:0	297,41	17,48
C16:1	18,065	1,06
C18:0	108,37	6,37
C18:1	761,11	44,75
C18:2	516,01	30,34
TOTAL:	1700,965	100

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 40, os ésteres de ácidos graxos insaturados aparecem em maior quantidade com os ésteres de ácido oléico (C18:1) e linoléico (C18:2) em maiores proporções, 44,75 % e 30,34%, respectivamente. Os ésteres metílico de ácidos palmítico (C16:0), palmitoléico (C16:1) e esteárico (C18:0) foram encontrados em níveis mais baixos.

Tabela 41 – Composição química em ácidos graxos do biodiesel de pinhão manso.

Ácidos graxos	N carbono / N dupla ligação	Estrutura	Composição (%)
Palmítico	16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	17,48
Palmitoléico	16:1	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_5 - \text{HC} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$	1,06
Esteárico	18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	6,37
Oléico	18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	44,75
Linoléico	18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	30,34
Saturados	-	-	23,85
Insaturados	-	-	76,15

Quanto menor o número de insaturações (duplas ligações) nas moléculas, maior o número de cetano do combustível, ocasionando uma melhor “qualidade à combustão”, Por outro lado, um aumento no número de cetano ocasiona também um aumento no ponto de névoa e de entupimento (maior sensibilidade aos climas frios) (KNOTHE, 2007). Por outro lado, um elevado número de insaturações torna as moléculas menos estáveis quimicamente, isso pode provocar inconvenientes devido às oxidações, degradações e polimerizações do combustível (ocasionando um menor número de cetano ou formação de resíduos sólidos), se inadequadamente armazenado ou transportado (KNOTHE, 2007). A percentagem de ácidos graxos insaturados

apresentados no biodiesel do pinhão manso irrigado deu cerca de 76,15% e saturados uma percentagem de 23,85%.

A partir da composição química em ácidos graxos do biodiesel de pinhão manso, calculou-se pelo método europeu a pureza de cada biodiesel produzido. O biodiesel de pinhão manso irrigado apresentou pureza de 71%.

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o valor fertilizante dos constituintes (macro e micronutrientes) presentes nos esgotos tratados, de um modo geral, é considerado benéfico, pois, os efluentes tratados fornecem nutrientes para o bom desempenho da cultura irrigada, além de poderem substituir a fertilidade natural do solo e/ou a aplicação de adubos, quando estes são insuficientes para manter as necessidades nutricionais das plantas por muito tempo. Portanto, o tratamento de esgotos sanitários objetivando utilizá-los na agricultura é uma alternativa viável, porque, além de suprir a demanda de água, também pode contribuir para a fertirrigação do solo.

As ETEs dos respectivos municípios obtiveram resultados satisfatórios, onde Pesqueira teve a eficiência de remoção de DQO entre 61,15% a 83,25%, e de DBO 68,84% chegando até 96,62%. Em Ibimirim o sistema Digestor + filtro obteve remoção de 93,6% de DQO, e 98,2% de DBO. No UASB, remoção de 94,84% de DQO e 92,31% de DBO e o filtro remoção de 91,92% de DQO e 84,26% de DBO.

Foi possível demonstrar as condições dos solos de ambos municípios, a partir de esgoto doméstico onde foram realizadas análises para mostrar suas características, pois as áreas estudadas são regiões do semi-árido onde apresenta um solo sódico-salino, que possui características em razão da baixa precipitação pluvial e alta taxa de evaporação, havendo muito problemas de salinização do solo onde constando elevadas quantidades de sais tornam-se prejudiciais ao crescimento normal das plantas, prejudicando a qualidade do óleo extraído das sementes das oleaginosas, conseqüentemente o biodiesel.

Os resultados obtidos demonstram a facilidade com que o sistema multivariado (ACP) permite extrair informações relevantes a partir de um volumoso conjunto de dados. A identificação de parâmetros redundantes, amostras anômalas e o causal das anomalias são operações extremamente facilitadas, quando a dimensionalidade do conjunto pode ser diminuída, sem perda de informação relevante, com discriminação das variáveis ou fatores físico-químicos na separação entre as amostras coletadas no sistema de tratamento de efluente (reator e solo) em diferentes períodos de amostragem.

A influência da irrigação a partir de esgoto doméstico é constatada através do rendimento das sementes de mamona obtido no processo de extração, onde foi verificado que a cada 40 g de sementes colocadas no extrator para a extração por soxhlet foi obtido um teor de 46 -70% de óleo de mamona. Este tipo de irrigação é viável pois o esgoto doméstico apresenta 99,9% de água em sua composição sendo

importante para o crescimento da plantação de mamona, constatando-se que a produtividade foi maior para as sementes da mamona provenientes das mamoneiras que foram fertirrigadas durante seu desenvolvimento com água residuária previamente tratada que as sementes irrigadas com água doce.

Quanto à qualidade dos óleos obtidos, verificou-se que o método de irrigação das mamoneiras não foi capaz de alterar significativamente os valores de massa específica e viscosidade cinemática. Entretanto, a fertirrigação diminuiu a concentração de ácidos livres presentes o que baixou a acidez do óleo. Essa baixa acidez caracteriza um óleo de maior qualidade podendo ser classificado como óleo tipo 1 conforme Santos et al, (2001). Assim, o óleo de mamona fertirrigada apresentou superioridade em relação ao óleo de mamona irrigada com água doce, o mesmo pode ser dito em relação ao biodiesel.

O biodiesel produzido a partir das sementes de mamona fertirrigada apresentou percentual de ésteres saturados de 20,0782% e insaturados 79,9218% , uma vez que a presença de insaturados é necessário para que ocorra a fluidez do biodiesel, contudo é preciso que haja um equilíbrio com os saturados, para evitar o congelamento do biocombustível em locais de baixa temperatura.

O percentual do biodiesel produzido a partir das sementes de mamona irrigada com água doce, obteve um percentual bem mais superior de insaturações, ou seja, uma probabilidade de ocorrer uma oxidação no qual interfere na qualidade do biodiesel. O biodiesel foi caracterizado, indicando que o biodiesel a partir da mamona fertirrigada obteve uma qualidade melhor que a do biodiesel da mamona irrigada com água doce.

Em relação às sementes de pinhão manso, tanto os óleos quanto os respectivos biodíeseis das sementes irrigadas com água doce, estiveram dentro dos padrões de qualidade. Em relação aos óleos e os respectivos biodíeseis obtidos a partir das sementes fertirrigadas de pinhão manso, não obtivemos resultados, devido aos problemas da estação de tratamento e também porque essa cultura precisou de um tempo maior para seu desenvolvimento.

7. REFERÊNCIAS

1. AL-LAHHAM. O.; EL ASSI. N. M.; FAYYAD. M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management*. n.61. p.51-62. 2003.
2. APHA – American Public Health Association. *Standard Methods For The Examination Of Water & Wastewater*. 21th. ed. New York: APHA. 2005.
3. ARRUDA. F. P. ; Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista de oleaginosas e fibrosas*. v. 8. p. 789-799. 2004
4. ASANO. T.. ADIN. A. The role of physical-chemical treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water science and technology*. Oxford. Vol.37.N.10.p.79-90.1998.
5. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 4052 – 1996 (02)^{e1}: Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter. *ASTM*. 2002.
6. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 445 – 1997: Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity). *Anual Book of ASTM Standards*. v. 05.01. 2001.
7. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 664 – 1995: Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. *Anual Book of ASTM Standards*. v. 05.01. 2001.
8. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 93 – 2006: Flash-Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. *ASTM*. 2006.
9. AUGUSTUS. G. D. P. S.; Evaluation and bioinducion of energy components of *Jatropha curcas*. *Biomass & Bioenergy*. v. 23. p. 161-164. 2002.
10. AZEVEDO. P. V.; SILVA. B. B.; SILVA. V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchard in Northeast Brazil. *Agricultural Water Management*. v.58. n.3. p.241-254. 2006.
11. AZEVEDO. D.M.P. de.; LIMA. E.F.; BATISTA. F.A.S.; BELTRÃO. N.E. de M.; SOARES. J.J.; VIEIRA. R.M. de; MOREIRA. J.A.M. *Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira *Ricinus communis* L. no nordeste do Brasil*. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA. 39p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica. 25).2001.
12. AYERS. R. S.. WESTCOT. D. W. A qualidade da água na agricultura. “Water Quality for Agriculture”. FAO. Tradução H. R. Ghery e J. F. de Medeiros. UFPB. Campina Grande – PB. 1999.

-
- 13.BELICH. Feruccio. Análise do potencial brasileiro na produção de biodiesel. *I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel: artigos técnico-científicos*. Brasília. 31 de agosto a 1 de setembro de 2006. Brasília. DF: MCT/ABIPTI. v. 1. p 24-29.2006.
- 14.BELTRÃO. N.E. de M. Informações sobre o biodiesel. em especial feito com o óleo de mamona. Campina Grande: Embrapa Algodão. 3p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico. 177). CNPA 1060.2003.
- 15.BERNARDI. Cristina Costa. REUSO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO. Brasília: ISAEFGV/ ECOBUSINESS SCHOOL. 52p. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada. área de concentração Planejamento Estratégico).2003.
- 16.BRANDÃO. L. P.. MOTA. S.. MAIA. L. F.. II – 073 – Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação. VI SIBESA – Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.
- 17.BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Lei nº 9.433/97. de 08/01
- 18.CAMPOS. J.R.. DIAS. H.G. Potencialidade do filtro anaeróbio. *Revista DAE*. São Paulo. v.49. n.154. p.29-33. jan.-mar.1989.
- 19.CANAKCI. M.. and J.H. Van Gerpen. Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids. *Ibid.* 44:1429–1436 .2001.
- 20.CERQUEIRA. L. L.; Fadigas. F. S. Pereira. F. A.; Gloaguen. T. V.; Costa. J. A. desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus* irrigados com águas residuárias tratadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.12. n.6. p.606-613. 2008.
- 21.CHERNICHARO.C.A.L.Princípios de tratamento biológico de águas residuárias:Reatores Anaeróbios.Desenvolvimento sanitário e ambiental da UFMG.1995.
- 22.CHIERICE. G. O.; CLARO NETO. S. Aplicação industrial do óleo. In: AZEVEDO. D. M. P.; LIMA. E. F. (Ed.) *O Agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 89- 120.2001.
- 23.COELHO. I. Avaliação das exportações tradicionais baianas: caso de sisal e mamona. 174p. (Tese de Mestrado) - UFB. Salvador.1979.
- 24.DEMIRBAS. Ayhan. Studies on cottonseed oil biodiesel prepared in non-catalytic SCF conditions. *Bioresource Technology*. 2007. Doi:10.1016/j.biortech.2007.02.024.
- 25.DORADO. M. P.; BALLESTEROS. E.; LÓPEZ. F. J.; MITTELBAACH. M.; *Energy Fuels* 2002. 18. 77.

-
26. DOSSIN. T. F.; REYNIERS M. F.; BERGER. R. J.; MARIN. G. B. Simulation of heterogeneously MgO-catalyzed transesterification for fine-chemical and biodiesel industrial production. *Applied Catalysis B: Environmental*. v. 67. p. 136–148. 2006.
27. DUNN. D. O. Effect of oxidation under accelerated conditions on fuel properties of methyl soyate (biodiesel). *J. Am. Oil Chem. Soc.*. v. 79. p. 915-920. 2002.
28. ENCINAR. J. M.; GONZÁLEZ. J. F.; SABIO. E.; RAMIRO. M. J. Preparation and properties of biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil; *Ind. Eng. Chem. Res.*. v. 38. p. 2927-2931. 1999.
29. ENCINAR. J. M.; GONZÁLEZ. J. F.; RODRÍGUEZ. J. J.; TEJEDOR. A. Biodiesel fuels from vegetable oils: transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol; *Energy Fuels*. v. 19. p. 443-450. 2002.
30. ENCINAR. J. M.; González. J.F.; Rodríguez-Reinares. A. Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. *Fuel Processing Technology*. 88. p. 513–522. 2007.
31. FADINI. P.S. Determinação de carbono orgânico dissolvido em amostras através de análise por injeção em fluxo. Campinas: UNICAMP. 1995. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. 1995.
32. FERRARI. Roseli Aparecida; OLIVEIRA. Vanessa da Silva; SCABIO. Ardalla. Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etílicos. Caracterização Físico-química e Consumo em Gerador de Energia. *Química Nova*. v. 28. n. 1. p. 19-23. 2005.
33. FERREIRA. C.V. Otimização do processo de produção de biodiesel a partir de óleos de mamona e algodão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). DEQ-UFPE. 2007.
34. FERREIRA. M.M.C. et alii. Quimiometria I: calibração multivariada. um tutorial. *Quím. Nova*. 22(5):724. 1999.
35. FIELD. J. Parâmetros operativos del manto de lodos anaerobicos de flujo ascendente. In: *Arranque y operacion de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo - UASB. UNIVERSIDAD DEL VALLE / CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA / UNIVERSIDAD AGRICOLA DE WAGENINCEN*. nov. 1987. p. B1-B35. (Apostila).
36. FINK. D. R. & SANTOS. H. F. A legislação de reuso da água. In: *Reuso de água; Capítulo 8*. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo. 2002.
37. FORESTI. E.; Zaiat. M.; Cabral. A. K. A.; Del Nery. V. Horizontal – Flow Anaerobic Immobilized Sludge (HAIS) Reactor for Paper Industry Wastewater Treatment – 50th

Purdue Industrial Waste Conference Proceedings..Ann Arbor Press. Inc..Chelsea.Michigan.421 – 425.2005.

38.FREDDMAN. B.; BUTTERFIELD. R. O.; PRYDE. E. H.; J. Am. Oil Chem. Soc.. 63. 1598. 1986.

39.FREITAS. S. M.de.; FREDO. C.E. Biodiesel a base de óleo de mamona: algumas considerações. Revista informações econômicas. São Paulo. v.35. n. 1. jan.. 2005.

40.FREIRE. R. M. M. Ricinoquímica. In: O agronegócio da mamona no Brasil. AZEVEDO. D. M. e LIMA. E.F. (Ed.). Embrapa algodão (Campina Grande – Paraíba) – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 295 – 336.2001.

41.GASPAR. D.A.N.; SILVA. C. B. Mamona no Ceará. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil. 86p.1956.

42.GERPEN. J.V. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*. 86: 1097-1107.2005.

43.HARUVY. A. H.; Cost assessment and means of averting environmental damage and ground water contamination by farmland nitrates seepage. *Agricultural Water Management* 32. pp. 307–320.1997.

44.HESPANHOL. I. Potencial de reúso de água no Brasil - agricultura. indústria. municípios. recarga de aquíferos. In: MANCUSO. P. C. S.; SANTOS. H. F. (Editores). Reúso de água. Barueri. SP: Manole. p.37-95.2003.

45.HIRATA. Y.S. Experiências e perspectivas do tratamento anaeróbio no Brasil. In: Taller y Seminario Latinoamericano Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. 3. 1994. Montevideo. Proceedings...Montevideo: Graphis Ltda. Juan C. Gomez. p.281-291.1994.

46.ICOA. The chemistry of castor oil and its derivatives and their applications.2005. Disponível em www.icoa.org. (acessado em 11/2009).

47.JORDÃO. E. P.; PESSOA. C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES. 2005.

48.KAREN.M.C.M. Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Câmpus de Botucatu;tese.2003.

49.KASHANINEJAD. physical and mechanical properties of jatrophas curcas L .fruits. nuts and kernels. *Biosystems Engineering*. 2006.

50.KATO. M.; FIELD. J. A.; VERSTEEG. P.; LETTINGA. G. Feasibility of the expanded granular sludge bed (EGSB) reactors for the anaerobic treatment of low strength soluble wastewaters. *Biotechnol.Bioengineer*. V. 44. p.469-479.1994.

-
- 51.KESKIN. ALI.; GÜRÜ. METIN; ALTIPARMAK. DURAN; AYDIN. KADIR. Using of cotton oil soapstock biodiesel–diesel fuel blends as an alternative diesel fuel. *Renew Energy*. 2007. Doi: 10.1016/j.renene.2007.03.025
- 52.KNOTHE.G.H.; GERPEN. J. V.; KRAHL. J.; RAMOS. L.P. Manual de Biodiesel.Tradução de Luiz Pereira Ramos.Editora Edgarb Blucher. 2006.
- 53.KNOTHE. G.H. Designing a Biodiesel Fuel with Optimized Fatty Acid Composition [abstract]. American Chemical Society National Meeting. Boston. MA.2007.
- 54.KUSDIANA. D.; SAKA. S.; J.Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol. *Fuel* 80:693–698 *Chem. Eng. Jpn.* 34. 383.2001.
- 55.LAGO. R. C. A.; SZPIZ. R. R.; HARTMAN. L.; *Quím. Ind.* 1998. 666. 8.
- 56.LÉON S. G..CAVALLINI.J.M.; Tratamento e uso de águas residuárias. tradução de H. R. Gheyi. A. König. B. S. O. Ceballos. F. A. V. Damaceno. Campina Grande. UFPB. 1999.
- 57.LIMA. L. R.; MARCONDES. A. A.; *Álcool Carburante: Uma Estratégia Brasileira*. Editora da UFPR: Curitiba. 2002.
- 58.M. JÚNIOR. E. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. Cap.5. p.2-28.São Paulo.2002.
- 59.MACEDO. G. A.; MACEDO. J. A. “Produção de biodiesel portransesterificação de óleosvegetais”. *Biotecnologia Ciência eDesenvolvimento*. n. 32. p. 38-46.2004.
- 60.MARCHETTI. J. M.; MIGUEL. V. U.; ERRAZU. A. F. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11. p. 1300–1311. 2007.
- 61.MARCHETTI. J.M.. EGEBLAD. K.. CHRISTENSEN. "oxidation of glycerol and propanediols in methanol over heterogeneous gold catalysts" .10 (4). PP. 408-414 .2008.
- 62.MEDEIROS. P.H.. **Pontos Críticos no Manuseio de Frutos Exportados Via Porto de Natal**. Mossoró. ESAM. 2001. 42p (Monografia de graduação).
- 63.MEHER. L. C.; SAGAR. D. V.;NAIK. S. N.; *Renew. Sustain. Energy Rev.*20. 1.2004.
- 64.MEHER. L. C.; SAGAR. D. V.;NAIK. S. N. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of Biodiesel. *Bioresource Technology* p. 1392–1397.2005.

-
65. MEHER, L.C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 10. p. 248–268. 2006.
66. MENEGHETTI, S. M. P; MENEGHETTI, M. R.. COSTA . A.M.. SALES, J.A. A; DA SILVA, I. Transesterificação de óleo de Soja a Biodiesel Utilizando Catalisador Básico Sólido in: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel.. Brasília - DF. 2006.
67. METCALF e EDDY, Inc. 2003. *Wastewater Engineering*. 4th ed. New York. NY: McGraw-Hill.
68. MOHIBBE AZAM, M..A. WARIS & N. M. NAHAR. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy* 29. 293-302. 2005.
69. MOITA NETO, J.M. & MOITA, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Revista Química Nova*. SBQ, v. 21. n. 4. jul.-ago. 1998.
70. MORETTO, E.; FETT, R.; Óleos e Gorduras Vegetais (Processamento e Análises). Editora da UFSC: Florianópolis. p. 142. 1998.
71. MOTA, Suetônio. *Introdução à Engenharia Ambiental*. Rio de Janeiro. ABES. 1997.
72. MULLER, H.G. *Introducción a la reología de los alimentos*. Editora Acribia. Zaragoza. 1978. 174 p.
73. NASCIMENTO, M.G.; MA, F.; CLEMENTS, L.D.; HANNA, M.A.; COSTA NETO, P. R.; MAZZUCO, L.M.; *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento* 2001. 19.28.
74. NARAYANA Reddy & RAMESH; AUGUSTUS et al.. 2002. Use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy*. 2006.
75. NOUREDDINI, H.; MEDIKONDURU, V.; *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1997. 74. 419.
76. PEIXOTO, A. R. *Plantas oleaginosas arbóreas*. São Paulo: Nobel. 1973. 284 p.
77. PERES, J.R.R.; FREITAS JUNIOR, E.; GAZZONI, D.L. Biocombustíveis uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. *Revista de política agrícola*. Brasília. ano XIV. n.1. v.1. p.31-41. 2005.
78. PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas*) – Uma planta de futuro. Disponível em <http://www.pinhaomanso.com.br>. Acesso em 23 de maio de 2008.
79. PINTO, Ângelo C. et al. Biodiesel: An Overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. v. 00. n. 00. p. 1-18. 2005.
80. PRAMANIK, K. Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy* 2003. 28. 239–248.

-
- 81.PURCINO. A. A. C.; DRUMMOND. O.A. Pinhão manso. Belo Horizonte: EPAMIG. 1986. 7p.
- 82.RAMOS. L. P.; COSTA NETO. P. R.; ROSSI. L. F. S.; ZAGONEL. G. F.; Quim. Nova 2000. 23. 531.
- 83.REIJNDERS L. HUIJBREGTS MAJ. Palm oil and the emission of carbon based greenhouse gases. Journal of cleaner production 2008.
- 84.RESOLUÇÃO ANP Nº42. ANP-Agência Nacional do Petróleo. Gás Natural e Biocombustíveis. 24 nov. 2004 (DOU 09/12/2004). Disponível em: <http://200.179.25.133/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2004/dezembro/ranp%20 em: 14 ago. 2008.
- 85.RODRIGUES. R.; Agroanalysis 2001. 21. 66.
86. SAEG. Sistemas para análises estatísticas. 7.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes. UFV/DBG. 2007. Homepage: <http://www.ufv.br/saeg/>. Acesso em: 08/09/2009.
- 87.SATO M et al..A cultura do pinhão manso(*Jatrophas Curcas L*):Uso para fins combustíveis e descrição agrônômica.. Revista Varia Scientia v. 07. n. 13. p. 47-62.2009.
- 88.SAVY FILHO. A. Melhoramento da mamona. In: BOREM. A. (Ed.).Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV. 1999. p.385-407.
- 89.SERIO. M. DI; LEDDA. M.; COZZOLINO. M.; MINUTILLO. G.; TESSER. R.; SANTACESARIA. E. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel by Using Heterogeneous Basic Catalysts. Ind Eng. Chem. Res. v. 45. 2006. p. 3009-3014.
- 90.SHAH et al.. 2004 S. Shah. A. Sharma and M.N. Gupta. Extraction of oil from *Jatropha curcas L.* seed kernels by enzyme assisted three phase partitioning. Industrial Crops and Products 20 (2004). pp. 275–279.
- 91.SHAH. SHARMA A. GUPTA MN. Extraction of oil from *Jatropha curcas L.* seed kernels by enzyme assisted three phase partitioning. Industrial Crops and Products; 20; .2005.
92. SHEEHAN. J. CAMOBRECO. V. DUFFIELD. J. GRABOSKI. M. SHAPOURI. H. 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final Report. National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>
- 93.SILVA. C. E. Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais. UFV/CT/HDS. 2004.
- 94.SINDICOM (2004).Consumo de óleo diesel no Brasil.2004Disponível em:(<http://www.sindicom.com.br>).Acesso 02/02/09.

-
- 95.SIRISOMBOON. P; KITCHAIYA. T. P. – Physical and mechanical properties of jatrophas curcas L.fruits.nuts and kernels. Biosystems Engineering. 2007
- 96.SPANJERS. H. Anaerobic Treatment of Textile wastewater..Disponível em : http://www.idswater.com/common/paper/paper_31/spanjersanaerobic.htm.2005.
- 97.TIWARI. A. K.; KUMAR. A.; RAHEMAN. H. Biodiesel production from jatropha oil (Jatropha curcas) with high free fatty acids: An optimized process. Biomass and Bioenergy. 2007. Doi: 10.1016/j.biombioe.2007.03.003.
- 98.TSUTIYA. M.T.Alternativas de disposição final de biosólidos. In: TSUTIYA. M.T. et al (eds.). Biosólidos na agricultura. São Paulo : ABES. 2002. Cap.5. p.133-180.
99. VAN HAANDEL. Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um manual para regiões de clima quente. Epigraf. Campina Grande/PB. 1994.
- 100.VON SPERLING. M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.
- 101.WEISS. E. A. Castor. Oil seed crops. London: Longman. p. 31–99.1983.
- 102.WOLD. S.; ESBENSEN. K.; GELADI. P.. Principal Component Analysis. Chemom. Intell. Lab. Syst.. 2: 37. 1987.
- 103.WU. W. H.;J. Am. Oil Chem. Soc. 1995. 12. 436.

8. APÊNDICE

APÊNCIDE A - FOTOS DO ACOMPANHAMENTO DA CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO DE IBIMIRIM-PE

Antes

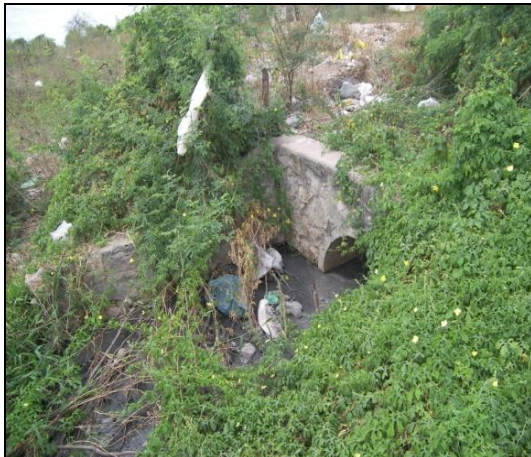


Figura 1A: Esgoto sem tratamento.



Figura 2A: Vista da saída do esgoto.

Depois



Figura 3A: ETE em construção.



Figura 4A: Construção em andamento.



Figura 5A: Vista do ETE em construção.



Figura 6A: Entrada para ETE.



Figura 7A: Gradeamento para retenção de sólidos grosseiros.



Figura 8A: Vista Lateral do Gradeamento.



Figura 9A: Tanque de mistura para líquidos efluentes.



Figura 10A: Instalação do tanque de mistura.



Figura 11A: Vista lateral do tanque.



Figura 12A: Acabamento do tanque.



Figura 13A: Caixa de retenção de Areia.



Figura 14A: Vista lateral do UASB.



Figura 15A: Outra vista do reator.



Figura 16A: Instalação do UASB.



Figura 17A: Reator UASB



Figura 18A: Filtro Anaeróbio e decanto digestor



Figura 19A: Instalação do filtro anaeróbio e decanto digestor.



Figura 20A: Filtro e decanto já instalados.



Figura 21A: Vista lateral.



Figura 22A: Vista Frontal.

APÊNDICE B - FOTOS DAS PLANTAÇÕES E RESPECTIVAS OLEAGINOSAS COLHEITADAS



Figura1B: Plantações de pinhão manso por estacas.



Figura 2B: Pinhão manso já plantados.



Figura3B: Pinhão manso em crescimento.



Figura 4B: Sementes de pinhão manso irrigados.



Figura 5B: Sementes de mamona irrigada.



Figura 6B: Sementes de mamonas maceradas fertirrigadas.

APÊNDICE C – FOTOS DO PROCEDIMENTO DA EXTRAÇÃO E PRODUÇÃO DO ÓLEO E BIODIESEL



Figura 1C: Sementes maceradas de pinhão manso.



Figura 2C: Sementes maceradas acondicionadas no Soxhlet.



Figura 3C: Processo de extração no Soxhlet.



Figura 4C: Rotovaporador para recuperação do solvente.



Figura 5C: Óleo obtido.



Figura 6C: Processo de esterificação do óleo de pinhão manso.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)