



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
AESA



DESTINO

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

## Relatório de Estágio Supervisionado

# Caracterização do Esgoto Sanitário de Campina Grande

**José de Anchieta da Silva Filho**

junho de 2002

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO



---

Adrianus C. Van Haandel  
Orientador



---

Paula Fransinete  
Co - Orientadora

Campina Grande – Paraíba  
Junho de 2002



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

# Índice

Agradecimentos.....	3
Apresentação.....	4
Introdução.....	5
Objetivo geral.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Revisão Bibliográfica.....	7
O Saneamento, a Saúde e o Meio Ambiente.....	7
Sistemas Biológicos de Tratamento.....	8
Tratamento Anaeróbio do Esgoto.....	10
Fases da Digestão Anaeróbia do Material Orgânico.....	10
Material e Métodos.....	11
Local e Período.....	11
Instalações.....	11
Descrição do Sistema de Alimentação.....	12
Descrição dos Reatores.....	13
Reatores UASB.....	13
Histórico.....	13
Funcionamento.....	15
Formas.....	17
Critérios de Projeto.....	18
Modo de Operação.....	21
Produção de Lodo.....	22
Composição do Lodo.....	24
Eficiência.....	27

Vantagens e Desvantagens do Reatores UASB.....	28
UASB como pré-tratamento.....	30
Com Lodos Ativados.....	31
Com lagoas de Estabilização.....	32
Variações de Vazão.....	33
Desenvolvimento da Pesquisa.....	35
Características Gerais.....	35
Caracterização Geral do Esgoto.....	40
Comentários.....	50
Bibliografia.....	51

## Agradecimentos

A DEUS, por Ter me permitido ter coisas boas até hoje;

A meus pais, Anchieta e Maria de Lourdes, pois sem eles eu nunca teria chegado onde cheguei;

A Daniela, por tudo que ela foi e está sendo na minha vida;

A Adrianus, pela oportunidade e credibilidade de poder trabalhar com ele;

A Paula, pela ajuda e capacidade de estar sempre alegrando o ambiente;

A Renato, por todos os ensinamentos ao longo desse tempo que convivemos juntos;

A equipe do PROSAB – Campina Grande, Adriana, Eudes, Romário, Nélia pela prestatividade e disposição de sempre ajudar, enfim, a todos que contribuíram de forma direta e indireta em mais esta etapa da minha trajetória profissional.

## **Apresentação**

Este relatório de estágio supervisionado foi elaborado a partir do acompanhamento das pesquisas de um estudo de P.h.D. O estagiário teve a oportunidade de acompanhar o candidato ao título de P.h.D. Renato Cahrá Leitão, orientado pelo Dr. Ir. Gatze Lettinga, da Universidade de Wageningen, e co-orientado pelos Dr. Ir. Grietje Zeeman, também da Universidade de Wageningen e Adrianus Cornelius van Haandel, da Universidade Federal da Paraíba, sendo o último orientador do estagiário.

Durante esse tempo, o estagiário desenvolveu atividades relacionadas ao estudo dos reatores UASB, comportamento do esgoto sanitário de Campina Grande, entre atividades diárias que variavam de manutenção do sistemas.

## 1 - Introdução

Os efluentes domésticos constituem uma das principais preocupações no setor de saneamento básico. O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento nos corpos d'água gera graves problemas à qualidade de vida e coloca em risco o abastecimento de água para a população.

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia nas áreas de microbiologia e bioquímica do tratamento de águas residuárias, contribuiu para o aparecimento de uma diversidade de alternativas para tratamento de esgotos sanitário. Na realidade, não existe um sistema de tratamento de esgotos que possa ser indicado como o melhor para quaisquer condições, mas obtém-se a mais alta relação custos/benefícios, quando se escolhe criteriosamente um processo que se adapta às condições locais e aos objetivos, em cada caso (Andrade Neto, 1997).

Tradicionalmente, a grande maioria dos sistemas de tratamento biológico usa o mecanismo aeróbio. Entretanto, o alto custo de implantação e manutenção, a grande quantidade de lodo gerado e a elevada mecanização são os principais fatores de desvantagem deste sistema. Por esta razão observa-se atualmente um aumento acelerado de sistemas de tratamento anaeróbio.

O tratamento anaeróbio tem vantagens importantes; ocupam pequenas áreas, produzem pouco lodo, não consomem energia e não necessitam de equipamentos mecânicos. Contudo, geram um efluente que requer pós-tratamento, pois não removem satisfatoriamente microrganismos patogênicos, nem nutrientes.

Nenhum sistema reúne só pontos positivos, por isso um sistema ideal seja composto de mais de uma das configurações básicas. As pesquisas mais recentes procuram associar os processos aeróbios e anaeróbios, solicitando as vantagens de ambos. A grande maioria destes sistemas utiliza os reatores UASB, como unidade anaeróbia para pré-tratamento face a alta eficiência de remoção de matéria orgânica alcançada (da ordem de 70%), em curtos tempos de detenção e por ser um sistema compacto de baixos custos de implantação e operação.

O reator seqüencial em batelada (RBS) é uma variante do sistema de lodo ativado e apresenta-se como uma alternativa interessante para o tratamento de efluentes de pequenas comunidades e indústrias de pequeno e médio porte, pois sua facilidade de operação, flexibilidade de tratamento, impossibilidade de ocorrência de curto-circuitos hidráulicos e a possibilidade de retenção do líquido, até que seja atingido o grau de tratamento desejado, são características pertinentes ao sistema, as quais são altamente recomendáveis em qualquer sistema de tratamento escolhido.

Neste sistema hibridizado com tratamento anaeróbio seguido por aeróbio, procura-se maximizar as vantagens inerentes ao tratamento anaeróbio e as ao aeróbio.

Tendo em vista que esta associação possivelmente levará a uma alternativa mais econômica que os processos convencionais de lodo ativado, e que este sistema poderá ser aplicado inclusive em zona urbanas, onde a área disponível é um fator limitante, faz-se mister a elaboração de um estudo de otimização das principais variáveis do processo, de modo a consolidar esta tecnologia e fornecer

subsídios para o dimensionamento do sistema UASB-RBS que ofereça a melhor relação custo/benefício.

## **2 - Objetivo geral**

Este trabalho visa ajudar, de forma simples, o estudo do comportamento dos reatores UASB a choques orgânicos e hidráulicos no que diz respeito a expansão do lodo ao longo do reator.

### **2.1 - Objetivos específicos**

- Caracterizar os afluentes a serem tratados;
- Levantar perfis diários com as principais características dos esgotos;

## **3.0 – Revisão Bibliográfica**

### **3.1 – O saneamento, a saúde e o meio ambiente**

A relação entre saneamento e saúde pública foi detalhadamente explorada por Heller (1997). Segundo esse autor, o reconhecimento da importância do saneamento e seus efeitos já era evidenciado desde a antiguidade, há cerca de 4000 anos. Briscoe (1985), citado por Heller (1997), indica que as medidas referentes ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, na forma de medicina preventiva, apresentam, a longo prazo, efeitos benéficos sobre a saúde, superiores ao tratamento dado na medicina curativa. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 1996), a falta de água limpa e

tratamento adequado para o esgoto provoca, a cada ano no mundo, a morte de cerca de 4 milhões de crianças, vitimadas por doenças de veiculação hídrica, entre elas a cólera, a malária, a diarreia e algumas moléstias parasitárias. No Brasil, estudos do Departamento de Saneamento da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), indicam que intervenções sanitárias como abastecimento de água e esgotamento sanitário podem reduzir, em média, 21% dos índices de mortalidade infantil (F.S.P., 1998).

Os problemas resultantes da falta de saneamento adequado, além de prejudicarem a população diretamente, também fazem de forma indireta, em consequência da degradação ambiental.

### **3.2 – Sistemas biológicos de tratamento de esgoto sanitário**

Para uma proteção adequada dos corpos d'água receptores de esgotos sanitários, de acordo com as regras definidas pelas autoridades legislativas, em que se estabelecem padrões de qualidade associados às características que devem ser respeitadas no corpo receptor, os sistemas de tratamento de esgotos são projetados com o objetivo principal de reduzir a concentração de pelo menos um dos constituintes indesejáveis do esgoto, principalmente, sólidos em suspensão, materiais orgânicos (biodegradável), nutrientes e/ou organismos patogênicos, através de separações físicas, reações químicas ou transformações biológicas destes constituintes, garantindo, por conseguinte, qualidades mínimas de poluição, de tal maneira que a sua disposição, nos corpos em questão, não

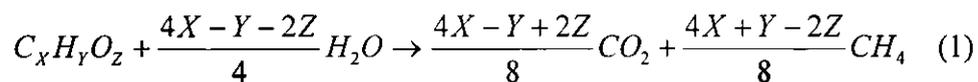
comprometa a qualidade destes (van Haandel e Lettinga, 1994 ; Andrade Neto e Campos, 1999).

Na natureza, um exemplo de tratamento biológico é a autodepuração de corpos de água, onde a população de microrganismos presentes em um corpo aquático, no qual foram lançadas águas residuárias, propicia a conversão da matéria orgânica recebida para produtos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico (von Sperling, 1996b). Dessa forma, um corpo aquático que recebe um despejo de esgotos em um ponto, pode restabelecer o equilíbrio ecológico, a jusante daquele ponto de lançamento. Porém, existem fatores limitantes ao processo de autodepuração, citando-se, por exemplo, a necessidade de uma relação equilibrada, no corpo receptor, entre a carga orgânica poluidora e a quantidade de oxigênio dissolvido disponível.

Nas estações de tratamento biológico de esgotos objetiva-se reproduzir um processo acelerado do fenômeno da autodepuração. Com a introdução de tecnologia apropriada, além de controlar os fatores limitantes, é possível determinar previamente o tempo necessário para que o tratamento ocorra com um determinado grau de eficiência. Essa tecnologia visa estabelecer uma população de microrganismos, em número e espécies, satisfatória ao tratamento, afinal, são os microrganismos, especialmente as bactérias, os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica presente nos esgotos (von Sperling, 1996b e van Haandel e Lettinga, 1994).

### 3.3 – Tratamento anaeróbio do esgoto

O tratamento do esgoto utilizando a digestão anaeróbio segue catabolismo fermentativo. A combinação dos gases resultantes dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) é denominada biogás. A fórmula geral da digestão anaeróbia pode ser expressa pela Equação 1 (van Haandel e Lettinga, 1995):



onde:

C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub> – matéria orgânica

### 3.4 – Fases da digestão anaeróbia do material orgânico

Para águas residuárias de baixa concentração, como é o caso do esgoto sanitário, na digestão anaeróbia o material orgânico é convertido seguindo basicamente quatro etapas do metabolismo bacteriano (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese).

No esgoto afluente uma parte do material orgânico se encontra sob a forma particulada. Para solubilizar esta fração orgânica particulada, um grupo de bactérias, as fermentativas, libera exo-enzimas que dissolvem os compostos complexos em materiais dissolvidos de menor peso molecular. Assim, as proteínas são degradadas em aminoácidos, os carboidratos resultam em açúcares solúveis e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina. Tal processo é denominado **hidrólise** e acontece muito lentamente. A

temperatura do esgoto é um fator de extrema importância para o desenvolvimento da hidrólise, abaixo de 20°C a taxa de conversão dos lipídios se torna muito pequena, tal fato constitui o passo limitante de toda a digestão anaeróbia (van Haandel e Lettinga, 1994; Chernicharo, 1997 e Oliva, 1997)

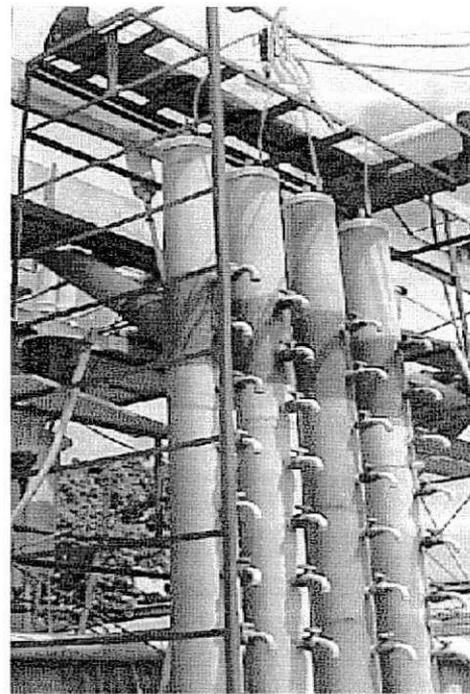
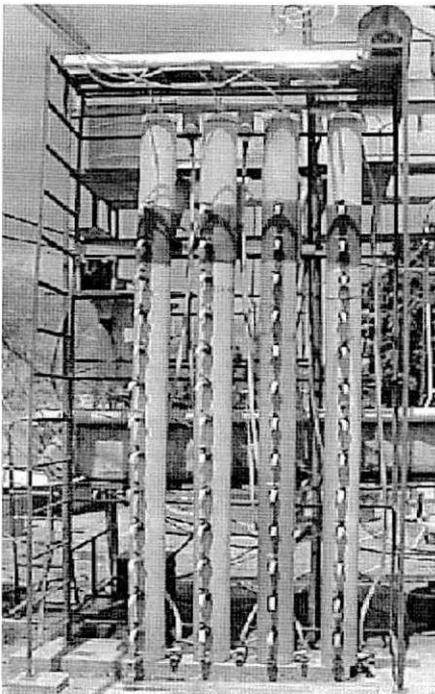
#### **4.0 – Material e Métodos**

##### **4.1 – Local e Período**

A parte experimental deste relatório foi desenvolvida nos laboratórios do PROSAB, situado em um terreno cedido pela CAGEPA (Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba), localizado no bairro do Tambor, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, no nordeste do Brasil.

##### **4.2 – Instalações**

Os reatores UASB foram instalados a céu aberto. Todos os 4 reatores foram fixados em uma estrutura metálica, composta por tubos de diâmetro 1<sup>1/2</sup>”; servindo como base para a estrutura, um piso de concreto, como pode ser observado na figura 1.



**Figura 1 – Reatores UASB utilizados na pesquisa.**

#### **4.3 – Descrição do Sistema de Alimentação**

No início, os reatores eram alimentados por bombas peristálticas, que alimentava os quatro reatores de forma instável, variando a vazão de tal forma que, às vezes chegava-se a ter o dobro ou o triplo do valor esperado tanto de esgoto como de água, chegando muitas vezes, a não recalcar nada até os reatores.

Esta situação foi contornada com a compra de modernas bombas dosadoras. Com isso o problema do recalque do esgoto foi suprido. Como a

aquisição de mais três bombas para o sistema de alimentação de água foi inviável, resolveu-se contornar a situação colocando um balde de 100 litros na parte superior da estrutura. Portanto, à parte de recalque estava resolvida. Para alimentar as bombas dosadoras de esgoto, foram projetados tanques armazenadores que coletavam o afluente dos reatores direto da rede de esgotamento urbana e ficava alimentando os reatores durante um período de 24 horas.

#### **4.4 – Descrição dos Reatores**

Os 4 reatores UASB, nomeados com A, B, C, D, fabricados com tubos de PVC, possuíam forma cilíndrica e volumes úteis de 126 litros. Os 4 reatores possuíam diâmetros externo e interno de 20 e 19 cm, respectivamente, e altura total de 4 metros, sendo 3,86 metros a altura atingida pelo esgoto e 14 centímetros de borda livre. Ao longo da altura do reator estavam distribuídos 14 pontos de amostragem. Nesses pontos estavam situados registros do tipo “fecho rápido”, conectados a uma curva de 90°, ambos com 3/4” de diâmetro e fabricados em PVC. Desses pontos eram coletadas amostras do manto de lodo, que estavam em cada parte da altura do reator.

#### **4.5 – Reatores UASB**

#### **4.6 – Histórico**

Nos anos após o desenvolvimento dos sistemas de segunda geração o digestor anaeróbio de fluxo ascendente, UASB, tem se destacado por ser muito mais aplicado que os outros. Os UASB são reatores de manta de lodo no qual o

esgoto afluyente entra no fundo do reator e em seu movimento ascendente, atravessa uma camada de lodo biológico que se encontra em sua parte inferior, e passa por um separador de fases enquanto escoar em direção à superfície.

O UASB que no Brasil inicialmente foi nomeado como digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA) foi desenvolvido na década de 70 pelo Prof. Lettinga e sua equipe, na Universidade de Wageningen - Holanda. Saliente-se aqui, que a Holanda tem se destacado a partir do final dos anos 60 pelo substancial avanço na campo da tecnologia do tratamento de águas residuárias.

Inicialmente a tecnologia UASB foi desenvolvida para tratamento de águas residuárias industriais concentradas. A idéia de testar o processo UASB para tratamento de águas residuárias domésticas nasceu de discussões sobre tecnologias apropriadas para países em desenvolvimento e seus testes tiveram início em 1976 (Kooijmans *et al*, 1986). Aos poucos, este estudo foi sendo desenvolvido, principalmente para condições tropicais, com o pioneirismo do seu emprego em escala real feito em Cali, na Colômbia, sob supervisão dos seus criadores, os holandeses. O sucesso em Cali deu impulso à credibilidade da tecnologia de modo que este tipo de reator também foi levado para às condições indianas e unidades operacionais foram instaladas e estão em funcionamento desde 1989, em Kanpur e Mirzapur, cidades às margens do Rio Ganges.

Hoje este tipo de reator encontra-se bastante difundido e tem sido aplicado para tratamento de muitos tipos de águas residuárias, sendo o aspecto essencial

do processo a natureza da biomassa ativa (Quarmby e Forster, 1995).

#### 4.7 – Funcionamento

O reator UASB em sua coluna ascendente consiste de um leito de lodo, *sludge bed*, uma zona de digestão, *sludge blanket*, uma zona de sedimentação e o separador de fase, *gas-solid separator - GSS* (Narnoli e Mehrotra, 1996). Este separador de fases, um dispositivo característico do reator (van Haandel e Lettinga, 1994), tem a finalidade de dividir a zona de digestão (parte inferior), onde se encontra a manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e a zona de sedimentação (parte superior). A água residuária, que segue uma trajetória ascendente dentro do reator, desde a sua parte mais baixa, atravessa a zona de digestão escoando a seguir pelas passagens do separador de fases e alcançando a zona de sedimentação.

A água residuária após entrar e ser distribuída pelo fundo do reator UASB, flui pela zona de digestão, onde se encontra o leito de lodo, ocorrendo a mistura do material orgânico nela presente com o lodo. Os sólidos orgânicos suspensos são quebrados, biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue em trajetória ascendente com o líquido, após este ultrapassar a camada de lodo, em direção ao separador de fases.

O tratamento anaeróbio de esgotos, seja qual for o sistema, procura a redução dos lípidos, carboidratos e proteínas que compõem basicamente o esgoto doméstico em metano, água e gás carbônico.

---

necessário o desenvolvimento de técnicas para a avaliação da atividade microbiana dos reatores anaeróbios, notadamente as bactérias metanogênicas.

Este descarte tem que obedecer duas recomendações básicas: a retirada deve ocorrer quando a capacidade de retenção do reator estiver exaurida e o residual deve ficar em um mínimo de modo que não haja prejuízo na continuidade do processo de digestão da matéria orgânica afluente. Devem ser previstos pelo menos dois pontos de descarte, um junto ao fundo e outro a aproximadamente 1,0 a 1,5 metro acima, dependendo da altura do compartimento de digestão, de forma a propiciar maior flexibilidade operacional. Recomenda-se tubos ou mangotes de 100 milímetros de diâmetro para escoamento do lodo de descarte.

#### **4.11 – Produção de lodo**

Nos reatores tipo UASB, o controle do fluxo ascendente é essencial pois, a mistura e retenção da biomassa adequados, permitem que o lodo permaneça em suspensão com uma mobilidade limitada em um espaço na vertical do interior do reator. A mistura do afluente com essa biomassa é favorecida pela agitação hidráulica promovida pelo fluxo ascensional, por efeitos de convecção térmica e do movimento permanente de bolhas de gases produzidos no processo digestivo da atividade bacteriana. É provável que ocorram situações em que o movimento ascensional das bolhas gasosas seja o mais importante no processo de mistura.

Essa dinâmica é essencial para que o processo anaeróbio por meio desse tipo de reator de manta de lodo se desenvolva e se mantenha em elevada atividade e com ótima capacidade de sedimentação.

O desenvolvimento do lodo anaeróbio é resultante da transformação da matéria orgânica no sistema. Como este crescimento é contínuo, isto implica na necessidade de descarte de parcela do volume de lodo acumulado, que pode ser contínuo ou periódico, como certamente teria de ocorrer com qualquer outro sistema de tratamento de afluentes de águas residuárias, sob pena do processo perder eficiência na qualidade do efluente. Porém, justamente em função da baixa taxa do volume gerado no processo anaeróbio, cerca de 0,10 a 0,20 kg SST/ kg DQO<sub>afluente</sub>, (Campos, 1999), entre outros, é neste aspecto que o sistema anaeróbio se torna mais vantajoso que os aeróbios.

Caso não haja uma boa separação das fases sólida-líquida, fazendo com que no reator permaneça a biomassa ao longo de toda sua coluna, e/ou não sejam feitos descartes periódicos adequados, haverá excesso de lodo perdido através do efluente, reduzindo a qualidade de seu efluente. O tempo de detenção hidráulica também é um fator importante nesta consideração e, na maioria das vezes, deve estar entre 6 e 10 horas (Campos, 1999).

Para que se tenha controle destes fatores negativos, faz-se necessária uma avaliação da DQO do efluente decantado. Este procedimento é obtido com a decantação desse efluente por uma hora em cone Imhoff por uma hora, sendo que

este decantado deve produzir um valor de 40 a 20 % de valor da DQO do afluente (Campos, 1999).

A partir dos resultados operacionais dos reatores de Bucaramanga, Cali, CETESB e Kampur, foi obtida uma equação que representa a concentração de sólidos esperada para o efluente (Campos, 1999), representada da seguinte forma:

$$SS = (250 / TDH) + 10, \text{ onde}$$

**SS** - concentração de sólidos suspensos no efluente em mg/l,

**TDH** - Tempo de detenção hidráulica em horas e

**250 e 10** são constantes empíricas.

#### 4.12 – Composição do lodo

Os microrganismos presentes em alta concentração no reator biológico, aderidos uns aos outros formam flocos ou grânulos sedimentáveis, denominados de lodo. A retenção do lodo no interior do reator origina uma espessa camada através da qual a matéria orgânica solúvel será biodegradada e o material particulado adsorvido. Posteriormente o material biodegradável particulado será estabilizado pelo lodo..

As partículas floculentas ou granulares distribuem-se ao longo da manta e, dependendo da agitação hidráulica no meio, podem apresentar uma manta com características homogêneas (lodo mais disperso e com muita mobilidade) ou claramente estratificada (lodo mais granuloso e com densidades muito diferentes).

Quanto mais granulada maior concentração de lodo no fundo do reator, formando camadas mais densas e estacionárias. A agitação hidráulica e a densidade mais homogênea são condições essenciais para um melhor desempenho da biomassa e sua expansão interna no reator. O grau de agitação definirá a expansão do leito de biomassa e a diferença de densidade determinará a formação ou não de camadas estacionárias dentro deste leito e junto ao fundo do reator.

Com relação ao fenômeno da granulação pode-se dizer que o lodo granulado é definido como uma biomassa com propriedades adequadas para os sistemas anaeróbios de fluxo ascendente, onde ocorre a metanogênese (Bezerra, 1998). Os grânulos que compõem esse lodo apresentam geralmente formato esférico, superfície bem definida e, no caso em estudo com diâmetros em torno de 5 milímetros, observados visualmente. Segundo Schmidt e Ahring (1996) e Chernicharo (1997) citados por Bezerra (1998), a formação dos grânulos estaria relacionada com fatores físicos, químicos e biológicos como:

- afluentes ricos em carboidratos e ácidos voláteis;
- à compressão gravitacional das partículas de lodo e a taxa de liberação de biogás;
- condições favoráveis para o crescimento de bactérias metanogênicas;
- velocidade ascensional do líquido através do manto de lodo.

Nos reatores UASB as camadas inferiores da biomassa invariavelmente são mais densas e estacionárias que as superiores, até mesmo como

conseqüência da menor presença ou passagem de bolhas de gás à medida que se aprofunda mais o leito. O importante é que o mecanismo de entrada do afluente e a agitação hidráulica sejam suficientes para não favorecerem a formação de zonas mortas e o aparecimento de caminhos preferenciais ou curtos-circuitos hidráulicos, empobrecendo a mistura da matéria orgânica com a biomassa.

Independentemente da maior ou menor eficiência do reator, o lodo formado sempre terá uma fração de material inorgânico em função da floculação de sólidos minerais suspensos presentes no afluente ou da presença de sais insolúveis gerados no interior do próprio reator. Essas partículas inertes normalmente se encontram envolvidas completamente por uma massa de bactérias, o que dificulta a quantificação da biomassa.

Embora haja diversos métodos para avaliar a quantidade e a atividade bacteriana em digestores anaeróbios, na maioria são bastante sofisticados e não podem ser adotados como parâmetros rotineiros para controle e monitoramento de reatores em operação em escala real, principalmente pela não disponibilidade de laboratório capacitado. Usualmente essa avaliação é desenvolvida por meio da determinação do perfil dos sólidos, partindo-se do princípio que a quantificação dos sólidos voláteis é uma medida bastante idealizadora da massa celular presente no interior do reator. As amostras de material coletadas em vários níveis de altura ao longo do reator e analisadas gravimetricamente, normalmente expressas em peso por volume (gSVT/ l), permitem a quantificação dessa massa e o estabelecimento do perfil de dispersão no seu interior.

#### 4.13 – Eficiência

O tratamento de esgotos utilizando reator UASB constitui um método eficiente e relativamente de baixo custo para se removerem matéria orgânica e sólidos em suspensão, diminuindo consideravelmente o potencial poluidor dos esgotos após o tratamento (Bezerra *et al.*, 1998).

Para um mesmo tempo de detenção a razão área/profundidade não influi marcadamente sobre a eficiência de remoção do material orgânico e a massa de sólidos voláteis varia muito pouco com o tempo de detenção e a configuração dos reatores (Sousa *et al.*, 1998).

Enquanto o reator não estiver cheio de lodo, uma parte do lodo produzido acumular-se-á no seu interior, enquanto outra parcela será descarregada junto com o afluente. Esta parte descarregada cresce com a redução do tempo de detenção hidráulica. Para evitar que o lodo produzido seja descarregado junto com o efluente, diminuindo a qualidade, periodicamente são executadas descargas de lodo de modo a aliviar o volume de material sólido acumulado no interior do reator. Normalmente a capacidade de digestão do lodo acumulado num reator UASB tratando esgoto doméstico é muito maior do que a carga orgânica de modo que se pode dar descargas grandes de lodo de excesso sem prejudicar a eficiência ou a estabilidade operacional do reator. Segundo Medeiros *et al.*, 1998, para tempos de detenção hidráulica de 4 a 8 horas é possível dar descargas de 50 a 60% da massa de lodo sem prejuízo do seu desempenho. Descargas de 80 % resultam

numa redução temporária da eficiência de remoção da DQO e um aumento da concentração de ácidos voláteis no efluente, sem contudo ameaçar a estabilidade operacional.

O lodo também pode conter uma fração orgânica inerte que se origina da floculação de matéria orgânica biodegradável, mas particulada presente no afluente e, dependendo das condições operacionais, é possível que apareçam no efluente juntamente com outras partículas não metabolizadas, resultante de inadequadas condições hidráulicas ou de população bacteriana insuficiente. Outro problema que pode afetar o rendimento é volume do resíduo endógeno que, sabe-se, cresce com o prolongamento do período de atividade da massa bacteriana.

#### **4.14 – Vantagens e desvantagens dos reatores UASB**

À primeira vista, a grande vantagem de um UASB, relacionando com a sua eficiência de remoção de DBO e de sólidos, é o seu curto tempo de detenção hidráulica, em torno de 6 horas para remoção de cerca de 80 por cento da DBO e 75 por cento dos sólidos em suspensão! Em sistemas de lodo ativado e em lagoas de estabilização o tempo de permanência é da ordem de 12 a 24 h e de 20 a 30 dias respectivamente.

Segundo van Haandel e Catunda (1995), apoiados em estudos desenvolvidos com um reator em escala real, tratando os esgotos domésticos gerados pela população do Bairro do Pedregal, Campina Grande, Paraíba, além

das vantagens inerentes dos processos anaeróbios, os reatores UASB podem se tornar uma opção viável pois podem ser aplicados em vários pontos da rede de esgoto, "pulverizando-se" assim o sistema de tratamento, o que reduz significativamente os custos de construção da rede coletora e de condutores de esgoto. Ainda segundo os mesmos autores, requerem menor área de construção (aproximadamente 0,01 m<sup>2</sup> por habitante (lagoas de estabilização necessitam de 3 ou 4 m<sup>2</sup> por habitante).

A razão área/profundidade não tem influência significativa sobre o seu desempenho, podendo os valores de área em planta e a profundidade serem determinados principalmente pelos custos de construção e as características do terreno disponível para sua construção (Sousa *et al.*, 1998).

O UASB não causa transtornos para a população beneficiada: O sistema é "invisível" (enterrado), não espalha odores e não causa proliferação de insetos (4) a produção de lodo biológico é pequena e o lodo de excesso já sai estabilizado e com concentração elevada, podendo ser secado diretamente em leitos de secagem. operação e manutenção são extremamente simples podendo ser feito por pessoal não especializado: precisa-se reter areia e desentupir tubulações obstruídas. A construção do UASB é simples podendo ser usados materiais e mão de obra locais. O custo de construção e de operação tendem a ser bem menores que os de outros sistemas de tratamento de esgoto (van Haandel e Catunda, 1996).

Porém, é de conhecimento geral que uma significativa desvantagem do UASB seria sua baixa eficiência quanto à remoção de patógenos e nutrientes, sendo isto bastante compreensível, considerando-se o baixo tempo de detenção hidráulica deste tipo de reator. Entretanto, já foi demonstrado que este tipo de reator pode ser usado, por exemplo, em combinação com lagoas de estabilização, podendo-se obter um efluente de boa qualidade higiênica em um sistema que ocupa menos que metade da área necessária para um sistema de lagoas convencionais (Dixo *et al.*, 1995). Por outro lado, a combinação do UASB com um sistema de lodo ativado permite obter uma qualidade excelente do efluente, tendo-se menos que metade do volume de reatores, da produção de lodo e do consumo de oxigênio de um sistema convencional de lodo ativado. Dessa maneira, tanto no caso de se aplicar lagoas de estabilização como no caso de lodo ativado é sempre uma excelente providência ter um reator UASB como pré-tratamento de águas residuárias domésticas (Haandel e Catunda, 1995).

#### **4.15 – UASB como pré - tratamento**

A aceitação do reator anaeróbio como principal unidade de tratamento, deve-se à constatação de que esta unidade pode remover em torno de 70 % da matéria orgânica sem dispêndio de energia externa ou adição de substâncias químicas. Assim unidades posteriores podem ser usadas sem cuidados prévios para remoção de parcelas remanescentes.

Estações mistas de tratamento de esgotos têm sido projetadas com muita frequência ultimamente e funcionado satisfatoriamente, com unidades anaeróbias seguidas de aeróbias, trazendo melhores resultados aliados a menores custos que as tradicionais exclusivamente aeróbias.

#### **4.16 – Com lodos ativados**

Segundo van Haandel e Catunda (1996), no sistema de lodo ativado, a sobrecarga tem duas vertentes:

- a sobrecarga orgânica manifesta-se quando falta capacidade de aeração do sistema: a demanda de oxigênio para o metabolismo das bactérias é maior que a capacidade de transferência pelos aeradores;
- a sobrecarga hidráulica traz como consequência o fato de o decantador de lodo tornar-se ineficiente na separação das fases sólida e líquida, tendo-se perda de lodo no efluente tornando este de qualidade inferior por causa da presença de material sólido e biodegradável.

Devido ao bom desempenho do UASB, abre-se a possibilidade de se aumentar a capacidade de tratamento de sistemas de lodo ativado convencionais através da transformação do digestor de lodo em um UASB. Dependendo da idade de lodo no sistema de lodo ativado, o aumento da carga orgânica e da carga hidráulica que se pode aplicar está na faixa de 2 a 3 vezes comparado com o sistema de lodo ativado convencional (van Haandel e Catunda, 1996).

#### 4.17 – Com lagoas de estabilização

O tratamento anaeróbio constitui um pré-tratamento eficiente para reduzir a área necessária para lagoas de estabilização (LEs). Em sistemas convencionais de lagoas de estabilização o pré-tratamento ocorre em uma lagoa anaeróbia (LAn). Esta unidade pode ser substituída com grandes vantagens econômicas, estéticas e ambientais por um digestor anaeróbio de fluxo ascendente. Segundo van Haandel e Catunda (1996), pode-se agrupar essas vantagens da seguinte forma.

Vantagens econômicas:

1. o tamanho da unidade de pré-tratamento é reduzido drasticamente: Para a mesma eficiência de remoção de material orgânico o UASB é 20 a 30 vezes menor que a LAn;
2. o sistema de LE que recebe o efluente do UASB é muito menor porque é factível aplicar o regime tubular;
3. vários sistemas UASB + LE podem ser construídos na mesma cidade, resultando em uma redução importante dos custos da rede de esgoto.

Vantagens estéticas:

1. o biogás produzido pode ser capturado no UASB e usado como fonte de energia ou simplesmente queimado, evitando maus odores oriundos da unidade;

2. o reator DAFA pode ser construído como uma unidade quase invisível e imperceptível, inserido harmonicamente na paisagem.

Vantagens ambientais:

1. metano é capturado e pode ser queimado, evitando-se a sua emissão para a atmosfera, onde contribuiria para o efeito estufa;
2. uma alta eficiência de remoção de patógenos é factível num sistema compacto;
3. sob condições adequadas (sol + temperatura elevada), tanto nitrogênio como fósforo podem ser removidos eficientemente sem necessidade de adição de substâncias químicas.

## **5 – Variações de vazão**

A vazão de projeto é o parâmetro inicial mais importante para dimensionamento de uma unidade de tratamento de esgotos. No caso específico de reatores UASBs que operam a taxas elevadas (TDH entre 4 e 6 horas), variações bruscas de vazão podem levar a sobrecargas hidráulicas volumétricas, reduzindo o desempenho dessas unidades pois, quando há perdas de sólidos biológicos conseqüentemente há queda no rendimento do reator.

Especificamente, os sistemas coletores de esgotos domésticos são caracterizados por apresentarem significativas variações de vazão. Nos coletores de esgotos as flutuações mais interessantes para efeito de projeto são as horárias

e dependem da simultaneidade das descargas e das distâncias a serem percorridas até às unidades de tratamento. As variações diárias e mensais, as quais estão diretamente relacionadas com a curva de consumo de água, dependem, pois, dos fatores que afetam o comportamento desta curva e com as possíveis infiltrações subterrâneas e ligações clandestinas de águas de origem pluvial.

Na entrada das estações de tratamento, em função da extensão da rede, estas flutuações podem estar amortecidas, considerando que, hidraulicamente, quanto maior o percurso maior será o amortecimento dos picos de vazão, associado à defasagem entre os pontos de contribuição distribuídos ao longo da rede coletora.

Porém, nem sempre é possível reunir todas as vazões em um só destino final a não ser que sejam projetados recalques de uma ou mais bacias de esgotamento para uma canalização a jusante (sistemas distritais), originando pulsos de vazões bombeadas que poderão ocorrer de forma simultânea com outros efluentes de elevatórias, alterando sensivelmente a vazão de trabalho da unidade de tratamento e reduzindo, pois, seu tempo de detenção e, conseqüentemente, seu rendimento.

Em geral, quando se deseja projetar sistemas de esgotos sanitários, recomenda-se que as variações de vazão sejam cuidadosamente avaliadas, através de dados de campo ou de dados de áreas com características

semelhantes à desejada, ao invés de adotarem-se dados clássicos da literatura (Oliva, 1997).

## **6.0 – Desenvolvimento da Pesquisa**

### **6.1 – Características Gerais**

Uma dos fatores mais importantes no estudo de sistemas de tratamento de esgoto, além da eficiência do mesmo, é a caracterização do esgoto a ser tratado; partindo das características físico-químicas, biológicas e principalmente determinar a quantidade (vazão) que chega na estação. Essa caracterização permite otimização da escolha de um determinado sistema de tratamento, tendo em vista que diferentes regiões possuem diferentes esgotos, e necessitam de diferentes soluções para tratar seus efluentes. Uma região residencial é caracterizada por um esgoto com características bastante diferentes de uma região industrial.

No caso em estudo, essa caracterização se fez mais necessária para se ter um controle maior do afluente que estava chegando aos reatores, já que era preciso saber qual a carga orgânica que chegava aos mesmos, para direcionar a pesquisa, uma vez que os choques hidráulicos, ou seja, a variação de vazão não acontecia, pois os reatores são alimentados por bombas, que mantêm sempre a vazão constante.

Para determinar, estatisticamente as características do esgoto municipal, inicialmente foram coletados dados de perfis pré-existentes nos arquivos do PROSAB, e pode-se verificar o grau de variação na concentração de DQO.

Comparando esses dados com outros dados encontrados em dissertações de mestrado e doutorado anteriores, foi possível verificar um aumento significativo da concentração da DQO ao longo do tempo. Os dados obtidos de DQO apresentaram variações entre 98,5 e 2821,8 mg/L, média de 708,8 mg/L, e desvio padrão de 274,5 mg/L

Analisando todos os dados pesquisados, foi observado um aumento da concentração de matéria orgânica ao longo dos anos. Esta constatação pode ser observada na figura 3.

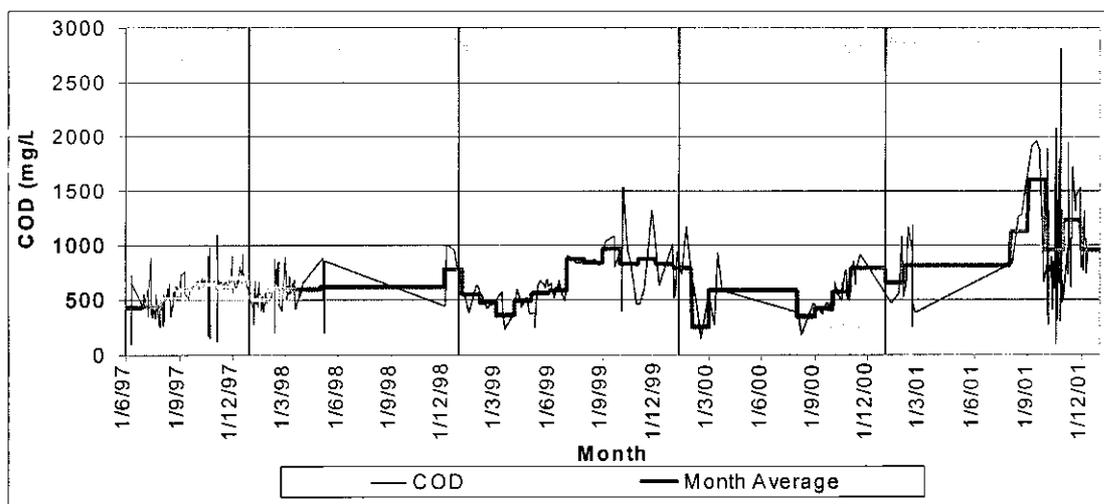


Figura 3 - dados de DQO disponíveis

A partir desse gráfico foi construído um outro, para se tentar obter uma visualização mais definida desses dados. Pode-se observá-lo na figura 4.

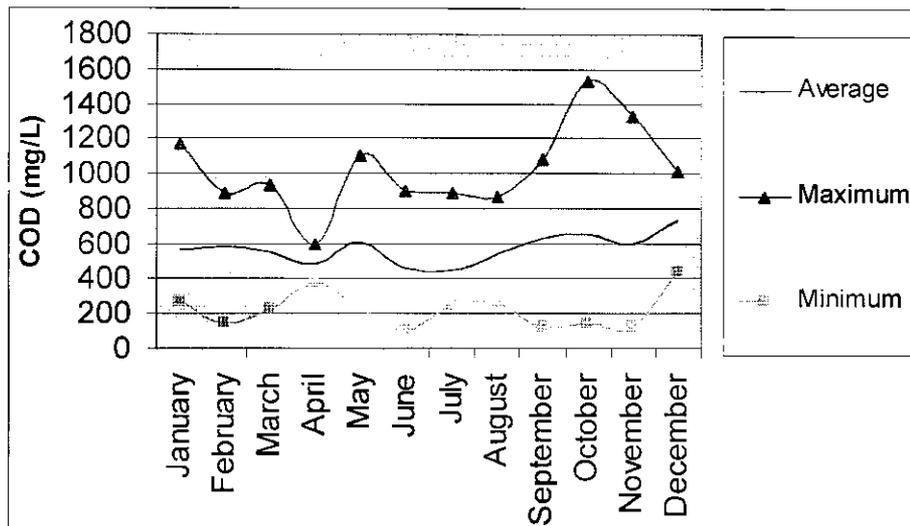


Figura 4 – máximos e mínimos (DQO)

No gráfico da figura 4, pode ser observado que, a variação média da DQO não é tão significativa, se observado o conjunto total de dados, ficando relativamente difícil uma conclusão precisa sobre a mesma. Já no que se diz respeito ao valor individual de cada ponto do gráfico, como foi dito, existe um aumento notável em um espaço de tempo de apenas 4 anos (1997 a 2001).

Uma hipótese bem provável para tal situação foi o fato da introdução de um sistema de racionamento de água na cidade. Este processo de racionamento ocorreu duas vezes no período em estudo. Esta imposição pode ter feito com que, de forma rápida, houvesse uma mudança em alguns costumes da população, no que se diz respeito ao uso racional da água. Portanto, o uso limitado da água e conseqüentemente uma menor quantidade da mesma nas redes de esgotos, fizeram com que a concentração de matéria orgânica existente na mesma fosse aumentada. Mas esta hipótese, analisada como foi, de forma macro, não pode ser

decisiva na hora de realizar um projeto. Uma outra hipótese bem significativa para a análise da situação foi o estudo das precipitações médias durante. Era esperado que uma época de poucas chuvas, a concentração de matéria orgânica fosse bem maior que épocas de grandes precipitações.

Para comprovar esta verificação, se deu início a uma pesquisa dos dados da precipitação ocorrida em Campina Grande neste período. De acordo com dados obtidos no setor de meteorologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, a precipitação média se dá de acordo com o gráfico da figura 5.

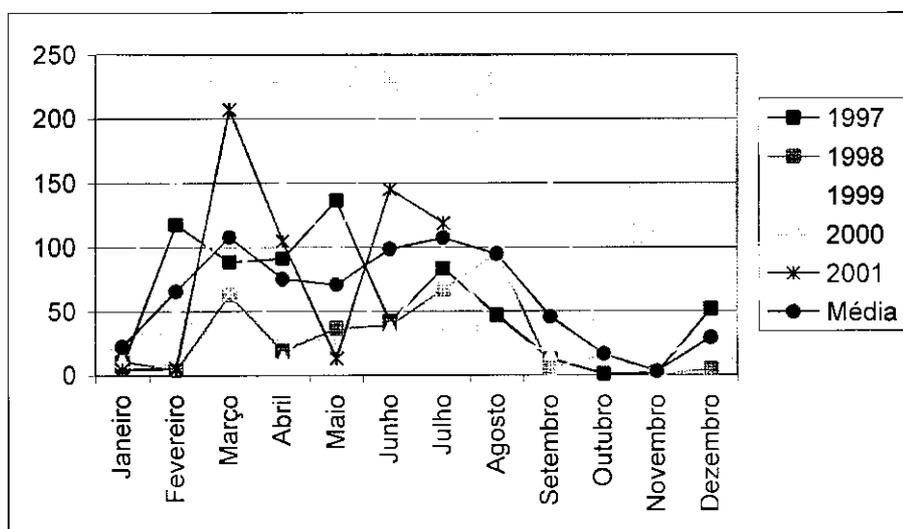


Figura 5 – Precipitação em Campina Grande

Na figura 6, plotada de forma mais simples, pode ser observado, em cada mês, os pontos de máximo e mínimo, do período analisado.

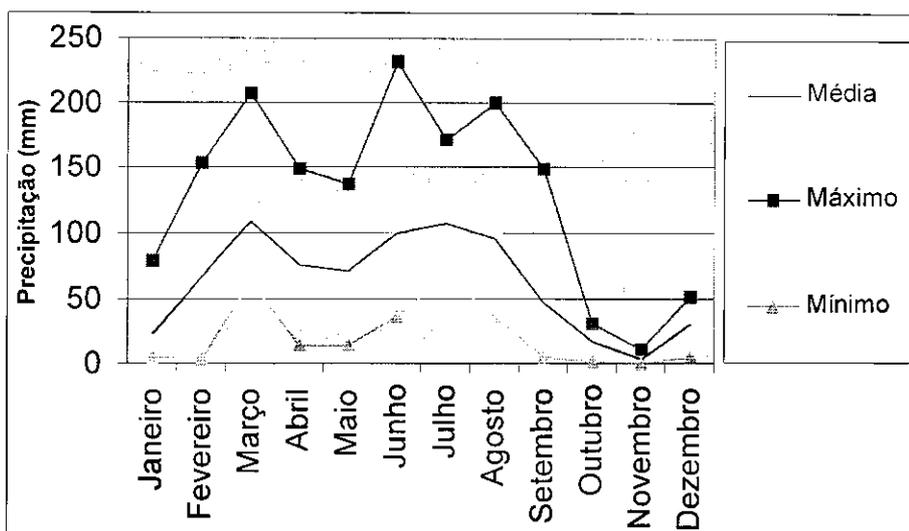


Figura 6 – Precipitações médias em Campina Grande

Esta irregularidade das precipitações é mais um fator para dificultar uma possível conclusão desta variação na concentração de DQO ao longo dos anos.

Analisando os gráficos da figura 3 e 4, podemos observar realmente que quando existe uma precipitação maior de chuvas, a concentração de DQO diminui. Mas, como foi dito anteriormente, esta é apenas uma macro análise da situação, não podendo ser tomada nenhuma decisão sobre esse assunto.

Numa tentativa de facilitar ainda mais a visão sobre esta relação, foi relacionado, num só gráfico, dados de chuva e DQO. Podemos observar isto na figura 7.

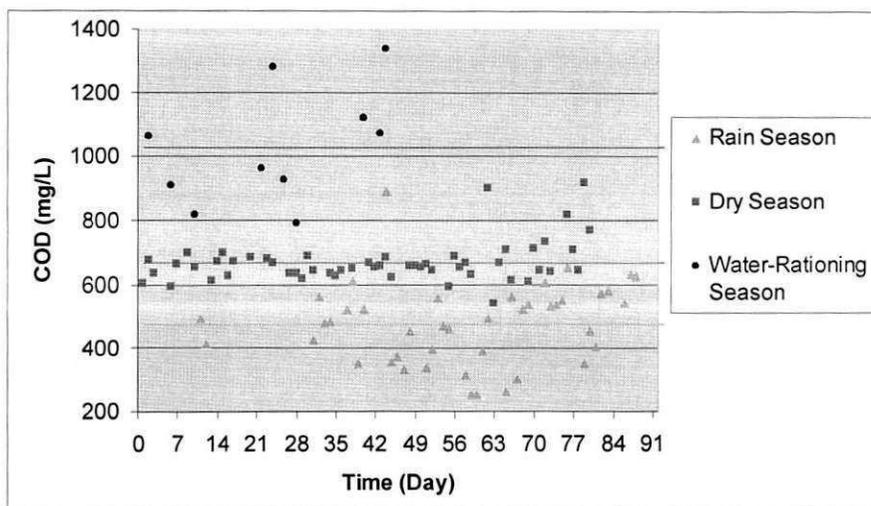


Figura 7 – Gráfico de DQO em épocas diferentes

Mais uma vez fica clara a suposição de que em épocas de maiores precipitações, existe uma considerável diminuição na concentração da matéria orgânica no esgoto.

## 6.2 – Caracterização Geral do Esgoto

Mesmo sem saber ao certo sobre as características atuais do esgoto de Campina Grande, pode-se concluir que o mesmo variava muito ao longo das diferentes horas do dia, e como foi mencionado anteriormente, tinha-se uma grande necessidade de dados mais precisos com relação as características do mesmo.

Esta necessidade aconteceu para poder realizar a alimentação dos reatores. Uma vez que o afluente era armazenado em tanques, com capacidade

de alimentar os 4 reatores durante 24 horas, tinha-se que determinar a hora do “melhor” esgoto, ou seja, um esgoto com uma concentração bem elevada comparada ao resto das horas do dia. Esta necessidade de um melhor esgoto foi necessária na fase de partida dos reatores, para que os mesmos começassem a se adaptar com concentrações elevadas de matéria orgânica, para uma suposta melhor resposta aos choques orgânicos.

Decidiu-se então pela realização de perfis, abrangendo todas as horas do dia, de todos os dias da semana. Feito os perfis característicos do esgoto municipal de Campina Grande, realizados entre os meses de outubro e novembro de 2001, foram obtidos os gráficos mostrados nas figuras que seguem.

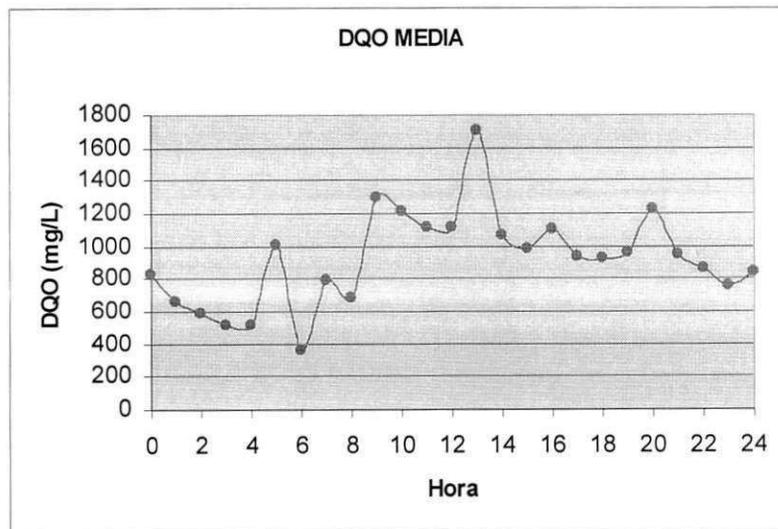


Figura 8 – Perfil característico de uma terça-feira (02/10/01)

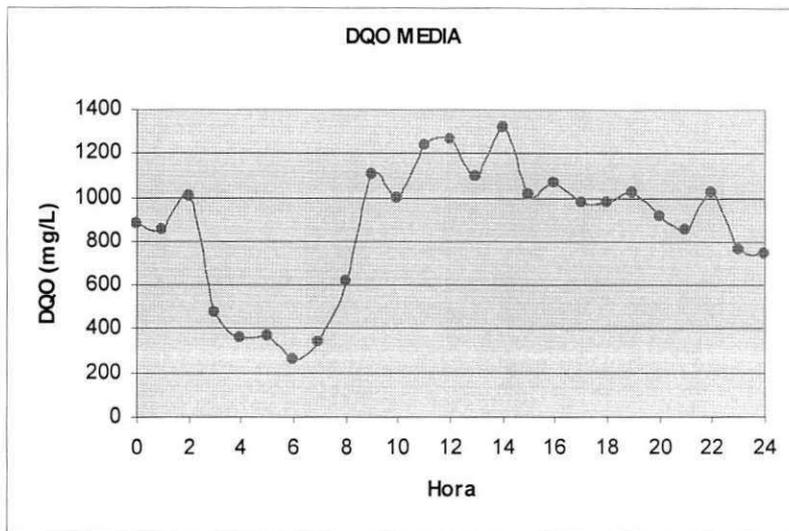


Figura 9 – Perfil característico de um sábado (06/10/01)

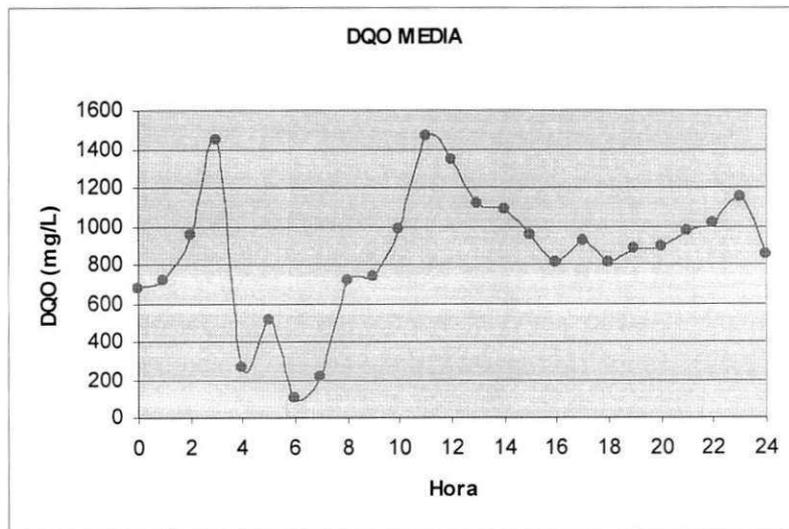


Figura 10 – Perfil característico de uma quinta-feira (18/10/01)

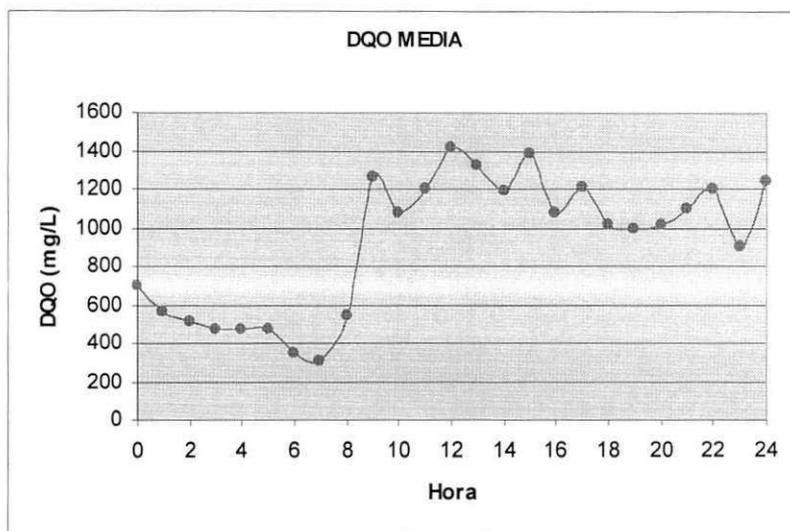


Figura 11 – Perfil característico de uma segunda-feira (22/10/01)

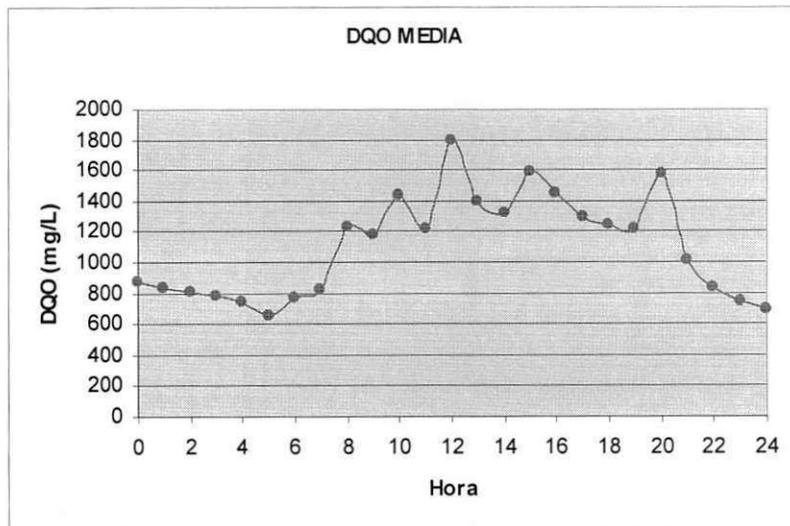


Figura 12 – Perfil característico de uma quarta-feira (24/10/01)

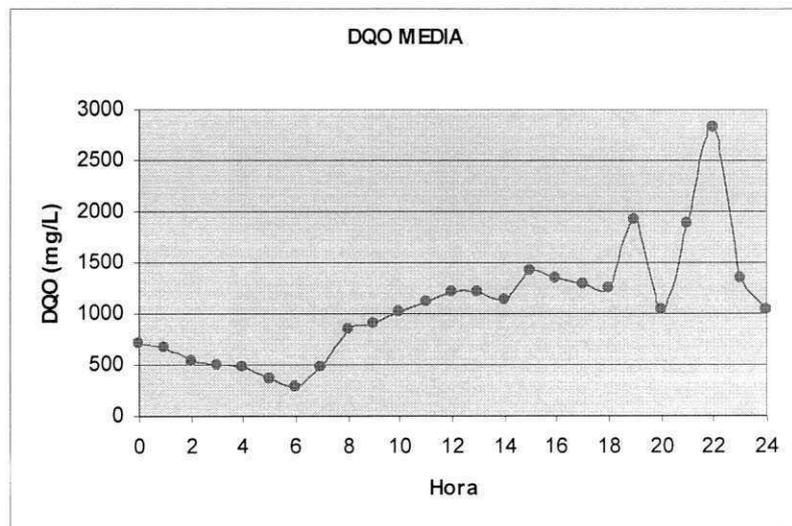


Figura 13 – Perfil característico de uma sexta-feira (26/10/01)

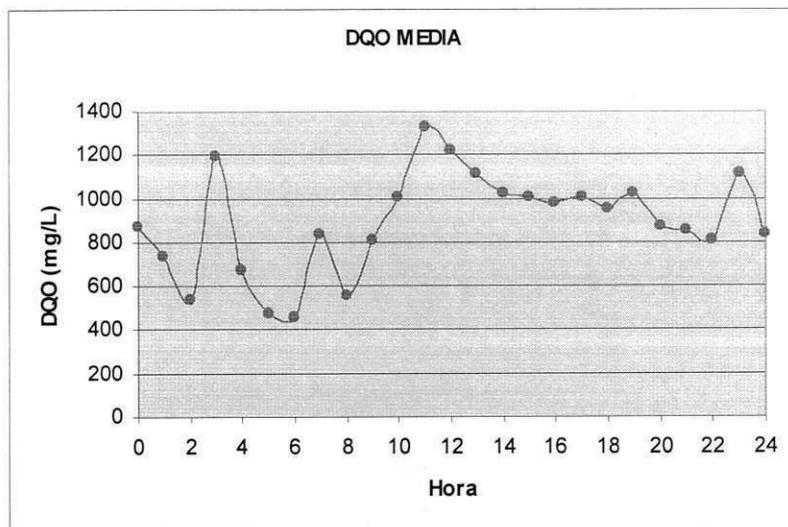


Figura 14 – Perfil característico de uma domingo (28/10/01)

Observando todos os gráficos, com exceção do gráfico característico da sexta-feira, podemos perceber que existe um certo intervalo em que a concentração média do esgoto municipal de Campina Grande é bem superior ao restante do dia. Este intervalo, que em média, vai das 10:00 as 18:00 hs. Este horário ficou caracterizado por um esgoto de elevada concentração de matéria orgânica.

Com relação à sexta-feira, quando terminado o perfil e computado os dados, foi observado que seu comportamento estava totalmente diferente dos demais dias da semana. A primeira conclusão para a situação foi ter existido erros durante o experimento. Como a discrepância foi significativa, ficou decidido pela realização de um novo perfil em uma nova sexta-feira. Escolhida a sexta-feira, fez outro perfil, e o seu perfil característico pode ser visto na figura 15.

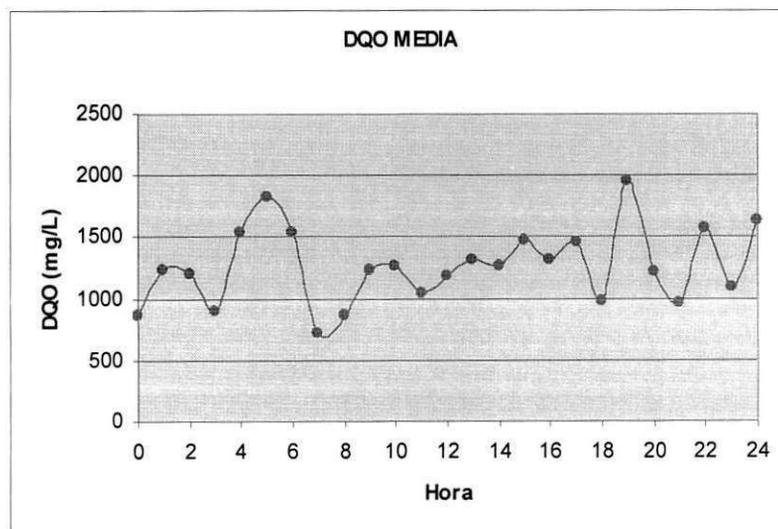


Figura 15 – Perfil característico de uma sexta-feira (09/11/01)

Pode-se observar agora uma diferença entre os dois perfis, mas com um detalhe; as horas que, de acordo com os outros dias da semana deveria ser de maior concentração de matéria orgânica, apresentou-se com valores bem mais baixos que o normal. A princípio, não é vista uma fácil explicação para esta situação, levando em conta que a sexta-feira é um dia normal de trabalho e seu comportamento deveria ser igual aos demais dias da semana.

Mas, como o objetivo dos perfis era a determinação do melhor esgoto durante o dia, de forma estatística, esses dados obtidos foram de ótimo tamanho. Podemos ainda ter uma visão melhor desse comportamento na figura 16.

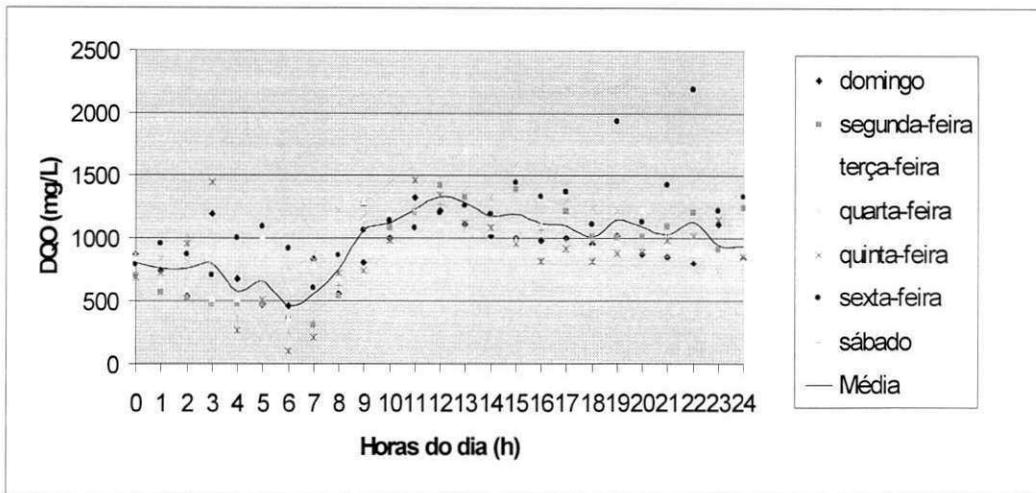


Figura 16 – Todos os dias da semana

Como é mostrado no gráfico, o melhor intervalo para encher o tanque de alimentação dos reatores ficou entre 10:00 e 18:00 hs. Como foi mencionado anteriormente, o perfil de caracterização do esgoto municipal de Campina Grande foi mais abrangente, não levando só em conta as análises de DQO, mas também de TKN, amônia, alcalinidade total, ácidos graxos voláteis. Os gráficos obtidos nas outras análises serão apresentados a seguir, de forma compacta, ou seja, em um só gráfico, todos os dias da semana.

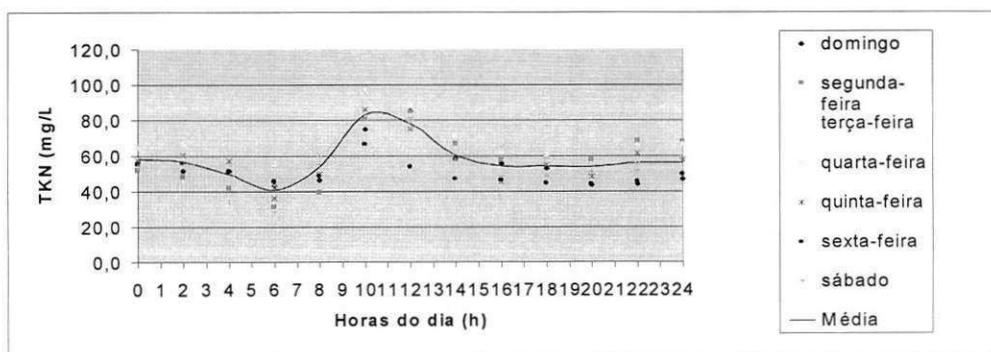


Figura 17 – Perfil de TKN

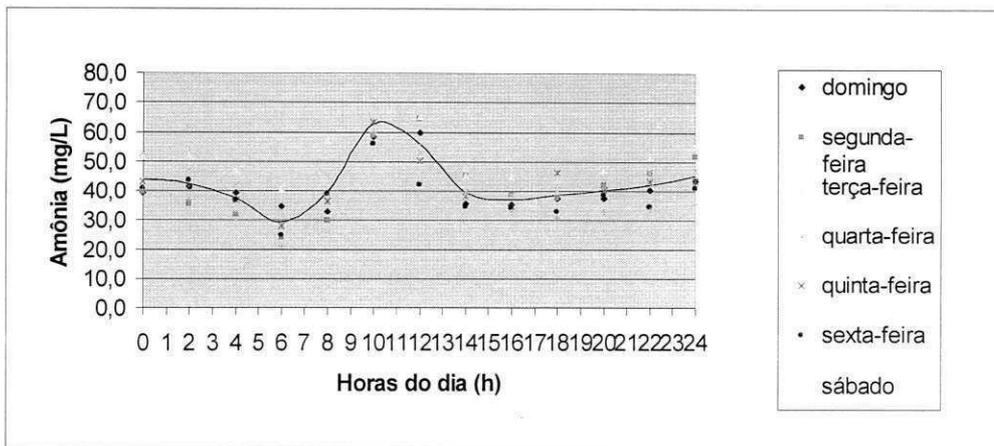


Figura 18 – Perfil de Amônia

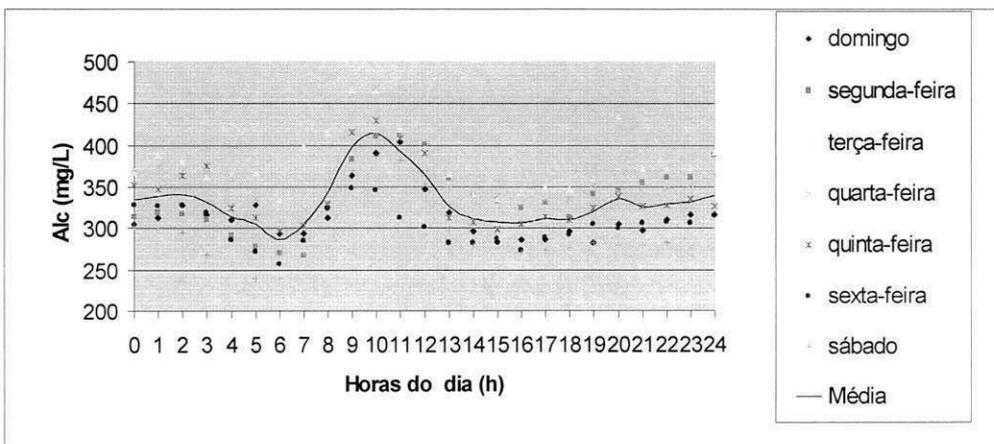


Figura 19 – Perfil de Alcalinidade Total

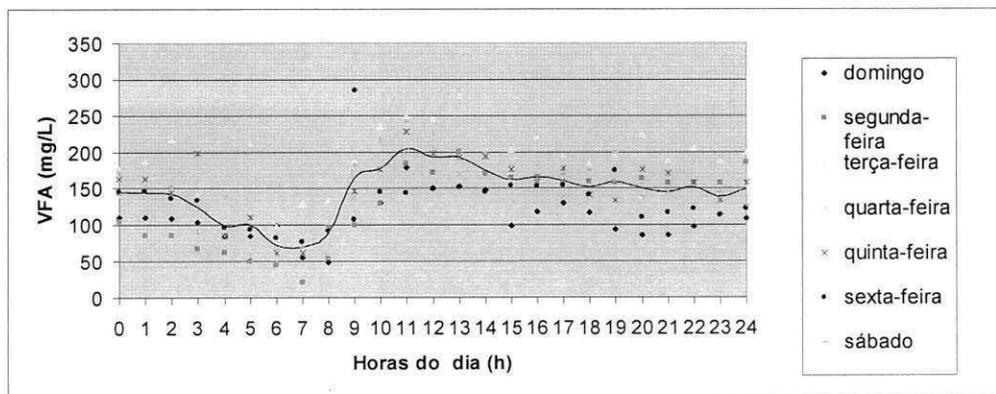


Figura 20 – Perfil de Ácidos Graxos Voláteis

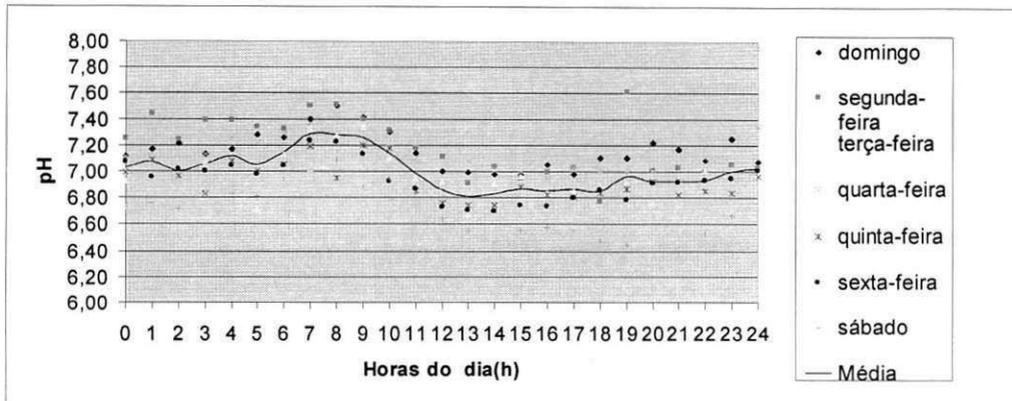


Figura 21 – Perfil de pH

Mais uma vez, foi possível observar que, com exceção de alguns pontos, existe uma certa semelhança entre os diferentes dias da semana com relação as características do esgoto. Isto é bom, pois é bem mais fácil projetar sistemas se a regularidade dos eventos ocorridos em torno do mesmo são previsíveis.

## **7 – Comentários**

Como pôde ser observado, apesar das grandes variações sofridas pelo esgoto ao longo do dia, existem tendências que podem indicar um comportamento previsível do mesmo. A caracterização desse comportamento, como foi feito, além de servir para fins da própria pesquisa, pode ser útil para outros pesquisadores que venham a precisar estudar tais comportamentos.

A única restrição a observar é o que diz respeito a época em estudo, pois como foi visto, épocas diferentes possuem comportamentos diferentes, visto que este levantamento foi feito em uma período de racionamento.

## **8 – Bibliografia**

Tratamento de Esgotos sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo – José Roberto Campos (coodernador) – Rio de Janeiro, ABES 1999, 464 p., Projeto PROSAB.

Esgotos Sanitários – Carlos Fernandes – João Pessoa, Editora Universitária / UFPB, 1997, 435 p.

[www.saneamentobasico.com.br](http://www.saneamentobasico.com.br)

[www.saneamento10.hpg.com.br](http://www.saneamento10.hpg.com.br)