

Monografia de Graduação

Caracterização e Adaptação de Efluentes de Refinaria de Petróleo em Sistemas de Lodos Ativos

Márcio Silva Bezerra

Natal, fevereiro de 2007

Bezerra, Márcio Silva - Caracterização e Adaptação de Efluentes de Refinaria de Petróleo em Sistema de Lodos Ativados. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Meio Ambiente, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof^ª. Gorete Ribeiro de Macedo

RESUMO: Com o desenvolvimento de novas tecnologias, os efluentes provenientes de indústrias vêm sofrendo constantes alterações em suas composições, através da inclusão de grande número de compostos químicos orgânicos refratários utilizados ou gerados na linha de processamento industrial e por esta razão, vários tipos de tratamento de efluentes industriais foram desenvolvidos e estão sendo aperfeiçoados com a finalidade de minimizar cada vez mais a poluição causada pelo lançamento de águas residuárias industriais em corpos d'água receptores. A indústria do petróleo tem nos seus sistemas produtivos vários processos onde as correntes de efluentes hídricos contêm altas quantidades de compostos tóxicos, as quais provocam danos, muitas vezes irreversíveis, ao meio ambiente. Faz-se necessário a busca de soluções para o tratamento destes efluentes com eficácia e baixo custo. Devem-se buscar formas de reduzir a presença destas substâncias nos efluentes da indústria de petróleo ou desenvolver processos que permitam uma segura destruição destas moléculas nestes efluentes. Com a finalidade de avaliar a possibilidade do tratamento de efluentes de refinarias de petróleo, foi realizada a operação de sistemas de tratamento de lodos ativados em escala piloto, alimentados com um despejo contendo compostos tóxicos característicos deste tipo de indústria.

Palavras Chaves:

- Caracterização do Efluente, Tratamento Biológico de Efluentes e Lodos ativados.

ABSTRACT

As new technologies have been developed, effluents coming from industries are suffering constant changes in their compositions, through the inclusion of a great number of refractory organic chemicals used or generated in the industrial process line and for this reason, various types of industrial effluent treatment were developed and are being improved in order to minimize the pollution caused by tossing residual water coming from industries in receptive water fields. The oil industry has, in its production systems, a variety of processes in which the currents of water effluents contain high quantities of toxic chemicals, that provoke damages, sometimes irreversible, to the environment. It is necessary to search solutions to treat these effluents efficiently and with low costs. New ways of reducing the presence of these substances in the effluents of the oil industry should be explored. Processes that allow a safe destruction of these molecules in the effluents must be developed. In order to evaluate the possibility of treating effluents from oil refineries, the operation of treatment systems of activated sludge in pilot scale was executed, fed with waste containing typical toxic chemicals of this kind of industry.

Keywords:

- Effluent characterization, Biological Treatment of Effluents and activated sludge

"Quando morremos, nada pode ser levado conosco, com a exceção das sementes lançadas por nosso trabalho e do nosso conhecimento".
(Dalai-Lama)

Esta monografia é dedicada:

A Deus, criador de todas as coisas.

A meus pais.

Agradecimentos

No âmbito acadêmico, inicio meus agradecimentos expressando minha profunda admiração e apreço pela amiga e professora doutora Gorete Ribeiro de Macedo, cuja excelência profissional conferiu prestígio a este trabalho e a minha vida pessoal. Agradeço aos professores Afonso Avelino Dantas Neto, Eduardo Lins de Barros Neto, José Romualdo Vidal, Osvaldo Chiavone Filho e Tarcílio Viana Dutra Júnior por terem contribuído com os seus ensinamentos e também pelo apoio oferecido sempre que necessário.

Agradeço ao aluno de doutorado Laerte de Medeiros Barros Júnior pelo apoio e por ter me acompanhado em todos os experimentos realizados no Laboratório de Engenharia Bioquímica (LEB) com sugestões sempre pertinentes na realização desta monografia.

A meus pais e meus irmãos, com sua paciência infinita e sua crença absoluta em minha capacidade.

Ainda, aos amigos do laboratório (em ordem alfabética): Albina, Alex, Ângela, Danielle, Fabiana e Franklin, obrigado pelo companheirismo que a mim devotaram. Em especial a Andréa e Sanderson que dedicaram seu tempo e trabalho ao ajudar nas minhas pesquisas e, em consequência, nesta monografia.

Não poderia esquecer de agradecer também ao meu professor de inglês e amigo Alex pela ajuda sempre que necessário.

Finalmente agradeço a Agência Nacional de Petróleo – ANP, por incentivar os estudos na área de Petróleo e Gás Natural e pela bolsa concedida durante a graduação.

Divido com todos vocês minha felicidade e meu sucesso porque eles certamente não seriam possíveis sem suas presenças em minha vida.

Deus abençoe a todos.

Índice

1-INTRODUÇÃO	11
2-OBJETIVOS	14
3-ASPECTOS TEÓRICOS	16
3.1 TRATAMENTO BIOLÓGICO POR LODOS ATIVADOS	16
3.1.1 <i>Reações que ocorrem no processo de lodos ativados</i>	19
3.1.2 <i>Condições para as quais a utilização de sistemas de duplo estágio apresenta vantagens</i>	19
3.1.3 <i>Tratamento e disposição final de lodo</i>	20
3.2 NITRIFICAÇÃO	22
3.3 MICROBIOLOGIA DOS LODOS ATIVADOS	22
3.3.1 <i>Composição dos aglomerados microbianos</i>	23
3.4 ADAPTAÇÃO DA BIOMASSA DE PROCESSOS BIOLÓGICOS	27
3.5 RESPIROMETRIA	28
4. ESTADO DA ARTE	31
5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	34
5.1 TESTE DE ESTANQUEIDADE.....	34
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	34
5.2.1 <i>Marcha para a preparação da fase móvel</i>	35
5.2.2 <i>Marcha para a preparação da solução padrão (100 ppm e 1 ppm)</i>	35
5.3 RESPIROMETRIA	35
5.4 CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS	37
5.5 ADAPTAÇÃO DA BIOMASSA.....	37
5.6 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 TESTES DE ESTANQUEIDADE	41
6.2 CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTE DE REFINARIA DE PETRÓLEO	42
6.3 ENSAIOS RESPIROMÉTRICOS COM LODO PROVENIENTE DA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO DO ESTADO DE SÃO PAULO	43
7. CONCLUSÕES	50
BIBLIOGRAFIA	52

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema simplificado de tratamento por lodo ativado	16
Figura 2 – Protozoários, Classe Sarcodina	25
Figura 3 – Protozoários, Classe Ciliata	26
Figura 4 – Protozoários, Classe Sarcodina	26
Figura 5 – Protozoários, Classe Ciliata	27
Figura 6 – Esquema simplificado para ensaios de respirometria	37
Figura 8 – Sistema de Lodo Ativado	39
Figura 9 – Variação da concentração de glicose em função da velocidade específica de respiração.....	43
Figura 10 – Resultados dos ensaios cinéticos obtidos pelos ensaios de respirometria e ajuste dos pontos experimentais aos modelos testados (Monod e Andrews).	44
Figura 11 – Variação da concentração de fenol em função da velocidade específica de respiração.....	45
Figura 12 – Resultado dos ensaios cinéticos obtidos pelos ensaios de respirometria e ajuste dos pontos experimentais aos modelos testados (Monod e Andrews).	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 Agrupamento de organismos de diversos gêneros.....	24
Tabela 2 Meio Sintético Básico.....	36
Tabela 3 Testes de Estanqueidade nos sistemas de lodos ativados.....	41
Tabela 4 Caracterização de efluentes de refinarias de petróleo (Afluente do tratamento biológico).....	42
Tabela 5 Efeito da concentração de glicose na velocidade específica de respiração.....	43
Tabela 6 Parâmetros estimados por ajuste aos dados experimentais.....	45
Tabela 7 Parâmetros estimados por ajuste aos dados experimentais.....	46
Tabela 8 Cronograma de Execução.....	48

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1-Introdução

A multiplicidade de processos da indústria petroquímica nos mostra a complexidade do problema dos efluentes gerados por esta indústria, efluentes estes na sua grande maioria líquidos e que necessitam de toda uma gama de técnicas especiais para o seu tratamento. O tratamento biológico é um dos processos mais econômicos para reduzir o teor de matéria orgânica, toxidez e aparência desagradável do despejo.

Os métodos de tratamento biológico constituem o processo mais econômico de tratamento secundário de efluente hídrico, sendo um exemplo clássico de aplicação bem sucedida de processo em grande escala na área de biotecnologia, resultante da aplicação de conhecimentos coordenados da engenharia e da microbiologia (Santiago, 1985).

O tratamento de resíduos petroquímicos pelo uso de métodos biológicos é consideravelmente mais complexo que o tratamento de resíduos domésticos e outros resíduos industriais. Determinadas estruturas moleculares, especialmente aquelas que não têm ocorrência natural, são difíceis de serem degradadas biologicamente. A biodegradabilidade de um composto depende do meio, fatores de crescimento dos microrganismos, nutrientes, pH e temperatura.

O fenol e seus derivados são constituintes comuns dos efluentes de indústrias petroquímicas. A degradação biológica deste tipo de efluente tem sido realizada em sistemas de lodos ativados, apresentando bons resultados devido à presença de uma população de microrganismos que promovem reduções aceitáveis de fenol e da demanda bioquímica.

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado a nível mundial para tratamento de despejos domésticos e industriais de origem orgânica, em situações em que se faz necessária uma elevada qualidade do efluente tratado e reduzidos requisitos de área disponível para instalação, no entanto o sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada. Dentre outros compostos recalcitrantes de difícil degradação presentes nesse tipo de despejo, destacam-se nitrogênio amoniacal, óleos e graxas, cianetos, sulfetos e os aromáticos mono e polinucleares: benzeno, compostos fenólicos, tolueno, xileno, acenafteno, naftaleno e nitrobenzeno. O fenol merece atenção, pois este é o principal contaminante encontrado em águas residuárias da indústria de petróleo. O índice de compostos fenólicos constitui um padrão de emissão de esgotos diretamente no corpo receptor, sendo estipulado o limite de 0,5 mg/L pela Legislação Federal (Artigo 21 da Resolução no 20 nº CONAMA).

Apesar do fenol ser uma substância xenobiótica, a produção e liberação de compostos fenólicos representam um risco ambiental, uma vez que o fenol, é um composto

potencialmente tóxico para os seres vivos, sendo considerado como *poluente orgânico prioritário* (POP) desde 1976 (U.S.EPA, 1985).

O fenol é um composto que tem um efeito inibitório no crescimento celular, entretanto, as bactérias quando adaptadas apresentam boa capacidade de biodegradação deste composto.

Estudos realizados em siderúrgicas têm demonstrado que numerosas bactérias são capazes de oxidar fenóis, e concentrações de até 95 mg/L encontradas no afluente de sistemas de lodos ativados foram reduzidas a aproximadamente 0,01 mg/L (Costa, 1999).

Neste trabalho foram realizados ensaios respirométricos com um lodo industrial de uma refinaria de petróleo do Estado de São Paulo e também foi caracterizado um efluente de refinaria de petróleo em relação ao fenol, principal composto orgânico encontrado neste tipo de efluentes.

Capítulo II

OBJETIVOS

2-Objetivos

Este trabalho tem por objetivo analisar através de ensaios respirométricos, a biodegradabilidade do fenol utilizando um lodo industrial de refinaria do Estado de São Paulo. Também foi realizada a caracterização de um efluente de refinaria de Petróleo em relação ao fenol.

Capítulo III

ASPECTOS TEÓRICOS

3-Aspectos Teóricos

3.1 Tratamento biológico por lodos ativados

Dentre os processos aeróbios, o processo de lodo ativado (PLA) é um dos mais aplicados e também de maior eficiência. É o mais utilizado em localidades de grande concentração urbana.

O termo lodos ativados designa a massa microbiana floculenta que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos à aeração. A biofloculação é governada pelo estado fisiológico das células, não sendo um privilégio de uma espécie. O efeito que parece contribuir à biofloculação está ligado à excreção ou à liberação, após a lise das células, de polímeros ou polissacarídeos. Estas moléculas agem como polieletrólitos de síntese e sua parte fixa as células como um revestimento aderente.

Desta forma, em um floco microbiano, temos vários microrganismos presentes unidos por polímeros ou polissacarídeos. A primeira unidade, em escala real, para tratamento de esgotos foi instalada em Manchester (UK em 1914). Desde então o processo de lodos ativados ganhou grande difusão e incorporou modificações técnicas, mantendo-se ativo no mercado de processos de tratamento de efluentes. A Figura 01 mostra um esquema simplificado de tratamento por lodo ativado.

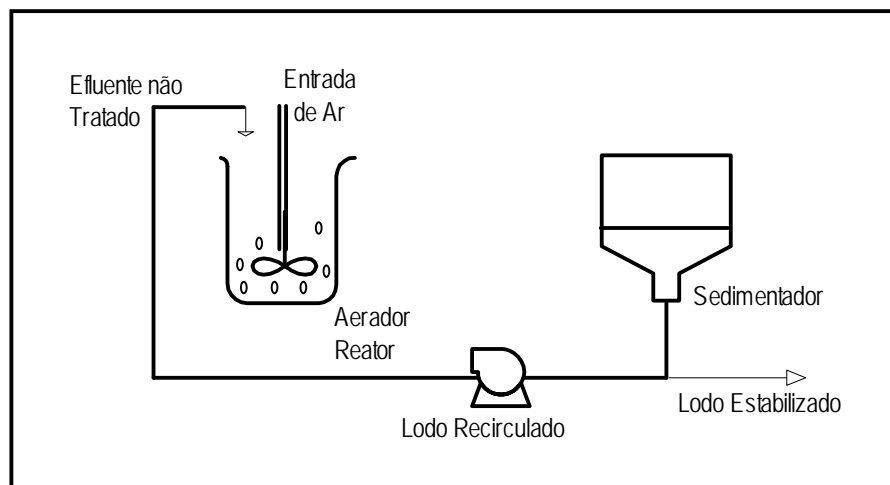


Figura 1 – Esquema simplificado de tratamento por lodo ativado

Tanque de aeração: é no seu interior que ocorrem as reações que conduzem a metabolização dos compostos bio-transformáveis. Aqui é essencial que se tenha boa mistura e boa aeração.

Decantador secundário: separa adequadamente o lodo (biomassa) proveniente do tanque de aeração e é munido de um raspador de fundo.

Sistema de reciclo: bombas providenciam o reciclo do lodo para o tanque de aeração, assegurando elevada concentração microbiana no interior daquele reator. O lodo em excesso é retirado e vai para o tratamento de lodo (digestão anaeróbia)

A DQO do despejo, que corresponde à fração de matéria orgânica do despejo quimicamente oxidável, decresce com o tempo à medida que o substrato sofre oxidação por via biológica, isto é, vai sendo metabolizado pelos microrganismos aeróbios/facultativos presentes no lodo ativado. A DQO remanescente após um longo período de aeração corresponde à concentração de substrato não-biodegradável do efluente.

Concomitantemente com o decréscimo da DQO, a concentração de sólidos aumenta, no intervalo de tempo correspondente ao início da aeração, pois, nesse intervalo, é elevada a concentração e a disponibilidade de substrato metabolizável pelos microrganismos, que o incorpora para a formação de novas células e para atender às suas demandas energéticas. Essa fase é denominada fase de síntese, na qual a taxa de produção de novas células excede a taxa de sua destruição (espécies que não conseguiram se adaptar ao meio de cultura constituído, principalmente devido aos produtos de metabolismo das demais espécies).

Assim, os microrganismos consomem os poluentes do efluente como fonte de carbono, para suas demandas energéticas e para produzir outras células. Este processo apresenta excelentes remoções de DQO, mas há um preço: uma grande produção de lodo que terá também que ser disponibilizado. Quanto maior for a vazão do efluente, maior a produção de lodo e menor a eficiência do processo. Maiores tempos de retenção, no entanto, necessitam de maiores áreas, que nem sempre estão disponíveis.

Em sistemas clássicos de lodos ativados, após a unidade de sedimentação primária, a maioria do material orgânico em estado coloidal e solúvel é metabolizado por diversos grupos de microrganismos em tanques de aeração, com formação dos produtos finais: dióxido de carbono, água e nitratos, caso haja previsão para nitrificação. Simultaneamente, uma fração considerável é convertida em massa celular e separada da fase líquida por ação da gravidade em decantadores secundários, sendo que a grande parte dessa massa retorna ao tanque de aeração.

A cultura microbiana atuante é heterogênea e composta principalmente por bactérias, protozoários, rotíferos e eventualmente fungos. As bactérias desempenham o papel de assimilação da matéria orgânica existente, enquanto os protozoários e rotíferos realizam a remoção da massa bacteriana dispersa, impedindo a sua descarga com o efluente do sistema.

No reator ocorrem as reações bioquímicas de remoção de matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. A biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o reator, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema.

A biomassa consegue ser facilmente separada no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular. Tal se deve ao fato das bactérias possuírem uma matriz gelatinosa, que permite a aglutinação das bactérias e outros microrganismos, como protozoários. O floco possui maiores dimensões, o que facilita a sedimentação.

Em virtude da recirculação do lodo, a concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração no sistema de lodos ativados é mais de dez vezes superior à de uma lagoa aerada de mistura completa, sem recirculação. Nos sistemas de lodos ativados, o tempo de detenção do líquido é bem baixo, da ordem de horas, implicando em que o volume do tanque de aeração seja bem reduzido. No entanto, devido à recirculação dos sólidos, estes permanecem no sistema por um tempo superior ao do líquido. O tempo de retenção dos sólidos é denominado idade do lodo. É esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência dos sistemas de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

No tanque de aeração, devido à entrada contínua de alimento, na forma de *Demanda Bioquímica de Oxigênio* (DBO) dos esgotos, os microrganismos crescem e se reproduzem continuamente. Caso fosse permitido que a população dos mesmos crescesse indefinidamente, eles tenderiam a atingir concentrações excessivas no tanque de aeração, dificultando a transferência de oxigênio a todas as células. No entanto, o decantador secundário ficaria sobrecarregado, e os sólidos não teriam mais condições de sedimentar satisfatoriamente, vindo a sair com o efluente final, deteriorando a sua qualidade. Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. Este é, portanto, o lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação. O lodo excedente deve sofrer tratamento

adicional, na linha de tratamento do lodo, usualmente compreendendo adensamento, estabilização e desidratação.

3.1.1 Reações que ocorrem no processo de lodos ativados

As reações que ocorrem no processo de lodos ativados podem ser apresentadas de forma sucinta, como estão descritas a seguir.

- Sorção de orgânicos solúveis, coloidal e suspensos no floco da lama;
- Biodegradação dos orgânicos resultantes em produtos finais (CO_2 , H_2O , mineral) e síntese de uma nova biomassa microbiana;
- Ingestão de bactérias e materiais suspensos por protozoários ou outros predadores;
- Oxidação da amônia a nitrito e depois a nitrato por nitrificação;
- Nos momentos de insuficiência no fornecimento de energia: oxidação da reserva das células (interno e também externo) resultando na mineralização da lama e lise.

No dimensionamento de sistemas de lodos ativados com a finalidade de alcançar remoções satisfatórias de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal, geralmente são empregadas duas variações do processo, comumente denominadas de simples estágio e duplo estágio. Os sistemas de simples estágio são bastante utilizados nos EUA, devido ao seu dimensionamento relativamente simples e sua facilidade em termos operacionais.

No tratamento em um único estágio, a oxidação da matéria orgânica e a nitrificação ocorrem em apenas um reator, mas com a utilização de dois reatores em série, é possível executar de forma independente as reações específicas para cada processo, permitindo maior flexibilidade na operação e assegurando bons resultados nas remoções de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal. Normalmente quando se trata de esgoto doméstico, o segundo reator especificado para nitrificação no sistema de duplo estágio, recebe uma concentração em termos de DBO igual a 40 mg O_2/L (Metcalf & Eddy, 1991).

3.1.2 Condições para as quais a utilização de sistemas de duplo estágio apresenta vantagens.

De acordo com Costa (1999) uma das desvantagens associadas à utilização de sistemas de duplo estágio está relacionada à parte econômica, visto que a considerável quantidade de lodo gerada pelas duas unidades em série requer tratamento antes de sua disposição. No entanto, uma vantagem na utilização de sistemas de simples estágio, também relacionada aos custos de implantação e operação, é a necessidade da construção de apenas um decantador secundário, enquanto que em processos de duplo estágio, cada reator deve possuir seu próprio

decantador secundário, assim como respectivos sistemas de recirculação de lodo (Costa, 1999).

Apesar dos problemas relacionados ao capital a ser investido, o dimensionamento de duas unidades em série parece possuir a vantagem de fornecer uma capacidade adicional, além de responder com maior rapidez às grandes flutuações verificadas em despejos de origem industrial. Essa capacidade de amortecimento pode ser traduzida como um mecanismo de redução do impacto das cargas orgânicas e tóxicas ao estágio destinado à nitrificação, permitindo dessa maneira, o melhor controle do processo. Os metais pesados, geralmente presentes em despejos industriais também podem precipitar ou ser adsorvidos pela biomassa no primeiro estágio, deixando de exercer efeitos inibidores às bactérias nitrificantes (Costa, 1999).

3.1.3 Tratamento e disposição final de lodo

O lodo de excesso de sistemas de tratamento de esgoto exhibe basicamente três aspectos indesejáveis:

- a) instabilidade biológica: a alta fração de material orgânico biodegradável torna o lodo putrescível, entrando em decomposição poucas horas depois da interrupção da aeração;
- b) a qualidade higiênica do lodo de excesso é péssima, tendo-se uma grande variedade de vírus, bactérias e parasitas (protozoários, ovos de nematodes e helmintos que constituem uma ameaça para a saúde pública;
- c) concentração de sólidos suspensos no lodo é baixa (na faixa de 5 a 50 g.L⁻¹, dependendo da natureza do lodo), de modo que o volume de lodo de excesso é grande.

Os processos de tratamento de lodo visam reduzir o teor de material orgânico biodegradável, organismos patogênicos e o teor de água no lodo, para que se obtenha um material sólido e estável que não constitua um perigo para a saúde. Aplicam-se quase exclusivamente métodos biológicos para estabilizar o lodo biológico de excesso: digestão aeróbia ou digestão anaeróbia. A redução do teor de água é efetuada por processos físicos (adensamento, filtração, flotação, evaporação) eventualmente precedidos por processos preparatórios que visam facilitar e/ou acelerar o processo de separação de água.

3.1.3.1 – Tratamento de lodo estabilizado e destino final

Após a digestão aeróbia ou anaeróbia o problema de lodo é que sua concentração é baixa, tendo-se um teor de sólidos em suspensão entre 2 e 5 por cento. Há casos isolados em que o lodo é retirado nessa forma do digestor para aplicação na agricultura (fertilizante), mas o mais comum é, aplicar-se algum método de separação sólido-líquido para aumentar o teor de sólidos e conseqüentemente reduzir o volume do lodo estabilizado.

Quanto à fase líquida de lodo estabilizado, a água pode ser dividida conforme sua natureza no lodo em quatro frações:

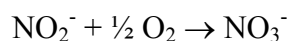
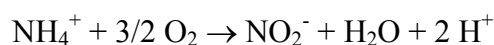
- Água livre que pode ser separada dos sólidos pela força gravitacional (adensamento ou flotação). Esta fração é maior e se compõe de cerca de 70 por cento da água total;
- Água adsorvida às partículas em suspensão e coloidais. Parte dessa água pode ser separada por forças mecânicas (diferença de pressão) ou através da adição de um floculante;
- Água ligada aos sólidos por forças capilárias. A distinção dessa água com a do item anterior (adsorvida) é sutil e reside basicamente no fato que as forças necessárias para liberar a água capilar são maiores. As duas frações juntas constituem cerca de 20 por cento da água total.
- Água celular que faz parte dos sólidos em suspensão e só pode ser removida através do rompimento da parede celular. Isto é impossível mecanicamente, mas pode ser conseguido com meios biológicos ou através de mudança de estado de agregação da água (congelamento, evaporação). A água celular é em torno de 10 por cento do total.

Procura-se o método de separação sólido-líquido mais econômico. Neste contexto é interessante observar que os métodos mecânicos como filtração ou centrifugação consomem em torno de 1000 vezes mais energia que o adensamento, enquanto a evaporação tem um consumo de até um milhão de vezes superiores ao do adensamento. Por m³ de lodo pode-se esperar um consumo de 1 Wh para adensamento ou flotação, 1 KWh para filtração ou centrifugação e 1000 KWh para evaporação. Conclui-se que a inclusão de adensamento ou flotação de lodo estabilizado, pelo menos como pré-tratamento, sempre deve ser considerado, não somente pela enorme economia de energia que esses processos permitem, mas também por se tratar de processos com equipamentos simples.

3.2 Nitrificação

Nitrificação é a oxidação biológica da amônia tendo como produto final o nitrato. A reação requer a mediação de bactérias específicas e se realiza em dois passos sequenciais. As bactérias nitrificantes são responsáveis pelas reações sequenciais de oxidação, que caracterizam o processo de nitrificação, e por serem organismos aeróbios obrigatórios, suas atividades bioquímicas são desenvolvidas somente na presença de oxigênio dissolvido.

No primeiro passo a amônia é oxidada para nitrito através da ação bioquímica de bactérias do gênero *Nitrossomonas*. O passo seguinte, a oxidação de nitrito para nitrato é mediado por bactérias do gênero *Nitrobacter*. Os dois passos são descritos a seguir:



No sistema de lodo ativado o nitrogênio orgânico é rapidamente e quase quantitativamente convertido em nitrogênio amoniacal (amonificação). Se a nitrificação ocorre, e se houver capacidade de oxigenação suficiente, então também o processo de oxidação da amônia é quase completo, deixando uma baixa concentração de nitrogênio amoniacal.

3.3 Microbiologia dos lodos ativados

Os microrganismos presentes nos sistemas de tratamento, em geral, se aglomeram na forma de flocos microbianos ou de filmes (biofilmes). Esses aglomerados são constituídos de células microbianas (bactérias predominantemente e protozoários secundariamente) envolvidas por uma massa orgânica de exopolímeros extracelulares (polissacarídeos e proteínas).

Esses exopolímeros celulares funcionam como uma espécie de “cola” entre os microrganismos, é como se fossem “barbantes” amarrados nas membranas celulares.

No caso de flocos microbianos, a aglomeração se dá a tal nível, que as dimensões dos flocos conduz a uma decantação relativamente rápida. Assim, a separação das células do efluente tratado se faz com relativa simplicidade.

Algumas aglomerações microbianas apresentam número apreciável de protozoários ou formações bacterianas na forma de filamentos, neste caso os flocos podem apresentar dificuldades de decantação.

3.3.1 Composição dos aglomerados microbianos

A composição química dos microrganismos depende também das condições do meio.

A composição da biomassa é semelhante à das células bacterianas: $C_5H_7NO_2$.

Alguns autores propõem a fórmula empírica para a composição celular (base seca) como: $C_7H_{11}NO_3$ (simplificada).

A população microbiana presente no floco é constituída de um conjunto extremamente complexo de microrganismos, tais como: bactérias, fungos e protozoários.

Bactérias heterotróficas: aeróbias estritas ou facultativas *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Zooglea ramigera*, entre outros.

Bactérias autotróficas: *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*

Fungos: pouco comuns nos tratamentos convencionais. *Geotrichum*

Microfauna: ciliados livres, ciliados penduculados, flagelados, amebas, rotíferos, nematóides e anelídeos. São freqüentemente encontrados organismos de diversos gêneros, que podem ser agrupados de acordo com a Tabela 1.

As Figuras 3 a 5 são desenhos ampliados dos protozoários e micrometazoários mais freqüentes em lodos ativados.

Protozoários: predadores das bactérias, principalmente as livres do tipo *Vorticella*.

Tabela 1 Agrupamento de organismos de diversos gêneros

Grandes Grupos	Gêneros Frequentes
Classe Ciliata	
a) ciliados livre-natantes	<i>Paramecium, Colpidium, Linotus, Trachelophyllum, Amphileptus, Chilodonella</i>
b) ciliados penduculados	<i>Vorticella, Operculária, Epistylis, Charchesium</i> e as suctórias <i>Acineta e Podophyra</i>
c) ciliados livres, predadores do floco	<i>Aspidisca, Euplotes, Stylonychia, Oxytricha</i>
Classe mastigophora	<i>Bodo, Cercobodo, Mona sp., Oicomonas sp., Euglena sp., Cercomonas sp., Paranema</i>
Classe Sarcodina - Amebas	<i>Amoeba, Arcella, actinophrys, Vahlkampfi, Astramoeba, Difflugia, Cochliopodium</i>
Classe Rotifera - Rotíferos	<i>Philodina, Rotaria, Epiphanes</i>
Classe Nematoda – nematóides	<i>Rhabditis</i>
Classe Anelida - anelídeos	<i>Aelosoma</i>

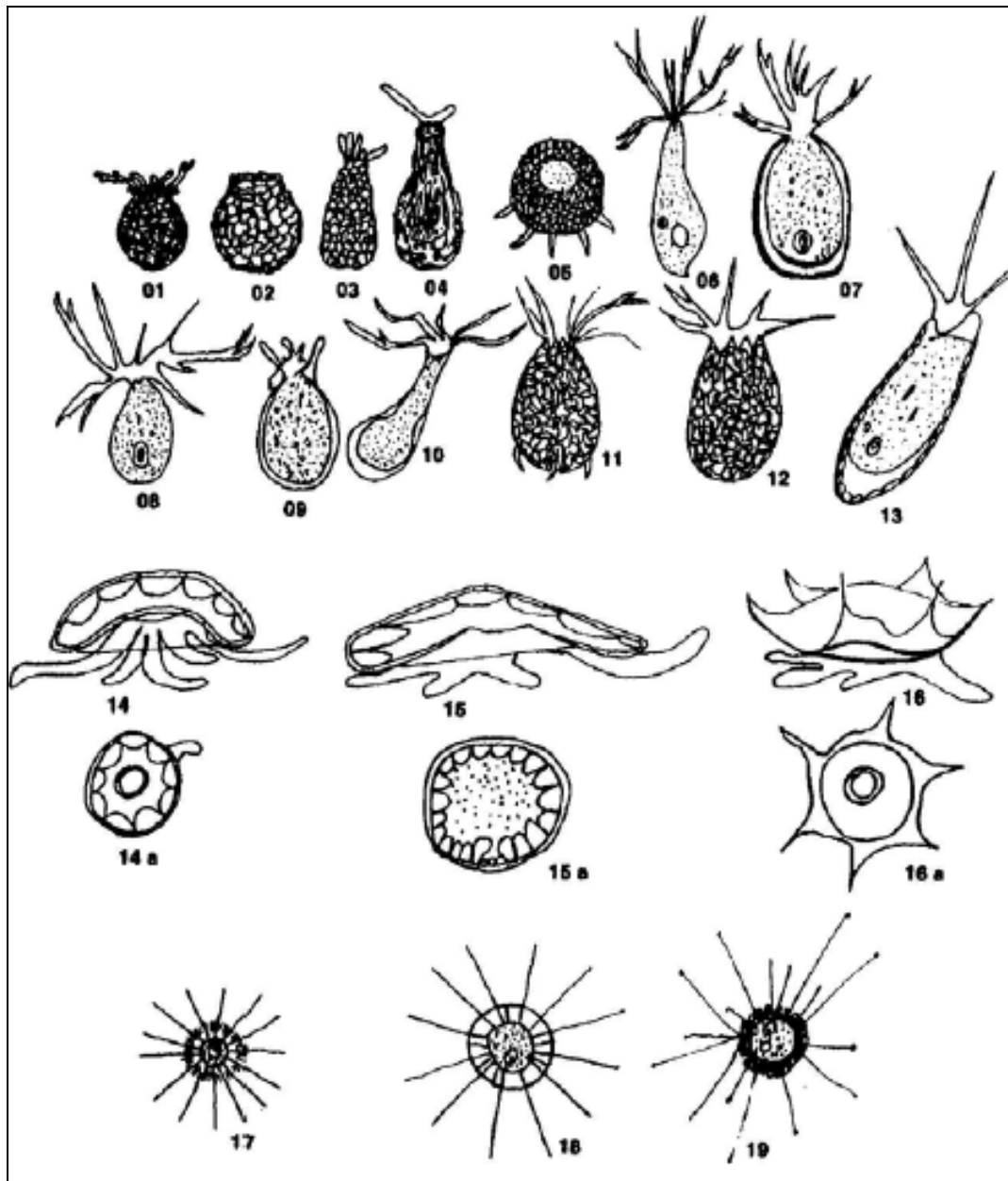


Figura 2 – Protozoários, Classe Sarcodina

- | | |
|--|---|
| 01. <i>Diffugia urceolata</i> – (200 – 300 μ m) | 12. <i>Euglypha tuberculosa</i> – (45-100 μ m) |
| 02. <i>Diffugia lebes</i> – (400 μ m) | 13. <i>Trinema lineare</i> – (35 μ m) |
| 03. <i>Diffugia oblonga</i> – (60 – 580 μ m) | 14. <i>Arcella vulgaris</i> – (30-100 μ m) |
| 04. <i>Diffugia bacillifera</i> – (145-160 μ m) | 14a Vista superior |
| 05. <i>Centrpyds aculeata</i> – (100 -150 μ m) | 15. <i>Arcella discóides</i> – (70-260 μ m) |
| 06. <i>Pamphagus mutabilis</i> – (40-100 μ m) | 15a Vista Superior |
| 07. <i>Chlamydomyces stercorea</i> (18-20 μ m) | 16. <i>Arcella dentada</i> – (95 μ m) |
| 08. <i>Chlamydomyces minor</i> – (17 μ m) | 16a Vista Superior |
| 09. <i>Cochlippodium bilirnbosum</i> – (24-56 μ m) | 17. <i>Heterophyruus myrlopoda</i> – (65-80 μ m) |
| 10. <i>Cyphoderia ampulla</i> – (60-200 μ m) | 18. <i>Astradisculus sp</i> (13-17 μ m) |
| 11. <i>Euglypha alveolata</i> – (50-100 μ m) | 19. <i>Pampholyxhopirys punicea</i> – (25-30 μ m) |

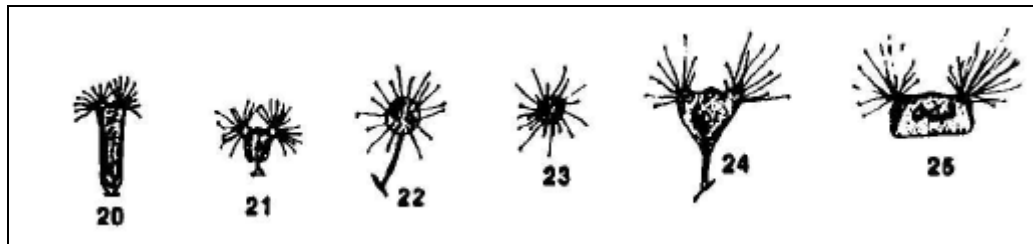


Figura 3 – Protozoários, Classe Ciliata

20. *Periacineta buckel* – (110 μ m)

21. *Acineta limneris* – (80 μ m)

22. *Podophrya fixa* – (40-60 μ m)

23. *Sphaerophya magna* – (75 μ m)

24. *Podophrya mollis* – (40 μ m)

25. *Anarma brevis* – (125 μ m)

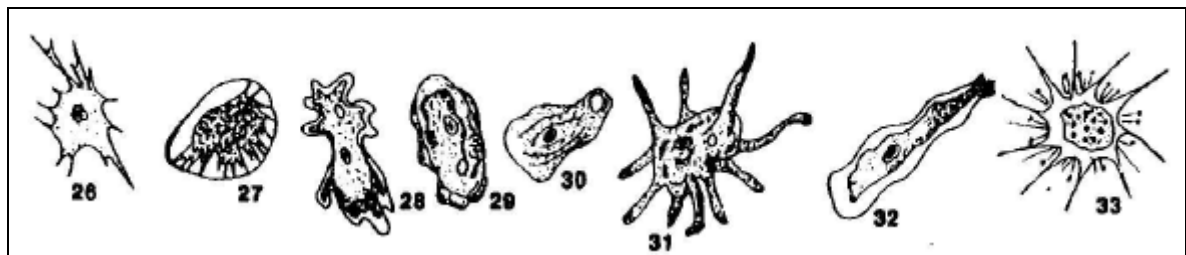


Figura 4 – Protozoários, Classe Sarcodina

26. *Nuclearia simplex* – (30 μ m)

27. *Hyalodiscus rubicundus* – (50-80 μ m)

28. *Amoeba proteus* – (100-600 μ m)

29. *Amoeba verrucosa* – (100-200 μ m)

30. *Amoeba striata* – (25-45 μ m)

31. *Amoeba radiosa* – (30-120 μ m)

32. *Amoeba limax* – (50-80 μ m)

33. *Vampyrella laterisia* – (30-40 μ m)

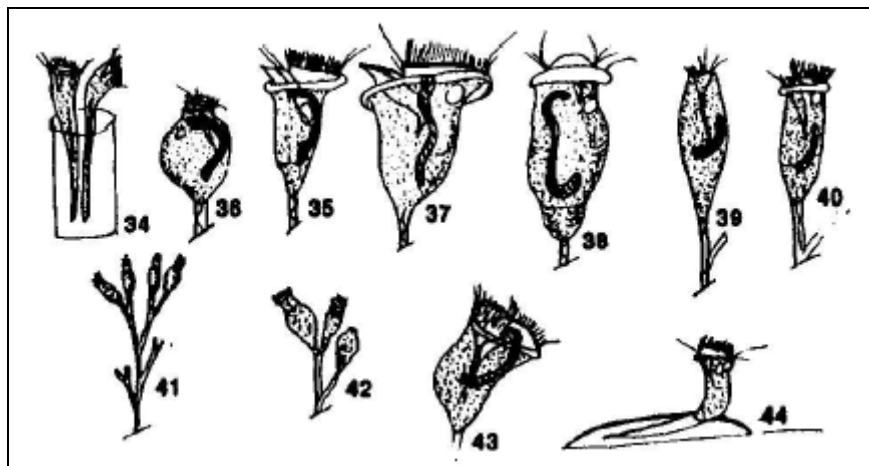


Figura 5 – Protozoários, Classe Ciliata

34. *Vaginicola sineta* – (85 μ m)
35. *Vorticella nebulifera* (var. *Similis*) – (40-90 μ m)
36. *Vorticella micróstoma* – (55 μ m)
37. *Vorticella campanuda* – (50 μ m)
38. *Vorticella aequilata* – (50 μ m)
39. *Opercularia coarctata* – (50 μ m)
40. *Zoothamnium arbusculas* – (4 μ m)
41. *Opercularia coarctata* – (50 μ m)
42. *Epistylis plicatilis* – (150 μ m)
43. *Carchesium polypinum* – (1,2 μ m)
44. *Platycola decumbens* – (90 μ m)

3.4 Adaptação da biomassa de processos biológicos

No tratamento de despejos da indústria de petróleo, em especial aqueles projetados para a remoção de poluentes específicos, torna-se necessária a adaptação da biomassa para que ela seja capaz de degradá-los. (Costa, 1999).

Os principais hidrocarbonetos aromáticos mononucleares encontrados em despejos provenientes da indústria de petróleo (benzeno e tolueno), por seguirem semelhantes caminhos metabólicos, parecem não apresentar quaisquer problemas de remoção em sistemas de lodos ativados devidamente adaptados. (Costa, 1999).

A adaptação tem a finalidade de proporcionar aos microrganismos a produção de novas enzimas apropriadas para minimizar o efeito deletério dos compostos tóxicos, denominados de inibidores ou metabolizá-los, através do desenvolvimento de estruturas enzimáticas por indução ou depressão da existente ou mutação genética (Costa, 1999).

Existem basicamente duas maneiras para adaptação de microrganismos:

- Adaptação por clonagem de genes, que é mais utilizado para culturas puras;

- Adaptação natural na própria estação de tratamento biológico.

O tempo necessário para a adaptação ocorrer com sucesso depende da fonte da biomassa utilizada, temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido, idade do lodo, etc.

A utilização de culturas de bactérias mantidas em contínua adaptação como suplemento adicional para biomassas adaptadas sujeitas à intermitência na alimentação do composto inibidor, representa uma excelente alternativa para melhorar o desempenho de sistemas de lodo ativados. Essa técnica é denominada de bioaumento. (Costa, 1999).

3.5 Respirometria

No sistema de lodo ativado um dos parâmetros operacionais mais importantes é a taxa de consumo de oxigênio (TCO) que representa a velocidade de respiração dos microrganismos presentes no sistema de tratamento. A respirometria trata da medição e interpretação da TCO em sistemas aeróbios de tratamento. A TCO é o parâmetro mais indicado para avaliar a toxicidade de um afluente, porque o lançamento de cargas tóxicas resultará numa diminuição da velocidade de consumo de oxigênio pelos microrganismos intoxicados e, portanto, da TCO.

Toxicidade no sistema de lodo ativado resulta numa diminuição da capacidade metabólica da biomassa, sem estar relacionada a uma diminuição da carga orgânica aplicada. O metabolismo ou utilização do material orgânico pelas bactérias nos sistemas de lodos ativados tem duas vertentes: (1) anabolismo, que é a conversão de material orgânico em massa bacteriana e (2) catabolismo, que é o consumo de oxigênio para oxidação de material orgânico e geração de energia, necessária ao anabolismo (Van Haandel e Marais, 1999).

Os resultados do metabolismo são o crescimento do lodo ativo (microrganismos) e o consumo de oxigênio. A velocidade com que o oxigênio é consumido ou a Taxa de Consumo de Oxigênio, TCO pode ser medida num teste respirométrico.

A TCO é um parâmetro muito importante para controle de operação e acompanhamento do desempenho de sistemas com lodo em suspensão, especificamente sistemas de lodo ativado. Uma diminuição do valor da TCO, quando não há redução da carga orgânica aplicada, pode ser indicativa da presença de substâncias tóxicas ou inibidoras no afluente. Nesse caso o teste respirométrico é também chamado de toximetria (Van Haandel et al, 1998).

A respirometria e, em particular, a metodologia proposta, pode ser justificada lembrando que, em um biorreator descontínuo aerado e agitado, o balanço material para o oxigênio pode ser escrito (1):

$$\frac{dC}{dt} = K_L a(C_s - C) - Q_{O_2} X \quad (1)$$

Onde:

C = concentração de oxigênio dissolvido (mg/L)

C_s = concentração de oxigênio dissolvido na saturação (mg/L)

$K_L a$ = coeficiente volumétrico de transferência de oxigênio (h^{-1})

Q_{O_2} = velocidade específica de respiração ($mgO_2/gcel.h$)

X = concentração celular (gcel/L)

t = tempo (h)

Desta forma, ao se interromper a aeração, imagina-se que a transferência de oxigênio para o líquido seja anulada ($K_L a=0$), de forma que:

$$\frac{dC}{dt} = -Q_{O_2} X \quad (2)$$

Caso o valor de $Q_{O_2} X$ possa ser considerado como constante, durante um pequeno intervalo de tempo e sem que se tenha limitação por oxigênio dissolvido, a equação anterior pode ser integrada, fornecendo (41):

$$C = C_0 - Q_{O_2} X * t \quad (3)$$

Onde:

C_0 = concentração de O_2 dissolvido no instante $t=0$

Essa equação indica que os valores anotados de C em função do tempo (t) devem se ajustar a uma reta, cujo coeficiente angular permite o cálculo de $Q_{O_2} X$ (1).

A relação linear deverá ser observada desde que realmente se tenha $K_L a$ desprezível, quando se interrompe o borbulhamento de ar, o que deve ocorrer com o frasco de 1 L, contendo esse volume de meio (pequena área exposta ao ar), agitação de 300 rpm e presença de chicanas para evitar a formação de vórtice.

Por outro lado, dada a presença de concentrações celulares não muito elevadas, além de se trabalhar com células com baixa velocidade específica de crescimento e, portanto, de baixa velocidade específica de respiração, não parece que será necessária uma maior preocupação com a inclusão do tempo de resposta da sonda neste tipo de determinação.

Conforme salientado os valores de $Q_{O_2} X$ podem ser divididos pela concentração celular (X), obtendo-se os valores de Q_{O_2} (expressos em $mgO_2/gcel.h$).

Capítulo IV

ESTADO DA ARTE

4. Estado da Arte

A separação de óleo por gravidade, através de um separador de óleo tipo API, é largamente utilizada para remoção de material menos denso que a água, como óleo flotável e graxas, ou material sedimentável (Ford, 1978). Os sólidos oleosos são separados por flotação gravitacional, enquanto a fração oleosa é removida pelo raspador, retornando à unidade de destilação básica.

Segundo Ford (1978), os principais fatores que determinam o projeto do separador de óleo são: a) densidade do óleo; b) densidade da água residuária; c) temperatura da água residuária; d) presença ou ausência de emulsões; e) concentração de sólidos em suspensão.

Na maioria das refinarias, as concentrações de óleos e graxas no despejo bruto são inferiores a 80 mg/L. Segundo Ford (1978), a separação de óleos em separadores API é uma das formas mais eficientes e econômicas para o tratamento de águas residuárias de refinarias de petróleo.

Poucos trabalhos foram realizados visando evidenciar a remoção de hidrocarbonetos aromáticos polinucleares por separadores API. Em revisão realizada pelo Ministério do Meio Ambiente de Ontário (OME, 1990), constatou-se que, entre os aromáticos polinucleares que apresentam maiores concentrações no despejo bruto estão: acenafteno, fluoreno, naftaleno e fenantreno. Segundo esta referência, a maior parte dos hidrocarbonetos aromáticos polinucleares são removidos no sistema API e pelos flotoadores com ar induzido.

O emprego de ar comprimido para flotação é, segundo Ford (1978), um processo habitual no tratamento de efluentes em refinarias de petróleo. Este sistema é, geralmente, precedido de um separador de óleo gravitacional que remove as maiores quantidades de óleo livre e de matéria em suspensão.

Emprega-se o ar comprimido para diminuir a densidade aparente dos sólidos. O método consiste na saturação do efluente líquido (total ou parcialmente) com ar, a uma pressão de 170 a 500 Pascal. Essa água pressurizada é mantida em um tanque por um período de aproximadamente dois minutos e, então, é liberada à pressão atmosférica no tanque de flotação. A rápida redução da pressão resulta na formação de bolhas de ar, de tamanho extremamente reduzido, que aderem às partículas em suspensão, sólidas e oleosas, que são recolhidas por meio de raspadores.

Para facilitar a agregação de bolha às partículas livres, várias refinarias de petróleo utilizam a coagulação e a floculação antes da flotação, obtendo-se a remoção de 70 a 75% de óleos e graxas, 50 a 85% de sólidos em suspensão e entre 20 e 70% de DBO.

O tratamento biológico é intensamente utilizado nos resíduos líquidos de refinarias. Filtros biológicos, lagoas aeradas e, principalmente lodos ativados, têm sido utilizados com bons resultados. Em algumas refinarias, o tratamento biológico tem-se limitado a efluentes específicos, geralmente contendo compostos fenólicos. Com as crescentes exigências legais, há uma forte tendência para o tratamento biológico do efluente total, excluindo somente águas pluviais de áreas livres de óleo.

Os compostos fenólicos são conhecidos como os principais contaminantes, junto com outros derivados de hidrocarbonetos. O tipo e a quantidade destas substâncias dependem inteiramente do processo de refino utilizado.

O respirômetro é um instrumento que permite a determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) em sistemas de tratamento aeróbio. Podem ser fechados (manométricos e/ou volumétricos), ou abertos (contínuos ou semicontínuos), sendo estes últimos mais utilizados atualmente visto que dispensam a interferência de operadores e determinam a TCO automaticamente.

A respirometria é utilizada para determinação de parâmetros cinéticos (Mathieu & Etienne, 2000), para avaliação da biodegradabilidade de efluentes (Orhon et al, 1995), para determinação da DBO rapidamente biodegradável (Xu & Hasselblad, 1996; Çokgor et al, 1998), identificação e quantificação da deficiência de nutrientes (Ning et al, 2000), controle de sistemas de lodo ativado (Spanjers et al, 1996), quantificação de cargas tóxicas (Bel et al, 1996), avaliação da atividade das bactérias nitrificantes (Ferreira, 2002), determinação de atividade e viabilidade das bactérias (Costa, 2002) e calibração de modelos (Vanrolleghem et al, 1999).

Capítulo V

Metodologia Experimental

5. Metodologia Experimental

5.1 Teste de estanqueidade

Testes de estanqueidade do sistema para a garantia das condições hidráulicas foram realizados, preenchendo-se com água todas as unidades constituintes, de modo a impedir a variação dos parâmetros operacionais estabelecidos, tais como: idade do lodo, vazões de alimentação, de descarte, de recirculação, etc., que influenciam diretamente nos resultados finais do trabalho.

5.2 Caracterização do efluente

Um efluente de refinaria de petróleo foi caracterizado, as amostras foram preservadas com a adição de ácido nítrico (HNO_3) e caracterizadas segundo as metodologias escritas por APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation).

Para a caracterização do Fenol utilizou-se o HPLC (High Precision Liquid Chromatography).

Dados:

Aparelho: Cromatógrafo líquido HPLC, com detector UV da Waters 484 ou 486.

Coluna: RP – 18 (5μ), 125 – 4 mm

Método: Padronização externa

Fase móvel: Solução Tampão pH = 2,95 (Hidróxido de Sódio, Acetonitrila, Ácido Fosfórico),

Fluxo: 1,0 mL/min

Volume de injeção: 20 μ L

Dados do detector da Waters:

Comprimento de onda: 254 nm

Filtro: 5,0

Sensibilidade: 2,0

Dados do Integrador da Waters 745 00 VARIAN 4290:

AT: 128

CS: 0,25

PW: 8

PT: 1000

MA: 1000

T1: 2

5.2.1 Marcha para a preparação da fase móvel

Prepararam-se duas soluções: na primeira solução pesou-se 12g de NaOH e dissolveu com água purificada e completou-se para 1000 mL em balão volumétrico. Para a segunda solução tomou-se 600 mL em um proveta e aferiu com acetonitrila HPLC. Homogeneizou-se. Em seguida toda a solução foi transferida para um béquer de 2000 mL e adicionou H_3PO_4 até atingir pH de 2,95, . Filtrou-se e desgaseificou-se.

5.2.2 Marcha para a preparação da solução padrão (100 ppm e 1 ppm)

Para a solução padrão de 100 ppm, pesou-se cerca de 0,1 g de fenol em béquer e dissolveu-se em aproximadamente 10 ML de metanol. Em seguida transferiu-se para um balão volumétrico de 1L e aferiu, filtrou-se e desgaseificou-se. Para a Solução padrão de 1 ppm, tomou-se 1 mL da solução de 100 ppm e diluiu-se para 100mL em balão volumétrico, filtrou-se e desgaseificou-se.

5.3 Respirometria

Um erlenmeyer de 1 L foi adaptado para permitir a entrada de um eletrodo de pH e um eletrodo para a medida da concentração de oxigênio dissolvido e temperatura. Este erlenmeyer foi colocado sobre um agitador magnético com aquecimento, de forma a permitir trabalhar sob frequência de agitação de 300 rpm, temperatura de 30°C e pH em torno de 7,0.

Tomou-se cerca de 1 Litro da suspensão de lodo, permitia-se a decantação dos sólidos e retirava-se o líquido sobrenadante.

A seguir, estes sólidos foram suspensos em água destilada, a fim de eliminar a influência de substâncias presentes no lodo, sendo esta operação repetida até se ter concentrações nulas de glicose e fenol. Suspenderam-se os sólidos lavados na solução de nutrientes, mostrada na tabela 1 abaixo, sem a adição da fonte de carbono (Glicose), de forma a se ter 1 L de suspensão, a qual era transferida para o erlenmeyer.

A suspensão foi aerada até próximo da saturação (7 mg O_2/L), quando então se eliminava a aeração, anotando a queda da concentração de oxigênio dissolvido em função do tempo. O valor obtido chamou-se de *respiração endógena*, a qual foi subtraída de todos os valores obtidos posteriormente.

Para a determinação da velocidade específica de consumo oxigênio, os experimentos foram divididos em duas etapas. Primeiramente, efetuaram-se pulsos com soluções contendo glicose para avaliar a faixa de concentração de glicose que não provocasse alteração significativa nos valores de QO_2 . Na segunda etapa, pulsos com soluções contendo glicose e

fenol foram realizados para avaliar a inibição da biomassa pela presença do composto tóxico (fenol). Após 2 minutos de homogeneização, tomava-se amostra para dosagem de glicose e fenol, eliminava-se a aeração e determinava-se novamente a queda da concentração de oxigênio dissolvido.

Estes pulsos e o restante do procedimento foram repetidos até a concentração máxima permitida.

Tabela 2 Meio Sintético Básico

Compostos	Concentração (mg/L)
MgSO ₄ . 7H ₂ O	41,7
KH ₂ PO ₄ ^b	25,3
NaHCO ₃	37,5
CaCl ₂	28,3
NH ₄ Cl	23,8

O meio sintético básico foi extraído da literatura e utilizado nestes experimentos, onde se encontra descrito na Tabela 1 (Xiong et al., 1998).

Dois tipos de materiais biológicos foram utilizados no desenvolvimento do trabalho. O primeiro material biológico foi coletado em uma Unidade de Tratamento de Esgoto Doméstico por Lodos Ativados da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Natal/RN). O segundo material biológico foi coletado de um Sistema de Lodos Ativados pertencente a uma Refinaria de Petróleo.

Ajustou-se aos dados experimentais obtidos os modelos cinéticos de Monod e Andrews

$$Q_{O_2} = Q_{O_2\max} * \frac{S}{K_s + S} \quad (4)$$

$$Q_{O_2} = Q_{O_2\max} * \frac{S}{K_s + S + S^2 / K_i} \quad (5)$$

onde:

Q_{O_2} = velocidade específica de respiração (mgO₂/gSSV.min)

$Q_{O_2\max}$ = velocidade específica máxima de respiração (mgO₂/gSSV.min)

S = concentração de substrato (mg/L)

K_s = constante de saturação (mg/L)

K_i = constante de inibição pelo substrato.

A Figura 6 abaixo representa um esquema simplificado do processo:

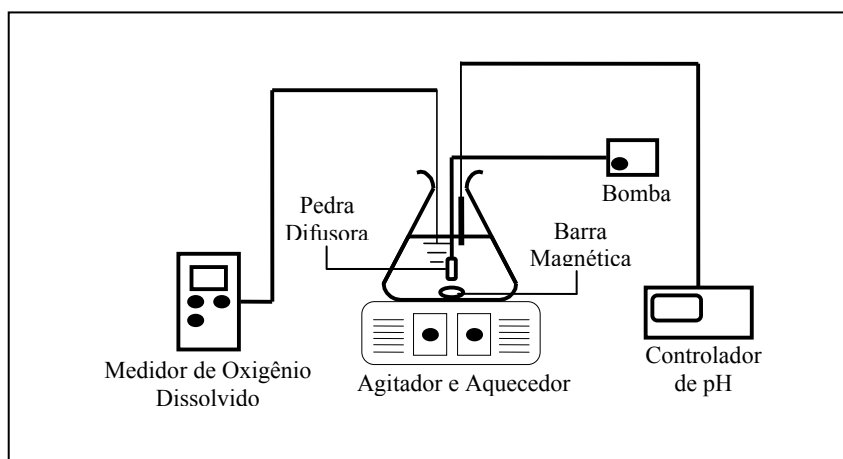


Figura 6 – Esquema simplificado para ensaios de respirometria

5.4 Concentração de sólidos suspensos

Tomou-se uma amostra do esgoto, agitou-se bastante e mediu-se 50 mL em uma proveta. Filtrou-se a amostra em uma bomba a vácuo, lavando o filtro com água destilada, filtrando também esta água de lavagem através da membrana. Secou-se o cadinho na estufa a 105°C durante 1 hora, esfriou-se no dessecador e pesou (P_1) em gramas. Levou a membrana para uma mufla a 600 °C durante 1 hora, até cinzas brancas. Esfriou-se no dessecado e pesou (P_2) em gramas.

Determinação dos sólidos suspensos totais (SST):

$$\frac{(P_1 - P_0) \times 1000000}{mL_{amostra}} = \text{mg/L de SST} \quad (6)$$

Determinação dos sólidos suspensos fixos (SSF):

$$\frac{(P_2 - P_0) * 1000000}{mL_{amostra}} = \text{mg/L de SSF} \quad (7)$$

Determinação dos sólidos suspensos voláteis (SSV):

$$\frac{(P_1 - P_2) * 1000000}{mL_{amostra}} = \text{mg/L de SSV ou SSV} = \text{SST} - \text{SSF} \quad (8)$$

Determinação de P_0 :

Secou-se a membrana na estufa a 105°C e transferiu-se para uma mufla secando a 600°C. Esfriou-se no dessecador e pesou (P_0) em gramas

5.5 Adaptação da biomassa

Para a adaptação da biomassa do sistema de lodos ativados, o método de adaptação natural será utilizado através da verificação das porcentagens de remoção de compostos

orgânicos refratários e nitrogênio amoniacal. Também serão realizadas determinações de sólidos em suspensão totais e voláteis dos conteúdos dos tanques de aeração para a avaliação do crescimento dos microrganismos (Costa,1999).

5.6 Descrição do sistema

As figuras 7 e 8 apresentam as configurações dos sistemas de lodo ativado que serão utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

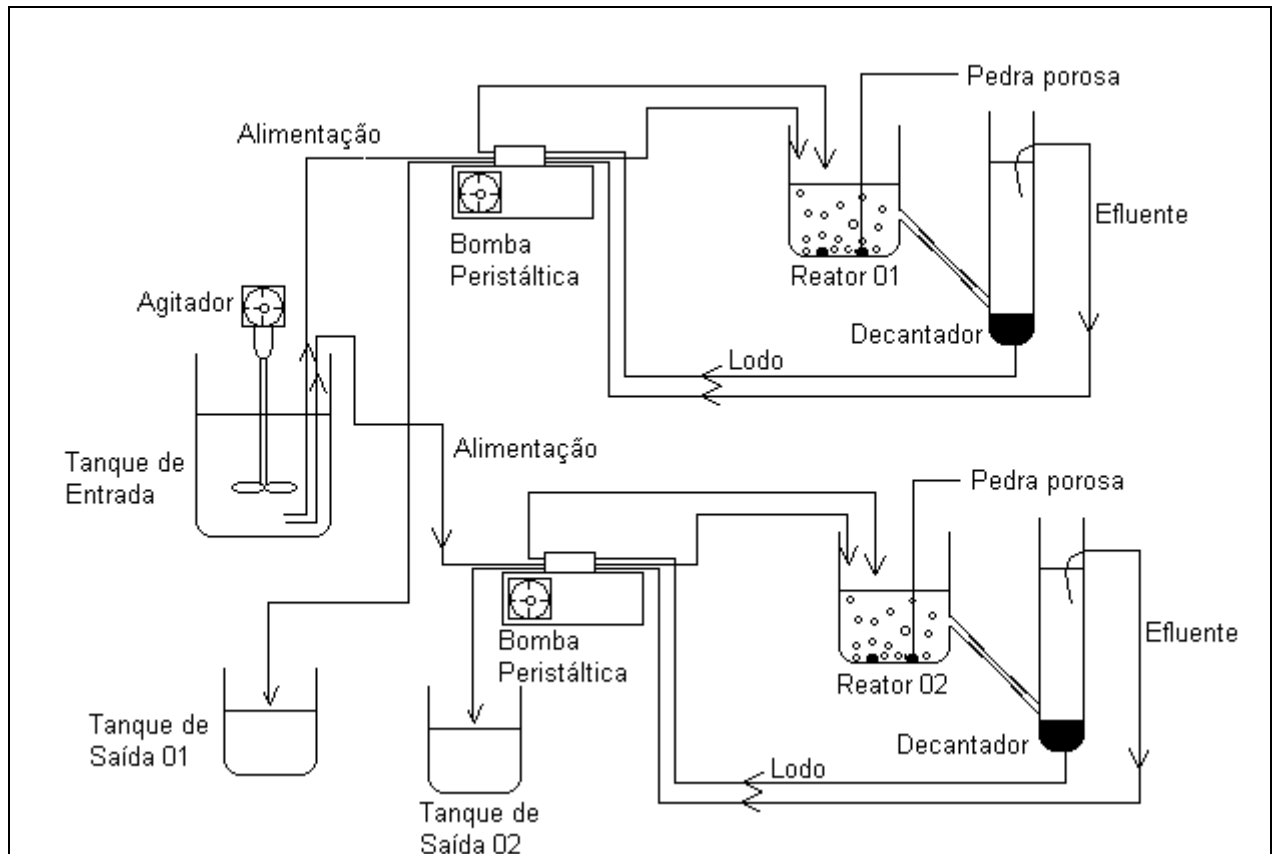


Figura 7 – Representação esquemática dos sistemas de lodos ativados operados em paralelo.

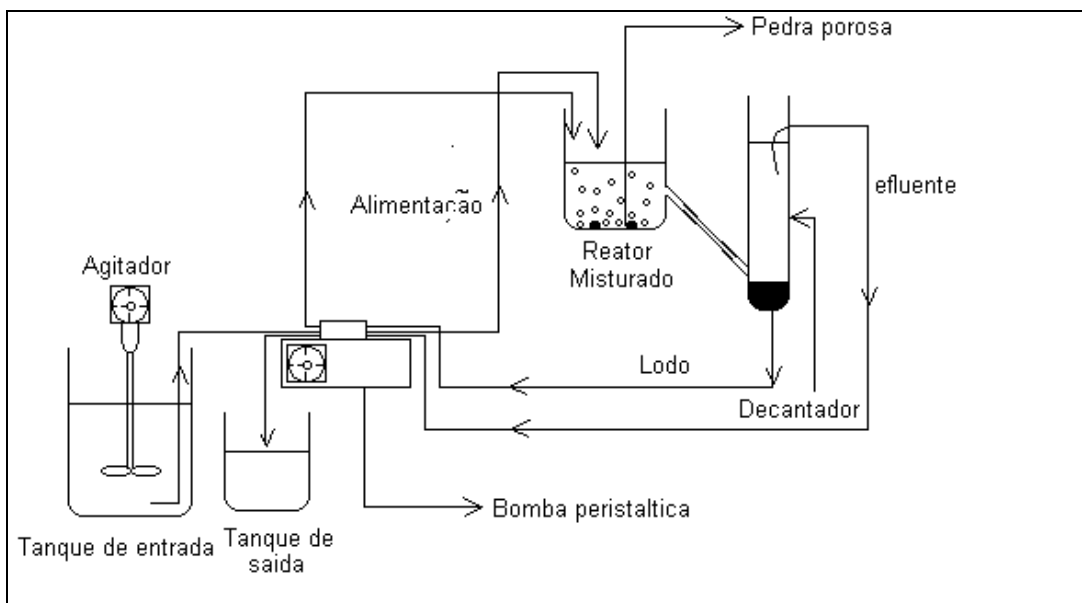


Figura 8 - Sistema de Lodo Ativado

Uma bomba peristáltica foi usada para alimentar o reator e recircular o lodo do decantador para o tanque de aeração, caracterizando uma razão de recirculação de 1:1. O lodo foi fornecido pela Chevron Oronite do Brasil LTDA e o sistema foi submetido à temperatura ambiente. Oxigênio dissolvido foi fornecido através de pedras porosas conectadas a bombas de aquários localizadas no fundo do reator. Os tubos de conexão foram lavados periodicamente com uma solução de NaClO para prevenir o crescimento de um filme microbiano dentro do tubo. A alimentação consistiu de uma solução sintética de fenol. O desempenho do reator foi avaliado pelo monitoramento dos seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV).

Capítulo VI

Resultados e Discussão

6. Resultados e Discussão

6.1 Testes de estanqueidade

Tabela 3 Testes de Estanqueidade nos sistemas de lodos ativados.

SISTEMA 1					SISTEMA 2				
Data	Rotação	Q _{ent} mL/min	Q _{saída} mL/min	Q _{recir} mL/min	Data	Rotação	Q _{ent} mL min	Q _{saída} mL/min	Q _{recir} mL/min
9/7/2003	14	5,66	5,56	7,50	9/7/2003	10	2,01	2,03	2,04
10/7/2003	13	4,00	3,95	3,75	10/7/2003	10	1,82	1,85	1,96
11/7/2003	14	4,44	4,51	4,41	11/7/2003	10	1,47	1,46	1,47
14/7/2003	14	4,48	4,48	4,05	14/7/2003	11	1,60	1,61	1,50
15/7/2003	15	5,00	4,96	4,44	15/7/2003	13	2,01	1,99	2,01
17/7/2003	14	4,47	4,47	4,29	16/7/2003	15	2,48	2,48	2,48
18/7/2003	13	3,51	3,38	3,66	17/7/2003	15	2,59	2,56	2,42
21/7/2003	14	4,29	4,22	4,41	18/7/2003	15	2,37	3,38	2,61
24/7/2003	14	4,54	4,48	4,69	21/7/2003	15	2,78	2,74	4,29
25/7/2003	14	3,95	3,90	4,11	24/7/2003	15	2,44	2,42	4,17
07/08/2003	18	4,69	4,84	4,92	25/7/2003	15	2,10	2,10	3,19

Foram realizados testes de estanqueidade para diferentes rotações empregadas nas Bombas Peristálticas, as vazões de entrada e saída no sistema 1 e no sistema 2 tiveram pequenas variações, onde estas variações não influenciarão nos resultados das pesquisas. Porém pode-se perceber através da tabela 1 que a recirculação apresenta altas variações, isto se deve aos entupimento das mangueiras, fazendo-se necessário o desentupimento das mesmas e aumentar a vazão do sistema para que não ocorra novas interrupções nos sistemas em pesquisa.

Esta proposta apresenta uma contribuição que visa minimizar o impacto ambiental causado pelos efluentes gerados na indústria de petróleo, através da otimização dos sistemas de tratamentos de efluentes para reduzir os teores de compostos orgânicos refratários e nitrogênio amoniacal, presentes nestes efluentes. A utilização de técnicas microbiológicas como forma de diminuir a carga poluente presente nos efluentes de refinarias de petróleo em níveis aceitáveis pela legislação ambiental, representa uma boa estratégia.

Diante das complexidades verificadas na operação em tempo real, com efluente real de uma refinaria de grande porte, este trabalho pretende coletar informações que venham a facilitar a otimização de tratamento destes efluentes nestas refinarias. Ainda, em posse de modelos aproximados à realidade de uma planta de tratamento biológico de efluentes de uma refinaria, serão calculados parâmetros cinéticos que permitem cálculos úteis à sua operação estável (Fica Piras, 2000).

6.2 Caracterização de efluente de refinaria de petróleo

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica para determinação dos principais compostos tóxicos presentes em efluentes de refinarias de petróleo. Com os resultados obtidos determinou-se o valor médio, a moda (valor mais freqüente), a faixa de variação dos principais constituintes existentes no efluente do tratamento biológico de efluentes de refinaria de petróleo (tabela 4)

Tabela 4 Caracterização de efluentes de refinarias de petróleo (Afluente do tratamento biológico).

Parâmetro (mg/L)	Valor médio (mg/L)	Moda (mg/L)
DQO	285,7	276
DBO	91,88	76
Acenafteno	0,0088	0,0088
Benzeno	0,528	0,528
Cianetos	0,495	0,08
Compostos fenólicos	7,35	2,3
Nitrogênio amoniacal	19,89	7,1
Naftaleno	0,752	0,752
Nitrato	0,06	0,02
Nitrito	0,06	0,028
Nitrobenzeno	0,07	0,07
Óleos e graxas	192,02	72
Sulfetos	1,52	1,2
Tolueno	0,188	0,188
Xileno	1,023	1,023

Operou-se em laboratório, distante de fontes geradoras, a partir de dados da literatura, assim como de dados preliminares a respeito da composição química do efluente. Utilizou-se uma solução sintética que fosse mais próxima possível da composição do efluente gerado em refinarias de petróleo com a finalidade de permitir o controle da variação dos principais agentes tóxicos e inibidores existentes nestes efluentes. A utilização desse tipo de despejo possibilitou a avaliação do processo de nitrificação nos sistemas de lodos ativados, assim como da biodegradação de compostos orgânicos refratários, permitindo uma maior flexibilidade e abrangência na execução dos estudos.

Para a caracterização do fenol, verificou-se uma concentração de 3,02mg/L de fenol, um valor expressivo, onde este efluente precisaria passar pelo tratamento para poder ser despejado em corpos d'água receptores e obedecer a legislação em vigor.

6.3 Ensaio respirométricos com lodo proveniente da indústria de petróleo do Estado de São Paulo.

Cinética de Inibição da Glicose

Através dos ensaios respirométricos realizados, determinou-se a variação da velocidade específica de respiração (QO₂) em função da concentração de glicose.

A tabela 5 nos mostra o efeito da concentração de glicose na velocidade específica de respiração em função da concentração de glicose.

Tabela 5 Efeito da concentração de glicose na velocidade específica de respiração.

<u>Glicose (mg/L)</u>	<u>QO₂ (mgO₂/L.min)</u>
0	0
443,14	0,061
530,40	0,057
817,16	0,057
1044,07	0,053
1365,73	0,053
1462,98	0,053
1692,38	0,053
1752,22	0,049
2173,63	0,046
2253,42	0,049
2688,74	0,046
2838,35	0,046
3002,92	0,042
3212,37	0,049
3287,18	0,053
3706,09	0,049
4409,25	0,046
5501,41	0,046

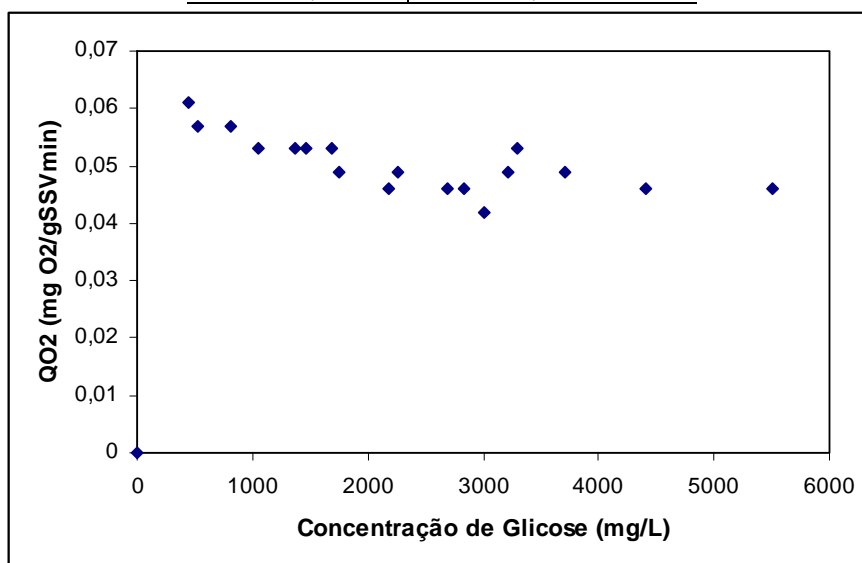


Figura 9 – Variação da concentração de glicose em função da velocidade específica de respiração.

Os resultados obtidos (Figura 9) mostraram que ocorreu uma pequena inibição da atividade microbiana (cerca de 20%) à medida que a concentração de glicose aumentou até 1752,22 mg/L. Para concentrações maiores de glicose (1752,22 até 5501,41 mg/L) não ocorreu alteração significativa nos valores de QO_2 , o que significa que a capacidade de degradação do lodo manteve-se aproximadamente constante.

Para quantificar o efeito da concentração de glicose na velocidade específica de respiração, foram realizados testes cinéticos por respirometria. Na figura 10 encontram-se os dados experimentais obtidos, assim como os ajustes dos modelos cinéticos em função da concentração de glicose.

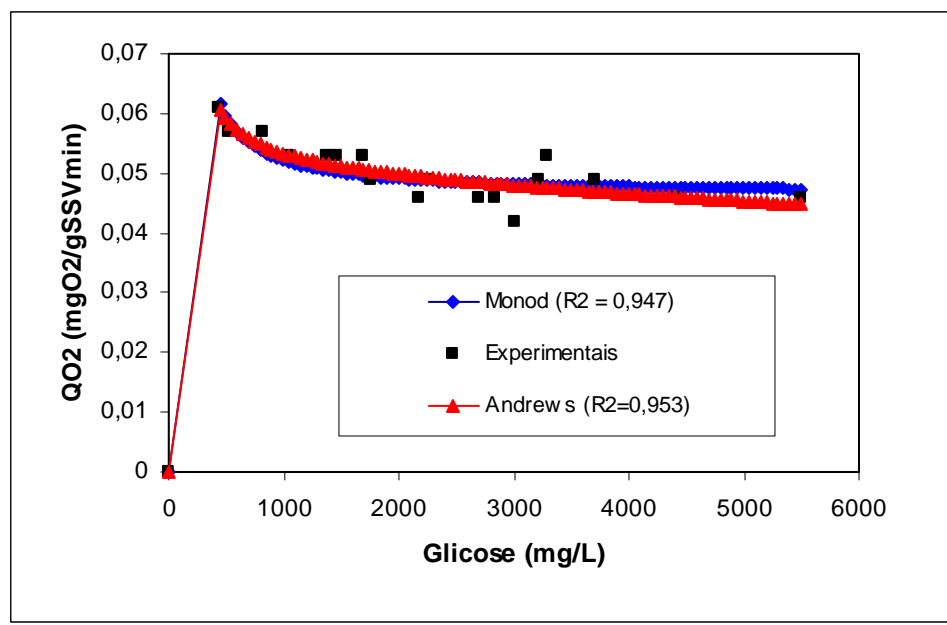


Figura 10. Resultados dos ensaios cinéticos obtidos pelos ensaios de respirometria e ajuste dos pontos experimentais aos modelos testados (Monod e Andrews).

Os resultados obtidos mostraram que tanto o modelo de Monod como o de Andrews ajustou bem os dados experimentais obtidos. Mostrando que para concentrações de glicose variando entre 100 e 800 mg/L não ocorreu alteração significativa na velocidade específica de respiração.

Comparando os valores preditos pelos modelos utilizados e os valores experimentais observados, constata-se que o modelo de Monod foi adequado para ajustar os pontos experimentais, demonstrando que para a faixa de concentração de glicose estudada, não ocorreu fenômeno de inibição pelo substrato. O modelo de Andrews foi capaz de ajustar os dados experimentais com eficiência, obtendo um coeficiente de correlação de 0,95. A Tabela 6 mostra os parâmetros estimados pelos Modelos de Monod e Andrews.

Tabela 6. Parâmetros estimados por ajuste aos dados experimentais.

Modelos	QO2max (mgO2/gSSVmin)	Ks (mg/L)	Ki	R2
Monod	0,046	-110,58	-	0,95
Andrews	0,050	- 80,58	39067,07	0,98

Cinética de Inibição do fenol

Através de ensaios respirométricos determinou-se a toxicidade do fenol na presença de glicose para um lodo proveniente de uma refinaria de petróleo.

A Figura 11 mostra os valores da velocidade específica de respiração em função da concentração de fenol.

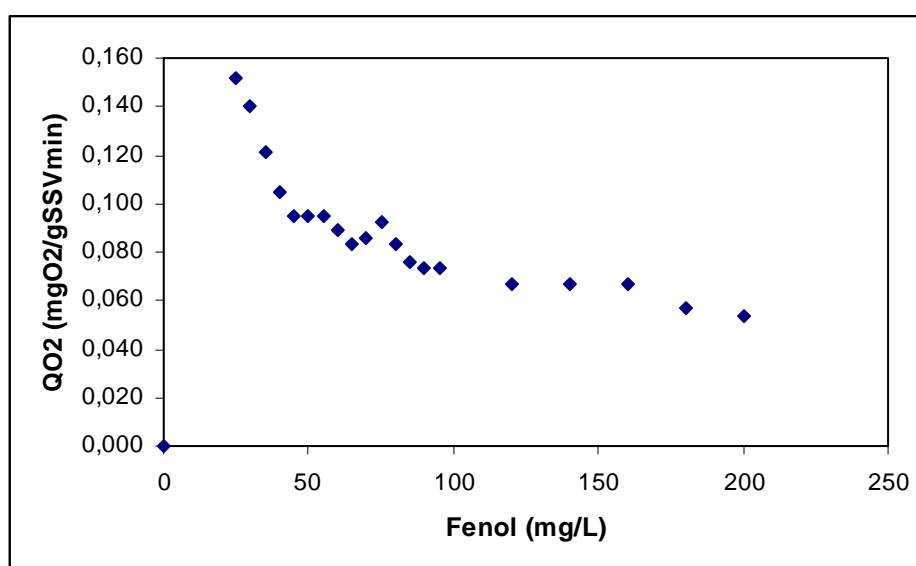


Figura 11 Variação da concentração de fenol em função da velocidade específica de respiração.

De acordo com os resultados obtidos, percebe-se que com o aumento da concentração de fenol, ocorreu uma diminuição drástica na capacidade de degradação da biomassa. Para uma concentração de fenol de 200 mg/L, foi verificada uma inibição da capacidade de degradação da biomassa ativa de cerca de 65%.

O efeito da concentração de fenol na velocidade de respiração foi avaliado através de testes cinéticos por respirometria. Na figura 12 encontram-se os dados experimentais obtidos, assim como os ajustes dos modelos cinéticos.

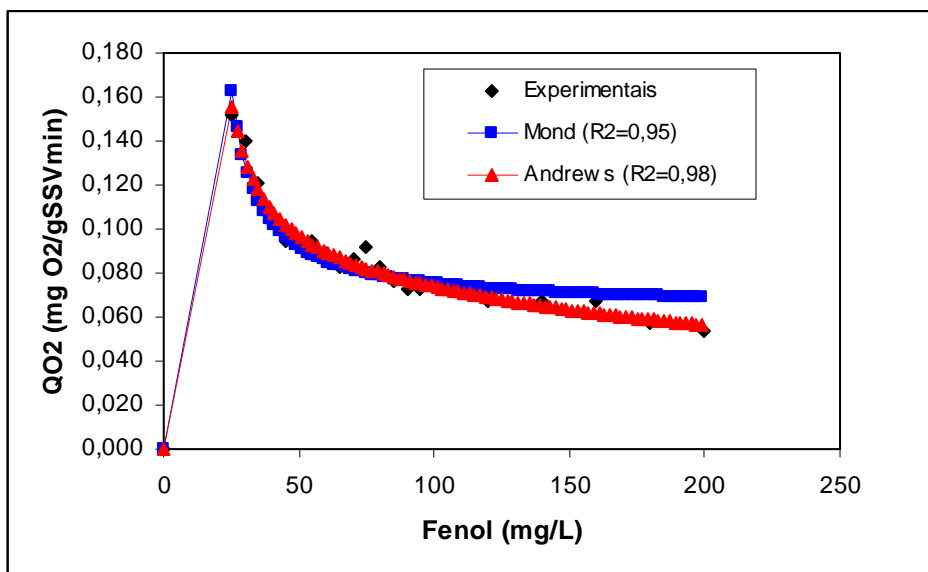


Figura 12 Resultado dos ensaios cinéticos obtidos pelos ensaios de respirometria e ajuste dos pontos experimentais aos modelos testados (Monod e Andrews).

Os resultados obtidos mostraram que tanto o modelo de Monod como o de Andrews ajustou bem os dados experimentais obtidos. O melhor ajuste dos dados experimentais foi com o modelo de Andrews ($R^2 = 0,98$), devido ao efeito de inibição pelo substrato. A Tabela 7 mostra os parâmetros estimados pelos Modelos de Monod e Andrews.

Tabela 7 Parâmetros estimados por ajuste aos dados experimentais.

Modelos	$QO2_{max}$ (mgO2/gSSVmin)	K_s (mg/L)	K_i	R^2
Monod	0,064	-15,20	-	0,95
Andrews	0,087	-12,99	330,18	0,98

Capítulo VII

Cronograma de execução

Tabela 8 Cronograma de Execução

Ano	2002	2003		2004
Atividades / Semestre	2º	1º	2º	1º
1- Disciplinas				
2- Revisão Bibliográfica				
3- Implantação da Metodologia				
4- Caracterização de um efluente de refinaria de petróleo				
5- Ensaios Respirométricos para determinação da Toxicidade de compostos orgânicos recalcitrantes				
6- Adaptação do Lodo Biológico				
7- Análise Resultados				
8- Publicação – Congresso Nacional, Internacional e Periódicos				
9- Estágio Supervisionado				

De acordo com o cronograma apresentado na Tabela 8, todas as atividades foram cumpridas de acordo com o prazo estabelecido.

Capítulo VII

Conclusões

7. Conclusões

A determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio - TCO, medida continuamente, é um bom parâmetro para avaliar a atividade biológica do sistema de lodo ativado, se comparado com os demais testes que se conhece até o momento como, por exemplo, a turbidez ou a concentração de material orgânico do afluente ou ainda a produção de lodo no sistema.

Neste trabalho os ensaios respirométricos utilizando o lodo industrial de refinaria de petróleo do Estado de São Paulo mostrou-se de grande eficiência para a biodegradação do fenol, para isto foi utilizada a equação de Andrews, que permite caracterizar a potenciabilidade da biodegradação do fenol e sua inibição em relação ao lodo biológico. Os resultados apresentaram uma constante de inibição (K_i) igual a 330,18.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 18 ed. Washington D.C., 1992 1316p.

BEL, M.; STOKES, L.; UPTON, J.; WATTS, J. Applications of Respirometry based toxicity monitor. *Water Science and Technology*, v 33, n 1, p 289-296, 1996.

ÇOKGOR, E. U.; SOZEN, S.; ORHON, D.; HENZE, M. Respirometric analysis of activated sludge behaviour – I. Assessment of the readily biodegradable substrate. *Water Research*, v 32, n 2, p 461-475, 1998.

COSTA, A. J. M. P. Estudo de Tratabilidade de água Residuária Sintética Simulando Despejo Líquido de Coquearias. 1999. 207f. Tese (Doutorado em Engenharia), Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo. São Paulo.

COSTA, A. G. (2002). *Respirometria aplicada ao sistema de lodo ativado: influência de interrupções da oxigenação sobre a viabilidade e atividade do lodo ativo*. 2002. 84f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba.

DAMATO, M. Estudo da Influência do Nível de Tratamento de Efluentes de Refinaria de Petróleo na sua Toxicidade, Empregando Diferentes Espécies Indicadora. 1997. 336f. Tese (Doutorado em Engenharia), Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo. São Paulo.

FERREIRA, A.F. *Uso da respirometria na avaliação da influência do pH sobre a capacidade ativa das bactérias nitrificantes*. 2002. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba.

Fica Piras, P.R. Estudos Sobre Nitrificação de Efluentes de Refinaria em Biorreatores Trifásicos. 2000. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia), Departamento de engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro.

FORD, D.L. Water pollution control in the petroleum industry. In: AZAD, H.S., ed. *Industrial wastewater management handbook*. New York, McGraw-Hill, 1978. 75p.

MATHIEU, S. & ETIENNE, P. Estimation of wastewater biodegradable COD factions by combining respirometric experiments in various So/Xo ratios. *Water Research*, v 34, n4, p 1233-1246, 2000.

METCALF & EDDY, INC. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 3. ed. Singapore, McGraw-Hill, 1991.

NING, Z.; PATRY, G.G.; SPANJERS, H. Identification and quantification of nitrogen nutrient deficiency in the activated sludge process in the activated sludge process using Respirometry. *Water Research*, v 34, n 13, p 3345-3354, 2000.

ORHON, D.; YILDIZ, G; ÇOGKOR, E. U.; SOZEN, S. Respirometric evaluation of the biodegradability of confectionary wastewaters. *Water Science and Technology*, v 32, n 12, p 11 – 19, 1995.

SANTIAGO, V. M. Tratamento biológico em efluente de refinaria. Estudo em escala piloto. In: 13º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 38f, 1985, Maceió.

SPANJERS, H.; VANROLLEGHEM, P.; OLSSON, G.; DOLD, P. Respirometry in control of the activated sludge process. *Water Science and Technology*, v 34, n 3-4, p 117-126, 1996.

VAN HAANDEL, A.V.; MORAIS, G. *O comportamento do sistema de lodo ativado*. Campina Grande, egraf, 1999. 488p.

VANROLLEGHEM, P.A.; SPANJERS, H.; PETERSEN, B; GINESTET, P.; TAKACS, I. Estimation (combinations of) activated sludge model no 1 parameters and components by Respirometry. *Water Science and Technology*, v 39, n 1, p 195-214, 1999.

XIONG, X., HIRATA, M., TAKANASHI, H., LEE, M., HANO, T. (1998). Analysis of Acclimation Behavior Against Nitrification Inhibitors in Activated Sludge Process. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, v. 86(2), 207-214.

XU, S. & HASSELBLAD, S. A simple biological method to estimate the readily biodegradable organic matter in wastewater. *Water Research*, v 30, n 4, p 1023-1025, 1996.

Anexo I
Relatório de Estágio



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

***ENSAIOS PARA ESPECIFICAÇÃO DE
ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA
PARA ASSENTAMENTO DE PLACAS DE
CERÂMICA***

Aluno: MÁRCIO SILVA BEZERRA

**Orientadores: ELISA MARIA BITENCOURTT DUTRA DE SOUZA
MARIDÉLIA TETÉO MORENO**

**Macaíba - RN
Setembro / 2004**

Márcio Silva Bezerra

Relatório de Estágio Supervisionado Realizado na Industrial Potengy Ltda.

***ENSAIOS PARA ESPECIFICAÇÃO DE
ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA
PARA ASSENTAMENTO DE PLACAS DE
CERÂMICA***

**“Sempre que puder, converse
com um saco de cimento. Nesta
vida só podemos acreditar
naquilo que um dia pode ser
concreto”.**

(autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma conquista, aos meus pais pelo incentivo e apoio em todas as minhas decisões, aos professores, em especial a professora Gorete Ribeiro de Macedo, principal responsável por minha formação profissional e educacional durante a graduação; a professora Elisa Bittencourt, minha orientadora durante o estágio, a engenheira química Maridélia Tetéo Moreno, orientadora na empresa e amiga, a todos da Industrial Potengy, especialmente a Andréa Camelo por ter me concedido a oportunidade de estágio, aos meus amigos Wagner Luis Novaes de Lima, Kalyanne Keyly Pereira Gomes, Valdêmia Silva de Araújo e Pedro Paulo Pessoa Moreno pelas horas de estudos que passamos juntos, aos meus amigos que compreenderam a minha ausência em datas comemorativas e importantes, ao CNPQ e ANP pelo apoio financeiro durante a graduação, enfim, o meu muito obrigado a todos que contribuíram para mais esta vitória.

Márcio Silva Bezerra

ÍNDICE

1. RESUMO.....	9
2. INTRODUÇÃO.....	11
3. HISTÓRICO DA EMPRESA	14
4. ESTADO DA ARTE	16
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
<u>5.1 ARGAMASSA.....</u>	20
<u>5.2 AGLOMERANTES.....</u>	20
<u>5.3 A CAL.....</u>	21
<u>5.4 AGREGADOS</u>	22
<u>5.5 ADITIVOS.....</u>	22
<u>5.5.1 Éteres de Celulose.....</u>	22
<u>5.5.2 Acetato de vinila e etileno.....</u>	23
<u>5.6 FLUXOGRAMA DE BLOCOS PARA A FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIAL.....</u>	24
<u>5.7 COMPARATIVO DA ARGAMASSA MISTA FEITA EM OBRA COM ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIAL</u>	25
<u>5.8 PROPRIEDADES MECÂNICAS</u>	26
6. ATIVIDADES REALIZADAS	29
<u>6.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA</u>	29
<u>6.1.1 MATERIAL NECESSÁRIO</u>	29
<u>6.1.2 METODOLOGIA.....</u>	29
<u>6.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	30
<u>6.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PADRÃO</u>	33
<u>6.2.1 MATERIAL NECESSÁRIO</u>	34
<u>6.2.2 METODOLOGIA.....</u>	34
<u>6.2.2.1 Preparo da Argamassa</u>	34
<u>6.2.2.2 Mesa para índice de consistência.....</u>	34
<u>6.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM ABERTO.....</u>	37
<u>6.3.1 MATERIAL NECESSÁRIO</u>	37
<u>6.3.2 METODOLOGIA.....</u>	37
<u>6.3.2.1 Preparo da Argamassa.....</u>	37
<u>6.3.2.2 Aplicação da argamassa colante em cordões sobre o substrato padrão</u>	37
<u>6.3.2.3 Colagem das peças cerâmicas sobre a argamassa colante estendida em cordões.</u>	38
<u>6.3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	39
<u>6.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA PARA ASSENTAMENTO DE PLACAS DE CERÂMICA</u>	42
<u>6.4.1 MATERIAL NECESSÁRIO</u>	42
<u>6.4.2 METODOLOGIA.....</u>	42
<u>6.4.2.1 Preparo da Argamassa</u>	42

6.4.2.2 Substrato-padrão.....	43
6.4.2.3 Equipamento de Tração.....	43
6.4.2.4 Cola.....	43
6.4.2.5 Colagem das pastilhas.....	43
6.4.2.6 Tempo de Cura.....	44
6.4.2.7 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA.....	44
6.4.3 <i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	45
6.5 DETERMINAÇÃO DO DESLIZAMENTO PARA ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA PARA ASSENTAMENTO DE PLACAS DE CERÂMICA.....	50
6.5.1 <i>MATERIAIS UTILIZADOS</i>	50
6.5.2 <i>METODOLOGIA</i>	50
7. CONCLUSÃO	54
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 01 – REQUISITOS DE ARGAMASSA COLANTE	27
TABELA 02 – RESULTADOS DA GRANULOMETRIA OBTIDA PARA ARGAMASSA AC-I.....	30
TABELA 03 – RESULTADOS DA GRANULOMETRIA OBTIDA PARA ARGAMASSA AC-II	30
TABELA 04 – RESULTADOS DA GRANULOMETRIA OBTIDA PARA ARGAMASSA AC-III.....	31
TABELA 05 – RESULTADOS DA GRANULOMETRIA OBTIDA PARA ARGAMASSA AC-III-E	31
TABELA 06 – VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE CONSISTÊNCIA-PADRÃO	36
TABELA 07 – RESULTADO DAS TENSÕES EM TEMPO EM ABERTO EM 28 DIAS	40
TABELA 08 – INTERVALO DE TEMPO PARA ASSENTAMENTO DAS CERÂMICAS PARA CADA TIPO DE ARGAMASSA	43
TABELA 09 – TOLERÂNCIA ADMISSÍVEL PARA O CONDICIONAMENTO EM PERÍODO DE CURA NORMAL.....	44
TABELA 10 – RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE PLACAS ASSENTADAS COM ARGAMASSA AC-I.....	45
TABELA 11 – RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE PLACAS ASSENTADAS COM ARGAMASSA AC-II	46
TABELA 12 – RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE PLACAS ASSENTADAS COM ARGAMASSA AC-III.....	47
TABELA 13 – RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DE PLACAS ASSENTADAS COM ARGAMASSA AC-III-E	48
TABELA 14 – RESULTADOS DE ENSAIO DE DESLIZAMENTO PARA A ARGAMASSA DO TIPO AC-I.....	52
TABELA 15 – RESULTADOS DE ENSAIO DE DESLIZAMENTO PARA A ARGAMASSA DO TIPO AC-II.....	52
TABELA 16 – RESULTADOS DE ENSAIO DE DESLIZAMENTO PARA A ARGAMASSA DO TIPO AC-III	52
TABELA 17 – RESULTADOS DE ENSAIO DE DESLIZAMENTO PARA A ARGAMASSA DO TIPO AC-III-E.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01	Fluxograma de blocos da fabricação de argamassa industrial	24
Figura 02	Fluxograma dos processos para argamassa mista preparada em obra	25
Figura 03	Fluxograma dos processos para a argamassa industrializada em saco	26
Figura 04	Gráfico da Análise Granulométrica AC-I	32
Figura 05	Gráfico da Análise Granulométrica AC-II	32
Figura 06	Gráfico da Análise Granulométrica AC-III	32
Figura 07	Gráfico da Análise Granulométrica AC-I	32
Figura 08	Gráfico do tempo em aberto para a cerâmica Eliane	40
Figura 09	Gráfico do tempo em aberto para a cerâmica Porto Belo	40
Figura 10	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC I utilizando cerâmica Eliane	45
Figura 11	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC I utilizando cerâmica Porto Belo	46
Figura 12	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC II utilizando cerâmica Eliane	46
Figura 13	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC II utilizando cerâmica Porto Belo	47
Figura 14	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC III utilizando cerâmica Eliane	47
Figura 15	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC III utilizando cerâmica Porto Belo	48
Figura 16	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC III-E utilizando cerâmica Eliane	48
Figura 17	Gráfico da Resistência de Aderência para a argamassa AC III-E utilizando cerâmica Porto Belo	49

RESUMO

1. RESUMO

Este relatório reporta o estágio realizado na INDUSTRIAL POTENGY Ltda., no período de 17 de maio a 10 de setembro de 2004.

Neste período foram realizadas as seguintes atividades: revisão bibliográfica, conhecimento dos produtos da empresa, formulação para argamassas colantes industrializadas, ensaios laboratoriais de umidade e granulometria, *flow table* para determinação do teor de água e obtenção do índice de consistência padrão, tempo em aberto, deslizamento e resistência de aderência a 28 dias em tempo de cura normal. Durante o estágio também foram realizadas algumas visitas técnicas, estas visitas tinham por objetivo retificar alguns erros ocasionados pelos operários da obra, como também avaliar qualitativamente o produto fornecido. No decurso das visitas também eram realizados ensaios de resistência à aderência *in situ*.

INTRODUÇÃO

2. INTRODUÇÃO

A necessidade de reduzir os custos da construção de imóveis, eliminando os fatores que provocam desperdício no canteiro de obras, fez aumentar em 8% a procura pela argamassa industrializada, no último ano. O produto, que começou a ser fabricado no Brasil ainda na década de 90, permite eliminar em até 80% as perdas provocadas pela argamassa misturada no canteiro de obra, que chegam aos 50%, segundo pesquisa da USP. A demanda tem sido tanta que só neste ano de 2004 foram lançados mais de 30 diferentes tipos de argamassa industrializada, todavia deve ficar atento para a qualidade do produto fabricado.

As argamassas industrializadas são mais fáceis de trabalhar, passam por um controle rigoroso e, portanto, tem mais qualidade. Atualmente, existem alternativas de argamassa industrializada para contrapisos, revestimentos, internos e externos, assentamento de alvenaria, decoração, texturas, entre outros. O aumento do consumo desta argamassa industrializada deve-se a aplicação no assentamento de placas cerâmicas. Até pouco tempo atrás, só se usava o produto convencional, feito na obra.

Hoje em dia, praticamente, só se usa argamassa colante, pois o meio técnico ficou convencido de seu melhor desempenho, mesmo que isso represente um pequeno aumento nos custos diretos do material.

Uma das principais vantagens da argamassa industrializada, a redução do desperdício, se deve ao fato de que a mistura industrializada rende até 40% mais que a feita na obra. O principal motivo disso é a falta de controle dos materiais usados e do alto teor de inchamento da areia utilizada na argamassa produzida em obra. A argamassa industrializada é composta por areia seca, com teor de inchamento próximo de zero e vazios reduzidos entre os grãos. Além disso, leva aditivos que melhoram o seu desempenho, uma outra vantagem das argamassas industrializadas está relacionada ao aumento da produtividade da mão-de-obra. Isso porque o produto é fornecido ensacado e paletizado, gerando uma economia na mão-de-obra que transporta os insumos básicos para produção da argamassa na obra. O tempo em que o operário perde para levar o carrinho de areia para ser misturado com o cimento e água significa um acréscimo de aproximadamente 30% sobre o custo de cada saco de areia. O uso do material

industrializado agrega uma mudança na logística do canteiro, uma vez que permite o transporte horizontal de insumos e a conseqüente redução do espaço de estoque.

A proposta de estágio foi à obtenção de dados para a ratificação das especificações exigidas para a argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas, estes ensaios deveriam confirmar os dados impressos na embalagem para cada tipo de argamassa, assim como as exigências mecânicas de acordo com as normas impostas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

***HISTÓRICO
DA EMPRESA***

3. HISTÓRICO DA EMPRESA

Fundada em 1996 por Alexandre José da Costa (*in memorian*), a Industrial Potengy, localizada no município de Macaíba, Rio Grande do Norte, vem se solidificando cada vez mais no mercado com seus produtos de excelente qualidade. A Industrial Potengy fabrica a argamassa colante industrializada mais consumida no Estado - a Fortcola, sendo responsável por 80% do mercado consumidor.

A Industrial Potengy também fabrica tintas e derivados, todavia este relatório apenas descreve a sua linha pó, enfocando a argamassa colante industrializada de assentamento.

O quadro de funcionários é composto de 55 pessoas, sendo 6 funcionários na área administrativa e expedição, 16 funcionários distribuídos entre motoristas e ajudantes dos motoristas, 21 funcionários na produção de argamassa, 1 mecânico, 1 engenheiro químico, 4 porteiros e 1 ASG, 5 vendedores externos, outros serviços que a empresa utiliza são terceirizados.

No ano de 2002, a Industrial Potengy certificou os seus produtos com a ISO 9001, sendo a primeira argamassa do Estado a se comprometer com a satisfação dos seus clientes, fazendo treinamentos com seus funcionários para agilizar as entregas e padronizar os seus produtos com qualidade. É com esta filosofia que a Industrial Potengy cresce a cada dia, ganhando maior espaço no mercado e sendo reconhecida pelos seus produtos.

***ESTADO
DA ARTE***

4. ESTADO DA ARTE

No princípio o homem habitou em cavernas, porém sentiu necessidade construir um abrigo. O homem escavou montanhas e morros, todavia estes abrigos se transformavam em armadilhas, caindo sobre eles e soterrando-os. Passou o homem a construir abrigos com rochas de encaixe perfeito. Como tempo estas pedras foram ficando escassas e começou a utilizar rochas imperfeitas que davam um trabalho para uni-las. Então, estes homens da pré-história começaram a utilizar o barro para que pudessem compensar as imperfeições ocasionadas por estas rochas. A princípio o homem obteve essa argamassa nos rios, lagos, e outras fontes de águas próximas, porém com o decorrer dos tempos ele foi obrigado a criar uma argamassa local onde construía o abrigo, cavando poços para obtenção de água, e utilizando terra local.

Com a escassez das pedras disponíveis e soltas na superfície o homem começou a ter novamente dificuldade em obter moradia, pois sem ferramentas não conseguia tirar das rochas as peças necessárias para seus abrigos. Nesse período nasce a utilização de elementos mistos para a fabricação de abrigos tais como as construções tipo taipas, (onde se utiliza além do barro, caibros de madeira, cipós, etc.) que podemos dizer serem percussores do cimento armados e do hoje tão bem conhecido, o concreto.

As necessidades do homem foram ficando cada vez maiores e as casas de taipas já não eram seguras e nesse período o homem já havia descoberto a maneira rudimentar de fazer tijolos, e começa a era das casas parecidas com as que conhecemos hoje.

O homem passa a conhecer a cal, pois em alguns locais onde eram feitas fogueiras, o solo era de calcário, aparecia então um elemento que na presença de areia e da água proporcionava uma mistura bem plástica e que depois de seca dificilmente se decompunha.

Mesmo rudimentar o homem passou a obter a cal e conseqüentemente melhores abrigos.

É na Roma antiga que se começa à utilização do cimento natural, obtido de cinzas vulcânicas e calcário.

O registro oficial das argamassas modernas usando cal e cimento tem início no ano de 1756, quando na Inglaterra John Smeaton foi encarregado da reconstrução do palácio da Rock Light. O resultado neste episódio foi favorável ao uso da cal que surgiu como resultado da queima de calcário existente no sul da Inglaterra.

Em 1811, ainda na Inglaterra, James Parker, patenteou um material aglomerante, tipo cimento hidráulico, citado como semelhante ao cimento romano que eram encontrados em ilhas vulcânicas.

Em 1823 a técnica de misturar os ingredientes das argamassas passa a ser difundida segundo a maneira e ordem de colocação dos materiais.

Em 1824 José Aspdin na cidade de Leeds, calcinou um calcário duro, e misturou com argila e procedeu a queima e a requeima e estava assim inventado o cimento tipo Portland.

No Séc. XX o avanço e o conhecimento científico e técnico colocou a disposição dos construtores, aditivos químicos, aglomerantes e outros insumos que tanto melhoraram as argamassas como facilitaram as operações construtivas.

Após a II Guerra Mundial (1945) a Europa se viu frente ao grande déficit habitacional, pois seus prédios haviam sido destruídos ou estavam comprometidos. Necessitando que a reconstrução de suas moradias fosse feita rapidamente e barata com técnicas modernas.

As grandes empresas químicas, como a BAYER, atual LANXESS, colocaram os seus cientistas a serviço da construção civil, desenvolvendo inúmeros aditivos para este fim dando origem a química do cimento.

As argamassas passaram a serem aditivadas para proporcionarem melhores performances, que permitiriam que prédios chegassem a fase final na metade do tempo que se chegava antes. A partir deste momento, as argamassas passaram a evoluir, melhorando a qualidade dos produtos como a facilidade de aplicação.

As argamassas colantes industrializadas começaram a ser pesquisadas nos Estados Unidos a partir do fim da II Guerra Mundial (1945) com finalidade de

racionalizar os serviços de colocação de revestimentos cerâmicos e oferecer aos consumidores uma alta linha de qualidade nas instalações destes revestimentos a um menor custo possível. A racionalização se fazia necessária uma vez que o processo tradicional exigia múltiplos e simultâneos serviços provocando uma alta lentidão, este processo requeria conhecimentos especiais, o que nem sempre ocorria, resultando imperfeições causadoras de vida útil relativamente curta dos revestimentos. Uma argamassa colante industrializada para assentar revestimentos cerâmicos sem necessidade de imergi-los em água tornou-se necessário.

No Brasil, a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século de nossa colonização, para assentamento de alvenaria de pedra (largamente utilizada na época). A cal que constituía tal argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia era também muito utilizado como aglomerante, no preparo de argamassas para assentamento. A pesquisa para argamassa colante industrializada foi iniciada em 1964, motivada por problemas de descolamentos de revestimentos de pisos e paredes, causados por inesperado e elevado consumo de materiais cerâmicos que, na contrapartida, não encontrou mão-de-obra preparada e em quantidade necessária. Argamassas muito ricas em cimento e espessas e processos de assentamento inadequado proliferaram. Em 1971 foi introduzida a primeira argamassa colante brasileira. Atualmente as dúvidas iniciais em relação a custos e segurança dos resultados estão superadas, já existem profissionais capacitados para o assentamento de variadas situações de revestimentos: pisos, paredes, interiores, exteriores, piscinas, fachadas, terraços, coberturas etc.

***FUNDAMENTAÇÃO
TEÓRICA***

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 ARGAMASSA

As argamassas são materiais de construção que tem na sua constituição aglomerantes, agregados minerais e água. Quando recém misturadas, possuem boa plasticidade; enquanto que, quando endurecidas, possuem rigidez, resistência e aderência.

Segundo a norma NBR 13529 (ABNT, 1995), argamassa é uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, com aditivos ou não, e com propriedade de aderência e endurecimento. É importante salientar que já na definição a homogeneidade é considerada um ponto crítico. Para essa mesma norma, as argamassas preparadas em obra são aquelas em que a medição e a mistura de materiais ocorrem no próprio canteiro de obras. Seus materiais são medidos em volume ou massa; e podem ser compostas por um ou mais aglomerante (simples ou mistas).

Ex:

- ☐ Cimento + areia + água
- ☐ Cal + areia + água
- ☐ Cimento + cal + areia + água
- ☐ Cimento + cal + areia + aditivo + água

5.2 AGLOMERANTES

Aglomerantes são materiais que promovem a união dos grãos do material inerte (agregados). Funcionam como elementos ativos nas argamassas, sofrendo transformação química. Ex.: cimento (utilizado em argamassa de revestimento e assentamento), cal (utilizada em revestimento), e gesso (utilizado em revestimento, decoração e modelagem). Em se utilizando a cal, no preparo da argamassa em obra, é necessário aguardar o seu tempo de maturação, para sua perfeita hidratação. De acordo com a norma NBR 7200 (ABNT, 1998), esse tempo é de 16 horas. Para que isto ocorra, procede-se a mistura prévia da cal hidratada em pó com areia e água (argamassa intermediária), ou a mistura prévia de cal hidratada e água (pasta de cal). Essas misturas são deixadas em repouso até o momento da mistura da argamassa final, realizada somente após a maturação da cal.

5.3 A CAL

A cal utilizada para a fabricação das argamassas da Industrial Potengy é obtida da hidratação da cal virgem do estado do Rio Grande do Norte. Tais reservas são consideradas entre as de maior pureza do Brasil, constituindo-se em condições favoráveis para produção de cal de excelentes características físicas e químicas. A cal utilizada possui um elevado teor de óxido de cálcio, alta reatividade, baixo teor de sílica, baixa densidade e alto rendimento.

As argamassas compostas preparadas a cal hidratada, cimento e areia têm a propriedade de possuir alta plasticidade, alta trabalhabilidade e alto rendimento na aplicação. Sua plasticidade diminui as contrações e evita rachaduras durante a cura, aumenta a impermeabilidade, diminui a absorção de umidade e proporciona menor custo.

Devido a Cal Hidratada ter classificação CH-I (Cal Especial), ser muito fina, ter baixa densidade e superfície específica muito alta ($15000 - 20000 \text{ cm}^2/\text{g}$), permite uma maior ligação química, facilitando o recobrimento dos grãos dos agregados (areia) pelo aglomerante (cal), fortalecendo sua aderência e homogeneidade de contrações na argamassa; além de permitir maiores variações térmicas sem o aparecimento de rachaduras.

Em função de sua alta capacidade de retenção de água e características intrínseca ao processo industrial de hidratação, as argamassas com cal hidratada são bem mais plásticas do que aquelas com cal comum. As finíssimas partículas de cal hidratada interagem com a água formando gotículas que lubrificam os grãos de areia e cimento, permitindo que uns deslizem sobre os outros melhorando assim sua trabalhabilidade.

A Cal Hidratada, por ser bastante fina, ter enorme superfície específica e elevada pureza, combina-se perfeitamente com areia e o cimento, preenchendo os espaços vazios. Evita rachaduras e penetração de água aumentando desta forma a vida útil da construção.

5.4 AGREGADOS

Agregados são materiais pétreos fragmentados que atuam nas argamassas e concretos como elemento inerte (que não sofre transformação química). Ex: areia. O material inerte é incorporado para diminuir a contração e tornar o material mais econômico.

Conforme a necessidade, pode-se adicionar outros componentes para melhorar ou dar outra propriedade ao material. Um erro freqüente, contudo, é a superdosagem de aglomerantes na argamassa, o que resulta em custos adicionais. Isso pode ser atribuído a pouca informação e prática tecnológica na orientação e formação de profissionais. A consequência disso é o uso incorreto do material, que por vezes apresenta características inadequadas para o fim ao qual se destina.

5.5 ADITIVOS

Os aditivos para as argamassas podem ser:

- ❑ **Plastificantes** - aumentam a resistência com menos água no preparo;
- ❑ **Fluidificantes** - mesmo efeito do plastificante, porém mais efetivo;
- ❑ **Incorporadores de ar** - incorporam bolhas de ar, aumentando a impermeabilidade;
- ❑ **Impermeabilizantes** - repelem a água;
- ❑ **Retardadores** - retardam a pega;
- ❑ **Aceleradores** - aceleram a pega.

5.5.1 Éteres de Celulose

Éteres de celulose são usados para aumentar o desempenho das argamassas. Com suas propriedades lubrificantes, reduzem a fricção das partículas, economizando tempo nos processos de mistura, resultando em uma argamassa fluida e homogênea. Os éteres de celulose aumentam a consistência e aperfeiçoam a reologia da argamassa conferindo-lhe excelente trabalhabilidade, facilidade de aplicação e de aplanamento. Uma maior consistência permite uma aplicação sem que haja escorregamento, conferindo uma quantidade ideal de aderência ao substrato de parede. A atividade superficial incorpora mais ar na argamassa, o que melhora também a sua trabalhabilidade. Os éteres de celulose possuem propriedades de retenção de água muito elevada, minimizando a quantidade absorvida pelo substrato e pelo revestimento cerâmico. Esse aumento do tempo em aberto beneficia a produtividade, porque pode-se aplicar a argamassa colante industrializada em uma área maior.

Os éteres de celulose geram uma melhor adesividade, o que facilita a colocação dos revestimentos cerâmicos e evita o deslizamento.

5.5.2 Acetato de vinila e etileno.

O acetato de vinila e etileno é um aditivo em pó, sua função é aumentar a flexibilidade as grandes variações térmicas e mecânicas, fornecendo excelente resistência a impactos e reduzindo a formação de rachaduras. O Acetato de vinila e etileno também aumenta na adesão das placas cerâmicas no substrato. Este aditivo é adicionado nas argamassas do tipo AC- III e AC-III-E.

5.6 FLUXOGRAMA DE BLOCOS PARA A FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIAL

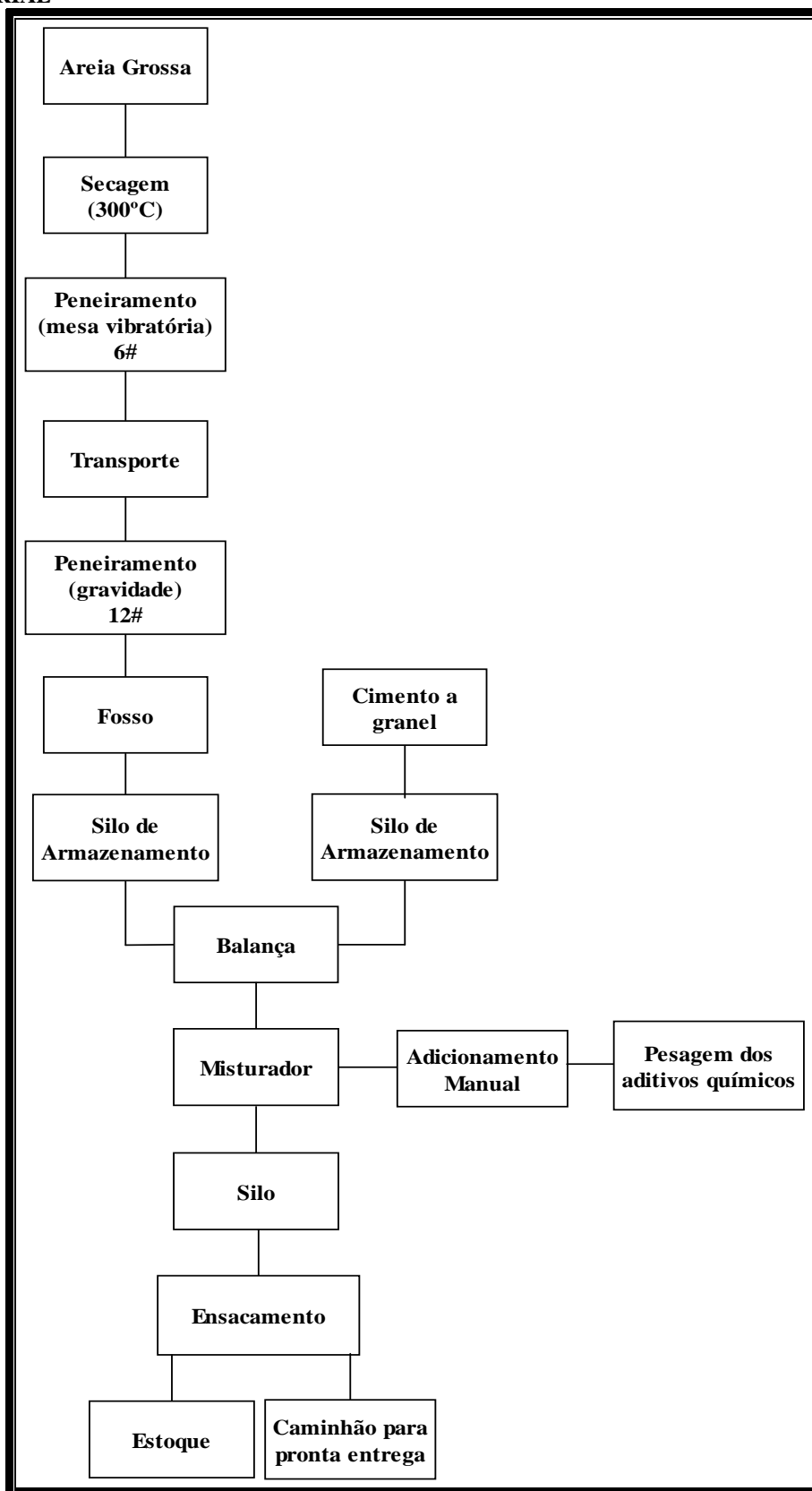


Figura 01 – Fluxograma de bloco da fabricação de argamassa industrial

5.7 COMPARATIVO DA ARGAMASSA MISTA FEITA EM OBRA COM ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIAL

O processo para a fabricação da argamassa em canteiro de obra pode sair mais barato do que as argamassas colantes industrializadas, porém estas não são padronizadas e por um erro de algum operário, ou devido a compra de alguma matéria prima de baixa qualidade, esta argamassa pode ocasionar patologias futuras. As figuras abaixo a seguir mostram que em uma construção, a utilização das argamassas colantes gera um ganho de tempo e conseqüentemente um aumento de produtividade, tudo isto sem levar em conta a segurança e confiabilidade que a argamassa colante industrializada oferece.

Na figura 2 é mostrado o fluxograma simplificado dos processos envolvidos no uso da argamassa mista preparada em obra.

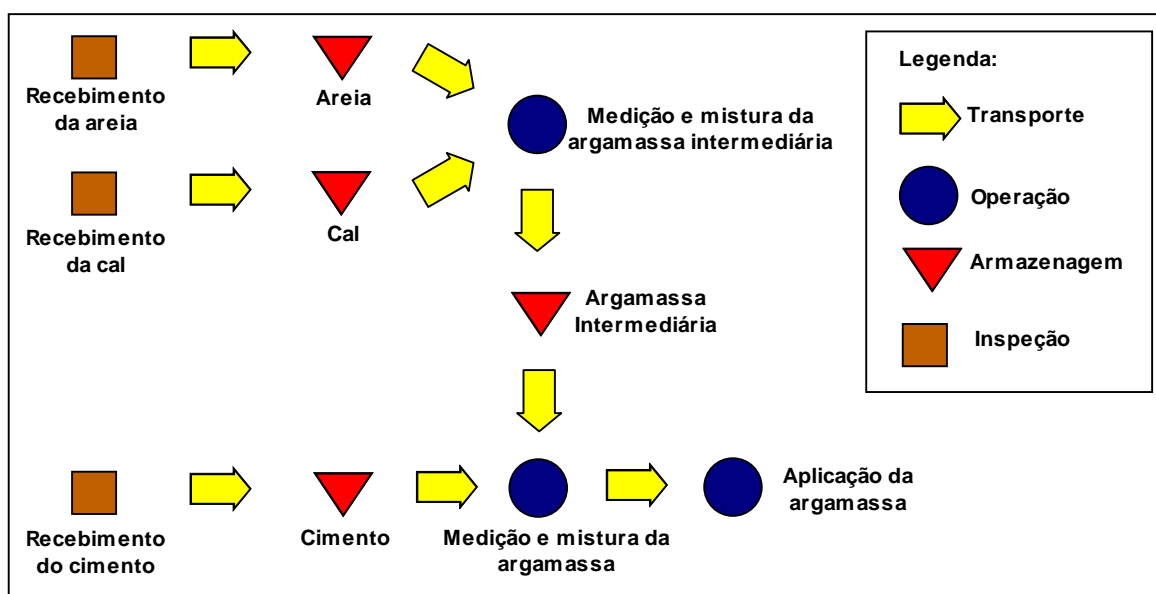


Figura 02 – Fluxograma dos processos para argamassa mista preparada em obra

As argamassas industrializadas, segundo a norma NBR 13529 (ABNT,1995), são aquelas provenientes da dosagem controlada, em instalações próprias (indústrias), de aglomerante(s), agregado(s), e, eventualmente, aditivo(s), em estado seco e homogêneo, compondo uma mistura seca à qual o usuário somente adiciona a quantidade de água requerida para proceder a mistura.

Na figura 03 é mostrado um fluxograma simplificado dos processos envolvidos no uso da argamassa industrializada no canteiro de obras.

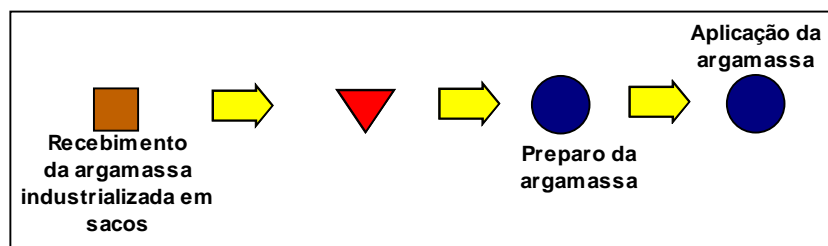


Figura 03 – Fluxograma dos processos para argamassa industrializada em sacos

Comparando-se as figuras 02 e 03, nota-se que a argamassa preparada em canteiro de obra envolve um número bem maior de processos, portanto requer maior demanda de transporte, maior necessidade de áreas de armazenagem, maior quantidade de controles e, conseqüentemente, maior utilização de mão-de-obra. Somando-se a complexidade da gestão, fica evidente que a opção por produção em canteiro não é compatível com os conceitos de racionalização.

5.8 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Uma boa argamassa deve ter boa resistência mecânica, impermeabilidade, aderência, durabilidade e volume constante. Na escolha da argamassa, essas qualidades são valorizadas de acordo com as exigências da obra.

A argamassa deve resistir aos esforços horizontais que ocorrem em uma parede, como flexão e cisalhamento causado pelo vento, perpendiculares ou paralelo ao plano das paredes. Entretanto, a maioria das argamassas não resiste à compressão, papel que cabe aos blocos de alvenaria.

As Argamassas Industrializadas Colantes classificam-se pela norma técnica da ABNT (NBR 14081 / 1998) em quatro tipos com finalidades distintas:

AC-I – Argamassa que atende aos requisitos da tabela 01 e com características de resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimento internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.

AC-II – Argamassa que atende aos requisitos da tabela 01 e com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes externas decorrentes de ciclos de flutuação térmica e higrométrica, da ação de

chuva e/ou vento, da ação de cargas como as decorrentes do movimento de pedestres em áreas públicas e de máquinas ou equipamentos leves sobre rodízios não metálicos, resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimentos internos. A argamassa do tipo AC-II assenta placas de cerâmicas de tamanho até 40cm² e também é utilizada em fachadas de prédios de até 4 pavimentos.

AC-III – Argamassas colantes industrializada que atende aos requisitos da tabela 01 e que apresenta propriedades de modo a resistir a altas tensões de cisalhamento nas interfaces do substrato adesivo e placa cerâmica/adesivo, juntamente com uma aderência superior entre as interfaces em relação as argamassa dos tipos AC-I e AC-II. A argamassa do tipo AC-III pode ser utilizadas em piscinas, lavanderias industriais, locais de lavagens e fachadas onde existe a presença de grandes tensões. É ainda indicado principalmente para placas de baixa absorção como porcelanato, podendo trabalhar em ambiente de até 60°C.

AC-III-E – Argamassa colante industrializada que atende aos requisitos da tabela 01, similar ao tipo AC-III, com tempo em aberto estendido. A argamassa AC-III-E é capaz de assentar cerâmica sobre cerâmica e pastilhas de vidro, suportando as mais variadas tensões.

As argamassas colantes industrializadas devem atender as exigências mecânicas estabelecidas na tabela 01.

Tabela 01 – Requisitos de argamassa colante

Propriedade	Unidade	Argamassa Colante Industrializada			
		I	II	III	III-E
Tempo em Aberto	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20	≥ 30
Resistência de aderência a 28 dias em: Cura Normal	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 1,0
Deslizamento	mm	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5

***ATIVIDADES
REALIZADAS***

6. ATIVIDADES REALIZADAS

6.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Este ensaio tem por objetivo a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para a argamassa. Os agregados encontrados nas argamassas devem ter dimensão menor ou igual à malha #8, onde estas argamassas serão utilizadas nas camadas de regularização e intermediária. Em caso de rejuntamento entre as placas cerâmicas, ter dimensão menor ou igual a 0,30mm (malha 50).

6.1.1 MATERIAL NECESSÁRIO

- Argamassas do tipo AC-I, AC-II, AC-III e ACIII-E
- Balança com resolução 0,1g
- Bacia plástica
- Conjunto de peneiras de Malhas (#9, #20, #28, #48, #80, #100 e #150) e retenção
- Peneirador Elétrico
- Pincel para a limpeza das telas das peneiras

6.1.2 METODOLOGIA

Pesa-se 1kg de cada tipo de argamassa, encaixa-se as peneiras previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras. As peneiras devem obedecer à ordem decrescente, onde o topo da torre encontra-se a peneira de #9 e na base encontra-se a retenção. A amostra a ser peneirada deve ser colocada sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material, pois o acúmulo de material sobre uma peneira impede o igual acesso de todos os grãos à tela, durante a sua agitação, como também pode provocar a deformação permanente da tela. O material a ser peneirado deve permanecer por 5 minutos e 850 RPM. Decorrido os 5 minutos, pesa-se cada peneira com a amostra retida. A equação (01) foi utilizada para calcular a porcentagem de argamassa retida em cada peneira. Ao determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve deferir mais de 0,3% da massa seca da amostra, inicialmente introduzida no conjunto de peneiras.

$$\%R = \frac{P_f - P_i}{M} \times 100 \quad (01)$$

Onde:

%R = é a porcentagem de retenção

Pf = é o peso da peneira com a amostra retida

Pi = é o peso da peneira vazia.

6.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à perda de material durante o peneiramento, a massa total, na maioria das vezes, não corresponde ao peso inicial, todavia os cálculos foram realizados com a massa total final obtida após o peneiramento. A tabela 01, 02, 03 e 04 traz os pesos das peneiras pesadas individualmente antes do processo de separação e após o processo de separação após cada tipo de argamassa ter sido peneirada.

Tabela 02 – resultados da granulometria obtida para argamassa AC-I

Abertura em #	Peso das Peneiras Inicial (g)	Peso das Peneiras Final (g)	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	%R
9	482	482	0	0	0
20	436	460	24	24	2,4
28	394	790	396	420	39,7
50	372	894	522	942	52,3
80	360	414	54	996	5,4
100	388	388	0	996	0
150	334	334	0	996	0
Retenção	382	384	2	998	0,2
Total	3148	4146	998	—	100

Percentual de diferença = 0,0002%

Tabela 03 – resultados da granulometria obtida para argamassa AC-II

Abertura em #	Peso das Peneiras Inicial (g)	Peso das Peneiras Final (g)	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	%R
9	482	484	2	2	0,2
20	436	480	44	46	4,4
28	394	712	318	364	31,8
50	372	918	546	910	54,7
80	360	444	84	994	8,4
100	388	390	2	996	0,2
150	334	335	1	997	0,1
Retenção	382	384	2	999	0,2
Total	3148	4147	999	—	100

Percentual de diferença = 0,0001%

Tabela 04 – resultados da granulometria obtida para argamassa AC-III

Abertura em #	Peso das Peneiras Inicial (g)	Peso das Peneiras Final (g)	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	%R
9	482	482	0	0	0,0
20	436	456	20	20	2,0
28	394	496	102	122	10,2
50	372	1124	752	874	75,2
80	360	468	108	982	10,8
100	388	396	8	990	0,8
150	334	336	2	992	0,2
Retenção	382	390	8	1000	0,8
Total	3148	4148	1000	—	100

Percentual de diferença = 0%

Tabela 05 – resultados da granulometria obtida para argamassa AC-III-E

Abertura em #	Peso das Peneiras Inicial (g)	Peso das Peneiras Final (g)	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	%R
9	482	482	0	0	0,2
20	436	450	14	14	2,4
28	394	515	121	135	13,6
50	372	1110	738	873	76,2
80	360	445	85	958	7,2
100	388	407	19	977	0,2
150	334	355	21	998	0
Retenção	382	384	2	1000	0,2
Total	3148	4148	1000	—	100

Percentual de diferença = 0%

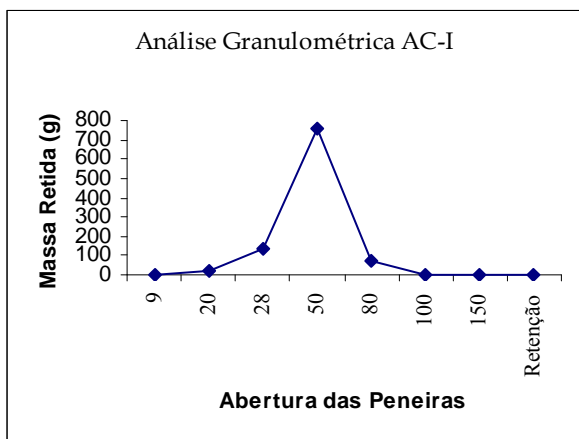


Figura 04 – Gráfico da Análise granulométrica AC-I

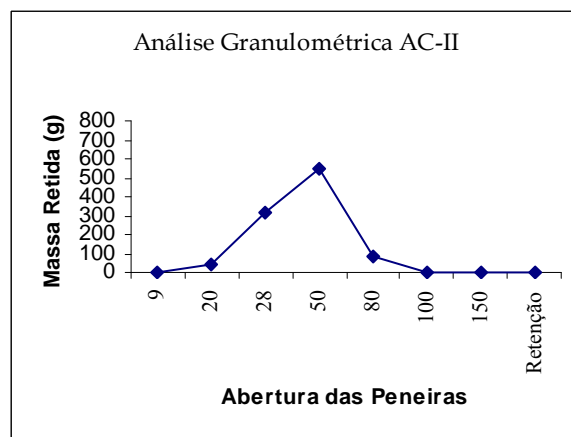


Figura 05 – Gráfico da Análise granulométrica AC-II

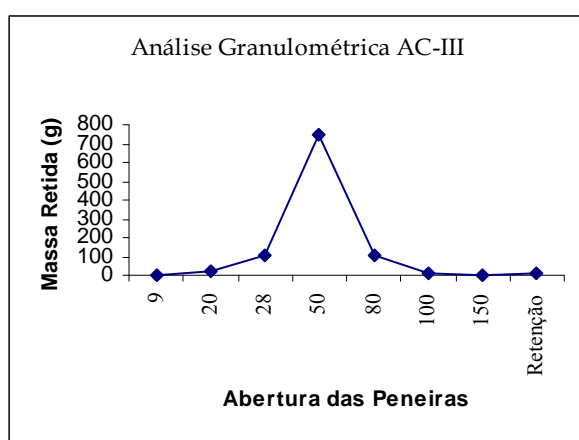


Figura 06 – Gráfico da Análise granulométrica AC-III

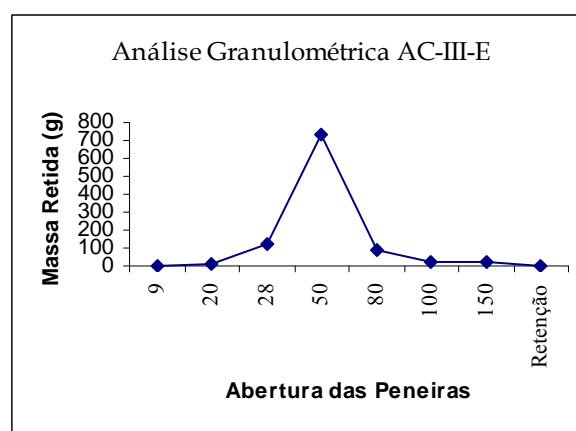


Figura 07 – Gráfico da Análise granulométrica AC-III-E

Não foi utilizada uma malha #8 como primeira malha, pois em ensaios preliminares, constatou-se que nada ficava retido sobre elas. As argamassas após o processo de separação por peneiramento estão de acordo com as normas da ABNT, apresentam granulometria abaixo da #8 e quase sua totalidade está menor ou igual a #50. De acordo com a literatura, as argamassas não podem apresentar uma grande quantidade de finos, pois isso acarretaria a fissuras nas paredes e nem muito grossa, pois não seria possível aplicar as placas de cerâmica, diminuindo a sua resistência de tração. Desta forma podemos verificar através dos gráficos que todos os tipos de argamassa atendem o padrão exigido pelas normas. Comparando os gráficos, nota-se uma maior quantidade de finos nas argamassas do tipo AC III e AC III E, isto se deve ao fato de que estas argamassas apresentam uma maior quantidade de cimento em sua formulação, assim como uma maior concentração de aditivos químicos.

6.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PADRÃO

O objetivo deste ensaio é determinar o teor de água para a preparação de argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Este teor será de suma importância para a obtenção do índice de consistência-padrão a ser utilizado na realização de ensaios necessários à caracterização do material.

Na prática, apesar dos fabricantes indicarem nas embalagens uma proporção correta em litros de água por quilo de pó, em obra não há a preocupação de se fazer medidas, resultando em pastas mais fluidas ou mais consistentes conforme critério pessoal do assentador.

Todavia, em obra, a tendência é utilizar pastas com quantidade de água pouco maior do que aquela indicada pelo fabricante. Dessa forma, intuitivamente, o assentador compensa de certa maneira as perdas de água devidas às condições ambientais (calor e ventilação) e às elevadas absorções de água quer da base (emboço ou contrapiso), quer das placas de cerâmicas.

A medida de consistência pelo “flow table” (mesa cadente) utilizada em ensaios de concreto apresenta duas dificuldades:

1ª - Dificuldade de encher e compactar a pasta de argamassa colante na forma tronco cônica, dada a aderência da pasta às paredes da forma, e dada a alteração da viscosidade pelos impactos com o soquete, tornando a argamassa mais fluida. Assim sendo, havendo variação da viscosidade durante o ensaio iremos ter problemas de repetitividade e reprodutividade dos ensaios.

2ª - As 30 quedas em 30 segundos novamente alteram a viscosidade diminuindo-a dada a propriedade tixotrópica das argamassas colantes.

De um modo prático, lembramos que a proporção de água nas argamassas colantes é tal que, se colocarmos pouca água, não será possível pentear a argamassa. Se a água for em excesso, igualmente não será possível pentear, pois os cordões fluem.

Entre uma situação e outra a variação na proporção de água é pequena, e o assentador mesmo sem medir consegue chegar no “ponto” adequado.

Para peças grandes (massa maior) a argamassa é ligeiramente mais consistente, evitando seu escorregamento sobre a argamassa. Para peças pequenas a argamassa é utilizada com menos consistência.

6.2.1 MATERIAL NECESSÁRIO

- Balança com resolução de 0,1g
- Mesa de índice de consistência (*flow table*)
- Molde tronco iônico
- Soquete metálico
- Bacia plástica
- Colher de pedreiro
- Régua metálica
- Paquímetro
- Pano úmido

6.2.2 METODOLOGIA

6.2.2.1 Preparo da Argamassa

Pesa-se 1Kg da argamassa a ser analisada na bacia plástica, adiciona-se 200mL de água potável lentamente, sempre misturando com a colher de pedreiro até obter uma massa homogênea, de cor uniforme e sem glóbulos. A quantidade de água adicionada foi baseada de acordo com a embalagem do produto. A massa preparada ficará por 10 minutos em processo de maturação coberta por um pano úmido.

6.2.2.2 Mesa para índice de consistência

Leva-se a argamassa a mesa de consistência-padrão, esta deve estar limpa e seca, deve-se limpar a parede interna do tronco cônico com um pano ou esponja umedecida, de modo que as superfícies fiquem ligeiramente úmidas.

O aparelho é constituído por uma mesa horizontal lisa e plana de metal não corrosível, com uma haste fixada ao centro, a qual, dirigida por uma guia conveniente, recebe de um excêntrico, movimento vertical ascendente, de 14 mm de curso, e dessa altura cai. O molde rígido troncocêntrico e o soquete são de metal não corrosível.

Com a mesma colher de pedreiro, enche-se o molde tronco-cônico, colocando de modo centralizado sobre a mesa para índice de consistência. O molde é preenchido com três camadas sucessivas de argamassa, com alturas aproximadamente iguais, aplicá-se em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete metálico, de modo que fique distribuído uniformemente. Se houver necessidade, completar o volume do molde com mais argamassa.

Passa-se então a régua metálica rente à borda do tronco-cônico para fazer o rasamento de argamassa, este processo é realizado com movimento curtos de vai-e-vem ao longo de toda a superfície.

Em seguida, retira-se o molde tronco-cônico e aciona a manivela da mesa para índice de consistência, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 s. Após a última queda, mede-se o diâmetro com o paquímetro. Verificam-se 3 medidas distribuídas uniformemente ao longo do perímetro.

O índice de consistência de argamassa para o teor de água escolhido corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo.

Se o valor obtido estiver compreendido no intervalo (255 ± 10) mm, ele corresponde ao índice de consistência-padrão. Se o valor obtido for superior a 265 mm, repete-se o procedimento experimental com menos água. Todavia se o valor for inferior a 245 mm, deve-se acrescentar à mesma argamassa uma pequena quantidade de água e realizar nova mistura de forma lenta por mais 5 min. A operação é repetida até a obtenção do índice de consistência desejado, deve-se sempre anotar as quantidade de água inserida. No caso do adicionamento de água, deve-se somar a quantidade de água e fazer um novo ensaio com a quantidade de argamassa inicial com o total de água utilizado no ensaio anterior.

A fórmula abaixo é utilizada para calcular o teor de água (A_{cp}) para a obtenção da argamassa com índice de consistência-padrão pela seguinte equação:

$$A_{cp} = \frac{M_w}{M} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Mw é a massa total de água acrescentada a mistura em g

M é a massa de argamassa industrializada

6.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela abaixo mostra a média dos valores dos diâmetros obtidos e os resultados calculados do teor de água.

Tabela 06 – Valores obtidos no ensaio de consistência-padrão

Argamassa	Valores Obtidos (mm)	Acp (%)
AC-I	25,5	20
AC-II	24,6	24
AC-III	24,7	24
AC-III-E	25,3	24

A argamassa do tipo AC-I respondeu positivamente de acordo com a embalagem do e atendendo as normas da NBR 13276/1995. Para as argamassas do tipo AC-II e AC-III, fizeram necessário adicionar 40mL de água para que obedecer às normas, sendo então necessário à retificação das embalagens.

Ao adicionar 40% de água a mais em cada quilo de pó, este se mostrou com uma melhor trabalhabilidade, todavia esta quantidade pode prejudicar a resistência a aderência das placas cerâmicas, pois a água ao evaporar arrasta as partículas menos densas, neste caso, o cimento e os aditivos químicos, ficando apenas a areia, material mais pesado, provocando o descolamento das cerâmicas. Porém como foi descrito na seção 6.2, ao adicionar uma quantidade maior de água ao que já foi estipulado na embalagem, o operador de assentamento estará compensando as perdas de água das condições ambientais e também das elevadas absorções seja ela da base ou das placas cerâmica a serem assentadas.

6.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM ABERTO

Estes ensaios foram realizados para determinar o tempo em aberto para argamassa colante, destinada ao assentamento de placas de cerâmica em pisos e paredes, pelo método da camada fina.

6.3.1 MATERIAL NECESSÁRIO

- Argamassa colante industrializada preparada conforme a seção 6.2.2.1 deste relatório.
- Substrato-padrão
- Placas de cerâmicas para revestimento (tardoz de alta e baixa absorção)
- Balança com resolução de 0,1g
- Desempeneadeira retangular de chapa de aço flexível, com dois lados adjacentes lisos e os demais denteados. Os dentes devem ter largura e altura de 6 mm e estar separados entre si a uma distância de 6 mm
- Espátula
- Pano úmido
- Máquina para o arrancamento por tração
- Placas metálicas não-deformáveis sob carga de ensaio, de seção quadrada com 50 mm de aresta, com dispositivo no centro de uma das faces para acoplamento do equipamento de tração.
- Peso-padrão de material sólido, rígido, com peso de $(20 \pm 0,5)N$ e com seção de apoio de formato quadrado, com 50 mm de lado.

6.3.2 METODOLOGIA

6.3.2.1 Preparo da Argamassa

A argamassa foi preparada de acordo com o quesito 6.2.2.1 deste relatório

6.3.2.2 Aplicação da argamassa colante em cordões sobre o substrato padrão

O Substrato-padrão deve ter uma espessura mínima de 15 mm e dimensões mínimas de 25 cm x 50 cm. A absorção do substrato deve ser inferior a $0,5 \text{ cm}^3$, em um intervalo de 4 h.

O substrato-padrão deve estar seco, livre de qualquer partícula solta e isento de manchas de óleo, tintas, gordura ou outras condições que prejudiquem a aderência.

Sobre o substrato-padrão em posição horizontal e estável sobre a bancada de trabalho colocou-se uma porção de argamassa colante preparada, sobre a face regularizada com a régua. Com o lado reto da desempenadeira metálica estendeu-se a argamassa sobre a área a ser utilizada. O lado denteado da desempenadeira foi passado ao longo da superfície firmemente apoiado sobre o substrato e com a lâmina ligeiramente inclinada na direção do movimento. A argamassa acumulada no fim da operação foi novamente repassada na direção contrária, da mesma forma que na passada inicialmente. Este processo foi repetido por mais uma vez. Passou-se mais argamassa fresca para o setor imprimado do substrato, estendendo o material em camada uniforme, imediatamente passou-se a desempenadeira denteada na direção longitudinal da superfície imprimada. Nesta passagem, a lâmina denteada deve ficar encostada na superfície do substrato e inclinada em um ângulo de 60° para a frente no sentido do movimento. A velocidade de deslocamento da desempenadeira denteada deve ser tal que permita a formação de cordões contínuos de seção uniforme ao longo de toda a camada com altura de $(5 \pm 0,5)$ mm. Se esta condição não for atingida na primeira passada, procede-se até a regularização da camada de argamassa e passa-se novamente a desempenadeira denteada da maneira indicada, mudando a velocidade do deslocamento.

6.3.2.3 Colagem das peças cerâmicas sobre a argamassa colante estendida em cordões.

Após as atividades descritas na seção 6.3.2.2, foram posicionadas 8 cerâmicas, sendo 4 delas de baixa absorção (cerâmica Eliane) e as outras 4 de alta absorção (Porto Belo). Ao assentar as cerâmicas, deve haver uma separação de no mínimo 50 mm entre as peças e de 25 mm entre seus lados e a borda mais próxima do substrato-padrão. Para a argamassa do tipo AC-I, o tempo de espera para o assentamento das cerâmicas foram: 5 min., 10 min., 15 min, 20 min., para as argamassas do tipo AC-II e AC-III, os tempos foram: 5, 10, 15, 20 e 25min, para a argamassa do tipo AC-III-E, os tempos foram: 5, 10, 15, 20, 25, 30 min. As placas de substrato-padrão foram estocadas na posição horizontal. As placas de cerâmica aderidas ao substrato-padrão foram mantidas durante

28 dias, nas condições de (23 ± 2) °C, umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$ e velocidade de vento inferior a 0,2 m/s.

Na data anterior do arrancamento das peças cerâmicas, foi colada uma placa de arrancamento, utilizando um adesivo epóxico, de maneira que as superfícies das placas ficaram sobre-postas.

Após os 28 dias, executou-se o ensaio de arrancamento por tração, aplicando carga até a ruptura. Registrou-se a carga maior (T) aplicada. Examinou-se cada peça e descreveu o tipo e o formato de cada ruptura, conforme a seguir:

- ☐ Ruptura na interface argamassa e substrato (AS)
- ☐ Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (AP)
- ☐ Ruptura da camada de argamassa colante (CA)
- ☐ Ruptura do substrato (S)
- ☐ Ruptura da placa cerâmica (PC)

6.3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os valores obtidos no equipamento de arrancamento, calculou-se a tensão de aderência f_t , arredondando ao 0,1 N / mm² mais próximo, mediante a expressão:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (03)$$

Onde:

F_t é a tensão de aderência, em Newtons por milímetros quadrados.

T é a força de tração máxima, em Newton.

A é a área do plano de ruptura da placa cerâmica em milímetros quadrados (2500 mm²)

Desconsideraram-se os resultados de ruptura dos tipos S e PC descritas em 6.3.2.3.

O resultado deve ser igual ou superior a 0,5 MPa.

Tabela 07 – Resultado das tensões em tempo em aberto em 28 dias

	5'		10'		15'		20'		25'		30'	
	E*	PB**	E	PB	E	PB	E	PB	E	PB	E	PB
AC-I	0,55	0,67	0,31	0,36	0,27	0,28	0,27	0,28	X	X	X	X
AC-II	0,68	0,68	0,36	0,33	0,39	0,29	0,24	0,21	0,04	0,04	X	X
AC-III	0,67	1,01	0,45	0,76	0,39	0,64	0,25	0,21	0,04	0,04	X	X
AC-III-E	1,0	1,29	0,83	0,9	0,74	0,95	0,52	0,65	0,25	0,50	0,1	0,4

*E corresponde a cerâmica da marca Eliane (baixa absorção)

**PB corresponde a cerâmica da marca porto belo (alta absorção)

Na figura 8, onde as argamassas foram testadas com uma cerâmica de alta absorção, pode-se perceber que nenhuma delas obedeceram ao tempo estabelecido pela norma apresentada na tabela 01, a argamassa do tipo AC-I, AC-II e AC-III, tiveram um tempo em aberto de apenas 5 minutos. A argamassa AC-III-E teve um tempo em aberto superior aos 20 minutos, porém a NBR 14081 descreve que a argamassa deste tipo deve ter um tempo em aberto igual ou superior a 30 minutos.

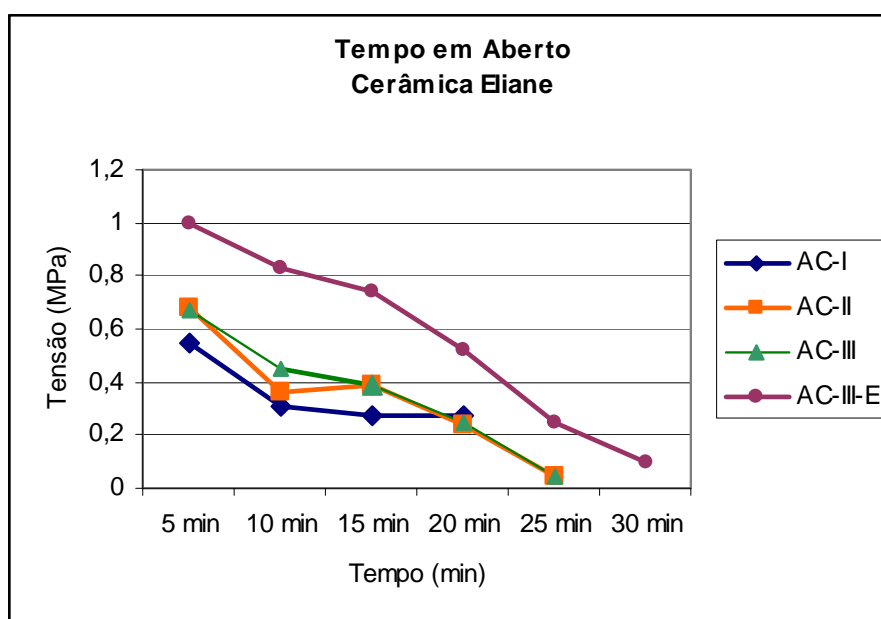


Figura 08 – Gráfico do tempo em aberto para a cerâmica eliane

Na figura 09, as argamassas do tipo AC-I e AC-II, permaneceram com o tempo em aberto de apenas 5 minutos, a argamassa do tipo AC-III teve um tempo em aberto superior a 15 minutos, porém inferior aos 20 minutos estabelecidos pela norma, a argamassa do tipo AC-III-E, também não atingiu a tensão de 0,5 MPa para os 30 minutos do tempo em aberto.

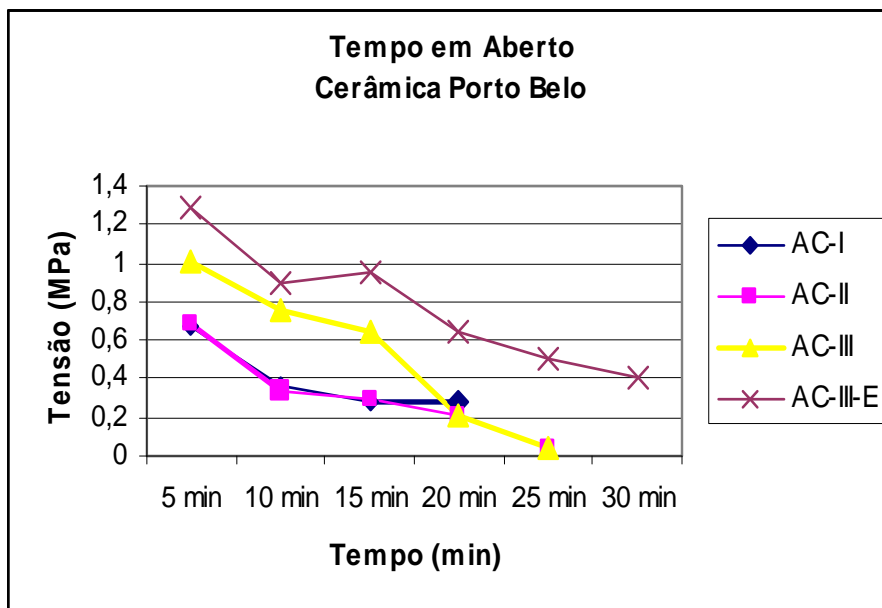


Figura 09 – Gráfico do tempo em aberto para a cerâmica Porto Belo

6.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA PARA ASSENTAMENTO DE PLACAS DE CERÂMICA

Estes ensaios tinham por objetivo a determinação da resistência de aderência para argamassa colante industrializada, destinada ao assentamento de placas de cerâmica em pisos e paredes, pelo método da camada fina.

6.4.1 MATERIAL NECESSÁRIO

- Argamassa colante industrializada preparada conforme a seção 6.2.2.1 deste relatório.
- Substrato-padrão
- Placas de cerâmica
- Balança com resolução 0,1g
- Colher de pedreiro
- Bacia plástica
- Desempenadeira retangular de aço flexível, com dois lados adjacentes lisos e os demais denteados. Os dentes devem ter largura e altura de 6 mm e estar separados entre si a uma distância de 6 mm.
- Espátula
- Pano úmido
- Placas metálicas não deformáveis sob carga de ensaio de seção quadrada com 50 mm de aresta, com dispositivo no centro de uma das faces para acoplamento do equipamento de tração
- Resina epóxi
- Peso padrão de material sólido, rígido, com seção de apoio no formato quadrado, com 50 mm de lado.
- Escova de aço

6.4.2 METODOLOGIA

6.4.2.1 Preparo da Argamassa

Conforme a seção 6.2.2.1 deste relatório

6.4.2.2 Substrato-padrão

Conforme a seção 6.3.2.2 deste relatório

6.4.2.3 Equipamento de Tração

O equipamento de tração é o equipamento necessário para a execução deste ensaio, onde o equipamento deve permitir a aplicação lenta progressiva da carga, possuir articulação para assegurar a aplicação do esforço de tração simples e dispositivo para a leitura da carga. O mecanismo para a medida da carga aplicada deve ser tal que a leitura obtida apresente erro de no máximo 2%.

6.4.2.4 Cola

Para a colagem de pastilha na cerâmica é empregada cola à base de resina epóxi.

Com o objetivo de avaliar e determinar as tensões ocasionadas pela resistência, diversos substratos foram preparados (19) e neles aplicados os diferentes tipos de argamassa de acordo com as normas da ABNT, sendo elas: AC-I, AC-II, AC-II e AC-III-E, Foram utilizados dois tipos de cerâmica: porto-belo e o azulejo Eliane. Após o preparo das argamassas, as cerâmicas foram assentadas com intervalos de tempo de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 08 – Intervalo de tempo para assentamento das cerâmicas para cada tipo de argamassa

Argamassa	Tempo (min.)
<i>AC-I</i>	5, 10, 15, 20
<i>AC-II</i>	5, 10, 15, 20, 25
<i>AC-III</i>	5, 10, 15, 20, 25
<i>AC-III-E</i>	5, 10, 15, 20, 25, 30

6.4.2.5 Colagem das pastilhas

É necessário escovar a superfície do substrato para retirada de qualquer componente sólido, sobre a qual vai ser assentado a pastilha cerâmica, a cerâmica por sua vez deve-se encontrar também limpa e seca. A superfície da pastilha deve estar isenta de qualquer resíduo de ensaios anteriores. A cola foi aplicada com o auxílio de uma espátula sobre a cerâmica, durante aproximadamente 30 s. Após a aplicação da

cola, todo o excesso foi removido com o auxílio de um estilete. É importante evitar que a pastilha sobre a cerâmica deslize.

6.4.2.6 Tempo de Cura

O conjunto substrato-padrão – argamassa-placas-cerâmicas foi mantido durante 28 dias, nas condições de (23 ± 2) °C, umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$ e velocidade de vento inferior a 0,2 m/s. Este processo de cura é denominado *tempo de cura normal*. Os arrancamentos foram realizados com 7, 14, 21 e 28 dias de condicionamento analisando a tensão obtida em cada período. As placas metálicas foram coladas 24 horas antes de cada arrancamento para garantir sua eficiência. Uma tabela de tolerância nas etapas de cura é mostrada a seguir:

Tabela 09 – Tolerância admissível para o condicionamento em período de cura normal

Duração do Condicionamento	Tolerância Admissível
7 dias	± 3 h
14 dias	± 6 h
21 dias	± 9 h
28 dias	± 12 h

Imediatamente após o encerramento do tratamento de cura e a cola ter endurecido o suficiente para transmitir a carga de tração da placa de arrancamento para a placa de cerâmica e dentro dos períodos de tolerância na idade de ensaio indicados na tabela 08, executou-se o ensaio de arrancamento por tração, aplicando carga e uma velocidade uniforme de (250 ± 50) N até a ruptura. Registrou-se a carga máxima (T) aplicada.

Examinaram-se cada peça e descreveu o tipo e o formato de cada ruptura, conforme a seguir:

- a) Ruptura na interface argamassa e substrato (AS)
- b) Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (AP)
- c) Ruptura da camada de argamassa colante (CA)
- d) Ruptura do substrato (S)
- e) Ruptura da placa cerâmica (PC)

6.4.2.7 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

Após os valores obtidos no equipamento de arrancamento, calculou-se a tensão de aderência f_t , arredondando ao $0,1 \text{ N} / \text{mm}^2$ mais próximo, mediante a expressão:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (3)$$

Onde:

F_t é a tensão de aderência, em Newtons por milímetros quadrados

T é a força de tração máxima, em Newtons

A é a área do plano de ruptura da placa cerâmica em milímetros quadrados (2500 mm²)

Desconsideraram-se os resultados de ruptura dos tipos S e PC.

O resultado após 28 dias deve ser igual ou superior a 0,5 MPa.

6.4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas abaixo apresentam os resultados finais obtido da resistência da aderência das argamassas AC-I, AC-II, AC-III e AC-III-E. As tabelas completas encontram-se em anexo.

Tabela 10 – Resistência de aderência de placas assentadas com Argamassa AC-I

Tempo	Tensão (MPa)							
	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo
5 min	0,41	0,52	0,28	0,51	0,27	0,41	0,55	0,67
10 min	0,24	0,27	0,24	0,22	0,19	0,22	0,31	0,36
15 min	0,20	0,13	0,21	0,14	0,21	0,15	0,27	0,28
20 min	0,18	0,05	0,05	0,05	0,03	0,01	0,21	0,19

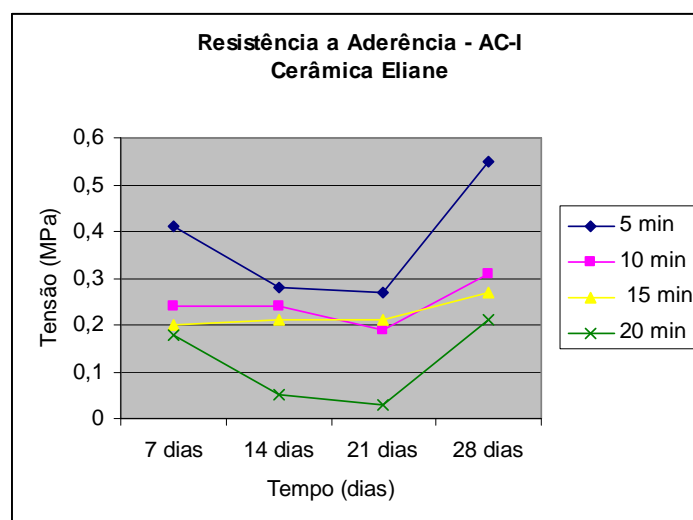


Figura 10 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-I utilizando cerâmica Eliane

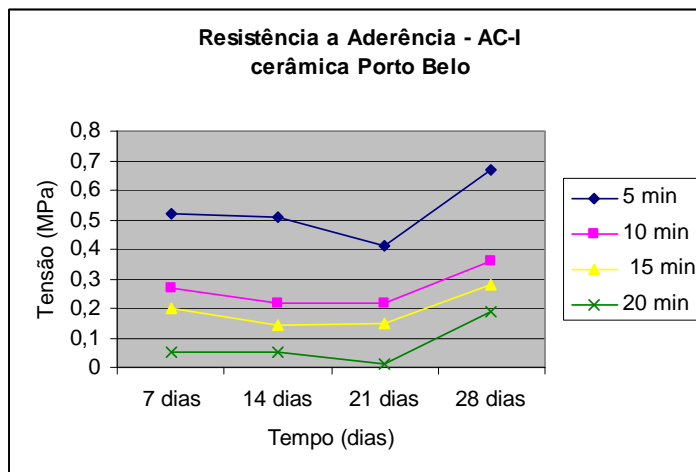


Figura 11 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-I utilizando cerâmica Porto Belo

Tabela 11 – Resistência de aderência de placas assentadas com Argamassa AC-II

Tempo	Tensão (MPa)							
	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo
5 min	0,41	0,45	0,38	0,31	0,48	0,41	0,68	0,68
10 min	0,37	0,37	0,35	0,35	0,45	0,65	0,36	0,33
15 min	0,31	0,51	0,29	0,34	0,33	0,34	0,39	0,29
20 min	0,51	0,35	0,29	0,47	0,29	0,35	0,24	0,21
25 min	0,12	0,13	0,06	0,08	0,16	0,05	0,04	0,04

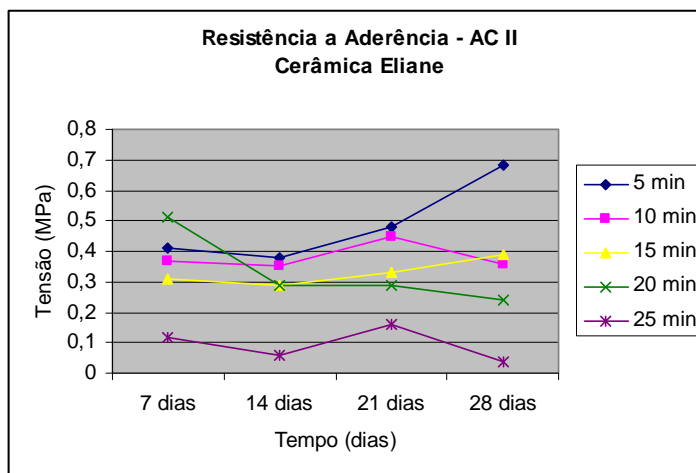


Figura 12 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-II utilizando cerâmica Eliane

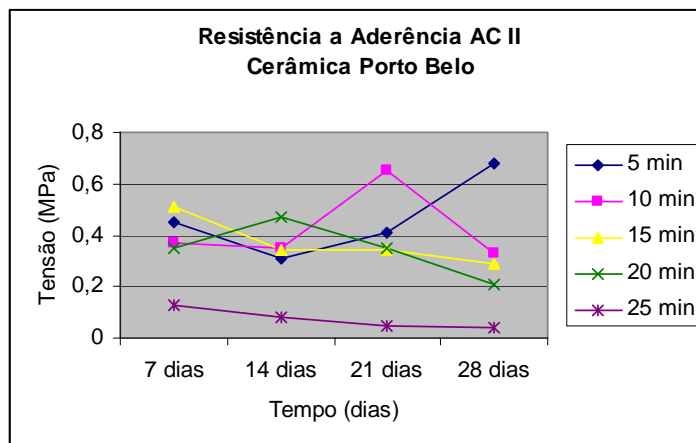


Figura 13 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-II utilizando cerâmica Porto Belo

Tabela 12 – Resistência de aderência de placas assentadas com Argamassa AC-III

Tempo	Tensão (MPa)							
	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo
5 min	0,62	1,02	0,56	1,00	0,61	1,12	0,57	1,01
10 min	0,31	0,50	0,43	0,51	0,41	0,79	0,45	0,76
15 min	0,34	0,54	0,31	0,47	0,32	0,62	0,39	0,64
20 min	0,40	0,39	0,25	0,41	0,26	0,44	0,25	0,21
25 min	0,33	0,35	0,27	0,26	0,25	0,30	0,04	0,04

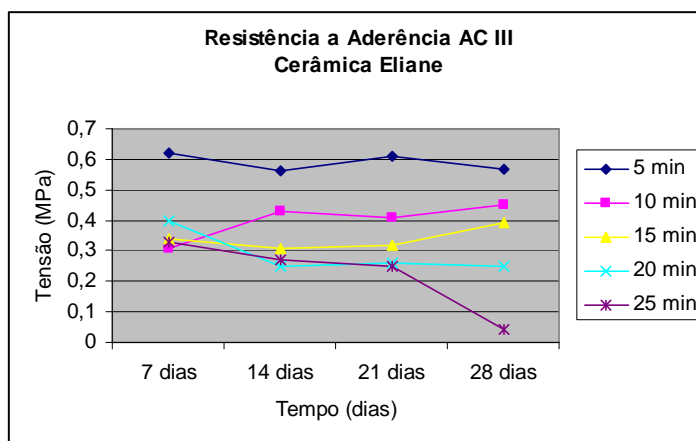


Figura 14 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-III utilizando cerâmica Eliane

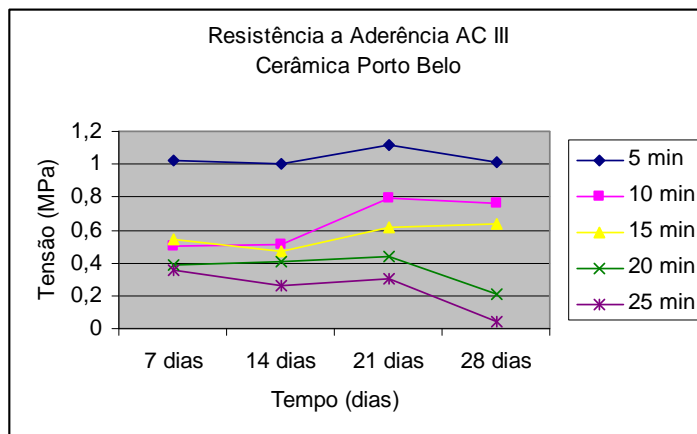


Figura 15 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-III utilizando cerâmica Porto Belo

Tabela 13 – Resistência de aderência de placas assentadas com Argamassa AC-III-E

Tempo	Tensão (MPa)							
	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo	Eliane	Porto Belo
5 min	1,19	1,31	0,59	0,86	0,96	1,12	1,00	1,29
10 min	0,79	0,90	0,55	0,99	0,83	0,89	0,83	0,9
15 min	0,74	1,06	0,49	1,00	0,71	0,99	0,74	0,95
20 min	0,32	0,35	0,45	0,48	0,45	0,44	0,52	0,65
25 min	0,27	0,20	0,18	0,50	0,25	0,43	0,25	0,50
30 min	0,27	0,20	0,18	0,28	0,09	0,39	0,1	0,40

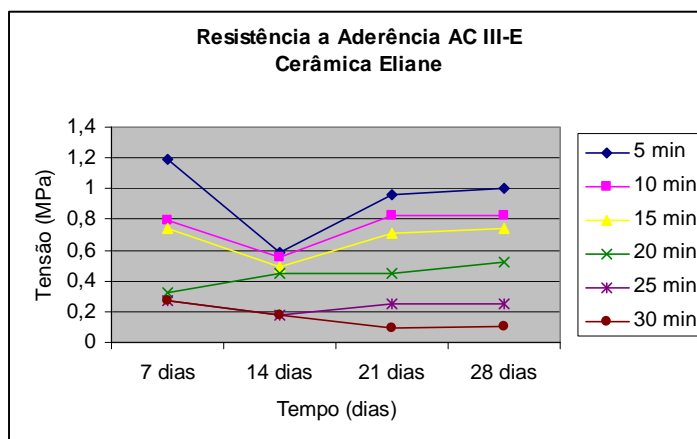


Figura 16 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-III-E utilizando cerâmica Eliane

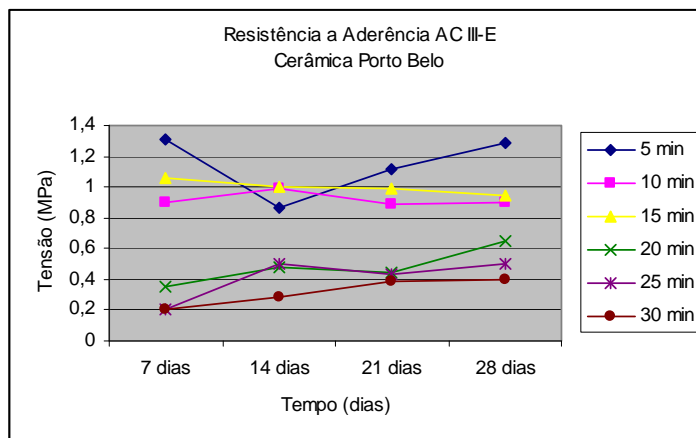


Figura 17 – Gráfico da resistência a aderência para a argamassa AC-III-E utilizando cerâmica Porto Belo

Para a argamassa do tipo AC-I, os melhores resultados foram para o tempo em aberto de 5 minutos, atingindo 0,67 MPa para a cerâmica de baixa absorção e 0,55 MPa para a cerâmica de alta absorção. A argamassa do tipo AC II apresentou resultados satisfatórios isolados, resultando em um excelente resultado de resistência de aderência para o tempo de cura de 28 dias e tempo em aberto de 5 minutos. Os ensaios com a argamassa do tipo AC-III, nos revela um ótimo resultado para o tempo em aberto de 5 minutos para os dois tipos de cerâmica, a cerâmica de baixa absorção também tem bons resultados para os tempos em aberto de 10 e 15 minutos. A Argamassa especial ou ACIII-E, apresentou excelentes resultados para o tempo em aberto de 5, 10 e 15 minutos para os dois tipo de cerâmica, para a cerâmica Porto Belo, o resultado foi ainda melhor, com 28 dias de cura e 25 minutos de tempo em aberto, a argamassa apresentou uma resistência de 0,50 MPa, podendo ser comprovado através da figura 16 e 17.

6.5 DETERMINAÇÃO DO DESLIZAMENTO PARA ARGAMASSA COLANTE INDUSTRIALIZADA PARA ASSENTAMENTO DE PLACAS DE CERÂMICA

Estes ensaios foram realizados para a determinação do deslizamento de placas cerâmicas, quando assentadas com argamassa colante industrializada em paredes, pelo método da camada fina.

6.5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- Argamassa Colante Industrializada preparada de acordo com o item 6.2.2.1 deste relatório
- Substrato-padrão de acordo com o item 6.2.2.2 deste relatório
- Aparelhagem de mistura e determinação da consistência descrita em 6.2 deste relatório
- Três placas de cerâmica 10 cm x 10 cm, prensadas não esmaltadas, com face tardoz planos e lisos, sem ressaltos, com absorção de água (3 ± 1)% e massa individual de (175 ± 10)g
- Régua metálica rígida, com cerca de 500 mm de comprimento
- Fita adesiva de 25 mm de espessura
- Seis espaçadeiras de aço inoxidável, com formato de pastilha quadrada de 25 mm e espessura de 10 mm
- Peso padrão de material sólido, rígido, de (50 ± 1) N e com base de seção quadrada com 100 mm de lado.
- Paquímetro com resolução de 0,1 mm
- Dispositivo de prensagem para prender firmemente a régua metálica rígida ao substrato padrão (por exemplo: presilha)

6.5.2 METODOLOGIA

Prendeu-se a régua metálica rígida contra a borda longitudinal do substrato-padrão, mediante dispositivo de prensagem, de modo que os lados da regue e do substrato ficassem coincidentes.

Colou-se a fita adesiva sobre o substrato-padrão de modo que a sua aresta ficasse rente a régua.

Preparou-se uma porção de argamassa colante conforme já descrito anteriormente neste relatório.

Estendeu-se a argamassa preparada sobre o substrato-padrão limpo e seco, na posição horizontal, tomando precauções para que a argamassa se sobreponha ligeiramente à fita adesiva e que os cordões ficasse perpendiculares à régua metálica.

Retirou-se a fita imediatamente e posicionou-se dois espaçadores, separados 25 mm entre si, encostados contra a régua metálica.

Após 2 min da aplicação da argamassa, posicionaram-se três peças de cerâmica, de modo que um de seus lados ficasse encostado centralizadamente contra os seus espaçadores e carregou-se durante 30 s com a massa padrão.

Retiraram-se cuidadosamente os espaçadores e mediu a separação (L) entre a borda de cada placa cerâmica e a régua metálica, com paquímetro em dois pontos definidos.

Logo após, moveu-se suavemente o substrato-padrão, deixando-o na posição vertical, com a régua metálica e as peças cerâmicas assentadas na parte superior. Realizou-se esta operação sem golpes ou vibração. Decorridos 20 min. Da leitura inicial, mediu-se novamente a separação (L_f) nos mesmos pares de pontos. Registrou-se os valores com aproximação de 0,1 mm.

6.5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calculou-se o deslizamento (L) de posição das três placas cerâmicas com a média das diferenças entre as leituras final e inicial, mediante a expressão:

$$L = \frac{\sum(L_i - L_f)}{3} \quad (4)$$

Onde:

L é o deslizamento em mm

L_i é a leitura inicial

L_f é a leitura final

Os resultados devem ser expresso em milímetros, com aproximação de 0,1 mm mais próximo.

Tabela 14 – Resultados de ensaio de deslizamento para a argamassa do tipo AC-I

Corpo de prova	Li	Lf	L	Resultado
1	25.25	25.20	0,05	0,03
2	25.25	25.25	0,00	
3	25.25	25.20	0,05	

Tabela 15 – Resultados de ensaio de deslizamento para a argamassa do tipo AC-II

Corpo de prova	Li	Lf	L	Resultado
1	25.45	25.35	0,10	0,07
2	25.60	25.55	0,05	
3	25.60	25.55	0,05	

Tabela 16 – Resultados de ensaio de deslizamento para a argamassa do tipo AC-III

Corpo de prova	Li	Lf	L	Resultado
1	25.90	25.50	0,40	0,38
2	25.90	25.55	0,35	
3	25.90	25.50	0,40	

Tabela 17 – Resultados de ensaio de deslizamento para a argamassa do tipo AC-III-E

Corpo de prova	Li	Lf	L	Resultado
1	25.90	25.45	0,45	0,43
2	25.90	25.45	0,45	
3	25.90	25.50	0,40	

De acordo com a NBR 14085/1998, o resultado do deslizamento para as argamassas colantes industrializadas o resultado deve ser inferior ou igual a 0,50 mm. Desta forma, todos os tipos de argamassas testadas foram aprovadas. Nota-se o aumento L de deslizamento para as argamassas AC-III e AC-III-E, isto ocorre devido ao fato destas argamassas possuírem maiores quantidades de produtos químicos, sendo então uma colagem mais química do que mecânica, como o processo químico de colagem leva um maior tempo, as placas cerâmicas tendem a deslizar mais quando comparadas às placas assentadas as com as argamassas do tipo AC-I e AC-II.

CONCLUSÃO

7. CONCLUSÃO

O estágio realizado na Industrial Potengy foi de grande importância para a minha formação profissional, no que pude colocar em prática os conhecimentos teóricos que adquiri na universidade ao longo dos cinco anos de estudo. Todavia, as dificuldades ainda persistiram, principalmente pela área de atuação do meu estágio, onde para a área de materiais ainda não é dada grande importância, porém isto serviu de grande incentivo para que além do estágio eu continuasse a estudar.

Na Industrial Potengy, tive contatos com diversos engenheiros e participei de várias visitas técnicas a algumas construtoras, pude avaliar e diagnosticar os problemas acarretados em alguns edifícios por ela construídos. Participei de palestras e cursos que somaram ao meu grau de conhecimento.

É com imensa satisfação e êxito que encerro o meu estágio, onde todo o aprendizado irá ficar para sempre marcada na minha formação.

***REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS***

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIORITO, A. J. S. I. Manual de Argamassas e revestimento. Estudos e Procedimentos de Execução. São Paulo. Ed. Pini, 1994, 1ª edição.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529 Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

_____ NBR 13276 Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____ NBR 13753 Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1995.

_____ NBR 13754 Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1995.

_____ NBR 14081 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica: especificação. Rio de Janeiro, 1998.

_____ NBR 14083 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 1998.

_____ NBR 14084 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação da resistência de aderência. Rio de Janeiro, 1998.

_____ NBR 14085 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 1998.

ANEXOS
Relatório de Estágio

Tabela 03 - Resistência de aderência de placas assentadas após 15 minutos e com condicionamento de 7 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura							
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e			
AC-I	504	326	2500	0,2	0,13		E	PB					
AC-II	783	1268	2500	0,31	0,51	E	PB						
AC-III	852	1339	2500	0,34	0,54		E	PB					
AC-III-E	1847	2668	2500	0,74	1,06	E	PB						

Tabela 04 - Resistência de aderência de placas assentadas após 20 minutos e com condicionamento de 7 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura							
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e			
AC-I	461	122	2500	0,18	0,05		E	PB					
AC-II	701	870	2500	0,51	0,35	E		PB					
AC-III	1010	975	2500	0,40	0,39		E	PB					
AC-III-E	808	868	2500	0,32	0,35		E	PB					

Tabela 05 - Resistência de aderência de placas assentadas após 25 minutos e com condicionamento de 7 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura							
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e			
AC-II	300	340	2500	0,12	0,13		E	PB					
AC-III	836	876	2500	0,33	0,35		E	PB					
AC-III-E	671	489	2500	0,27	0,2		E	PB					

Tabela 06 - Resistência de aderência de placas assentadas após 30 minutos e com condicionamento de 7 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura							
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e			
AC-III-E	671	489	2500	0,27	0,2		E	PB					

Tabela 07 - Resistência de aderência de placas assentadas após 5 minutos e com condicionamento de 14 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	701	1287	2500	0,28	0,51	E			PB					
AC-II	949	774	2500	0,38	0,31	E	PB							
AC-III	1401	2502	2500	0,56	1,0			E	PB					
AC-III-E	1483	2150	2500	0,59	0,86	E			PB					

Tabela 08 - Resistência de aderência de placas assentadas após 10 minutos e com condicionamento de 14 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	601	544	2500	0,24	0,22			E	PB					
AC-II	881	874	2500	0,35	0,35	E	PB							
AC-III	1084	1278	2500	0,43	0,51			E	PB					
AC-III-E	1381	2484	2500	0,55	0,99			E	PB					

Tabela 09 - Resistência de aderência de placas assentadas após 15 minutos e com condicionamento de 14 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	517	345	2500	0,21	0,14			E	PB					
AC-II	723	850	2500	0,29	0,34	E	PB							
AC-III	780	1179	2500	0,31	0,47			E	PB					
AC-III-E	1226	2500	2500	0,49	1			E	PB					

Tabela 10 - Resistência de aderência de placas assentadas após 20 minutos e com condicionamento de 14 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	128	122	2500	0,05	0,05			E	PB					
AC-II	730	1163	2500	0,29	0,47	E	PB							
AC-III	635	1034	2500	0,25	0,41			E	PB					
AC-III-E	1117	1200	2500	0,45	0,48			E	PB					

Tabela 11 - Resistência de aderência de placas assentadas após 25 minutos e com condicionamento de 14 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-II	149	200	2500	0,06	0,08		E	PB						
AC-III	681	660	2500	0,27	0,26		E	PB						
AC-III-E	453	1239	2500	0,18	0,5		E	PB						

Tabela 12 - Resistência de aderência de placas assentadas após 30 minutos e com condicionamento de 14 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-III-E	453	690	2500	0,18	0,28		E	PB						

Tabela 13 - Resistência de aderência de placas assentadas após 5 minutos e com condicionamento de 21 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	686	1019	2500	0,27	0,41	E	PB							
AC-II	1201	849	2500	0,48	0,34	E	PB							
AC-III	1543	2803	2500	0,61	1,12	E	PB							
AC-III-E	2401	2812	2500	0,96	1,12	E	PB							

Tabela 14 - Resistência de aderência de placas assentadas após 10 minutos e com condicionamento de 21 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	484	540	2500	0,19	0,22		E	PB						
AC-II	1136	1613	2500	0,45	0,65	E	PB							
AC-III	1030	1978	2500	0,41	0,79	E	PB							
AC-III-E	2075	2226	2500	0,83	0,89	E	PB							

Tabela 15 - Resistência de aderência de placas assentadas após 15 minutos e com condicionamento de 21 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	537	375	2500	0,21	0,15			E	PB					
AC-II	818	843	2500	0,33	0,34	E	PB							
AC-III	799	1550	2500	0,32	0,62	E	PB							
AC-III-E	1775	2483	2500	0,71	0,99	E	PB							

Tabela 16 - Resistência de aderência de placas assentadas após 20 minutos e com condicionamento de 21 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	84	32	2500	0,03	0,01			E	PB					
AC-II	719	870	2500	0,29	0,35	E	PB							
AC-III	642	1098	2500	0,26	0,44	E	PB							
AC-III-E	1135	1108	2500	0,45	0,44	E	PB							

Tabela 17 - Resistência de aderência de placas assentadas após 25 minutos e com condicionamento de 21 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-II	395	200	2500	0,16	0,08			E	PB					
AC-III	634	746	2500	0,25	0,3	E	PB							
AC-III-E	635	1080	2500	0,25	0,43	E	PB							

Tabela 18 - Resistência de aderência de placas assentadas após 30 minutos e com condicionamento de 21 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-III-E	232	975	2500	0,09	0,39			E	PB					

Tabela 19 - Resistência de aderência de placas assentadas após 5 minutos e com condicionamento de 28 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	A	b	c	d	e				
AC-I	1691	1380	2500	0,68	0,55	E	PB							
AC-II	1693	1700	2500	0,68	0,68	E	PB							
AC-III	1424	2557	2500	0,57	1,02	E	PB							
AC-III-E	2498	3225	2500	1,00	1,29	E	PB							

Tabela 20 - Resistência de aderência de placas assentadas após 10 minutos e com condicionamento de 28 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	A	b	c	d	e				
AC-I	785	892	2500	0,31	0,36	E	PB							
AC-II	896	827	2500	0,36	0,33	E	PB							
AC-III	1124	1888	2500	0,45	0,76	E	PB							
AC-III-E	2076	2251	2500	0,83	0,9	E	PB							

Tabela 21 - Resistência de aderência de placas assentadas após 15 minutos e com condicionamento de 28 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	A	b	c	d	e				
AC-I	668	692	2500	0,27	0,28	E	PB							
AC-II	983	725	2500	0,39	0,29	E	PB							
AC-III	975	1597	2500	0,39	0,64	E	PB							
AC-III-E	1850	2375	2500	0,74	0,95	E	PB							

Tabela 22 - Resistência de aderência de placas assentadas após 20 minutos e com condicionamento de 28 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura								
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e				
AC-I	521	483	2500	0,21	0,19	E		PB						
AC-II	596	527	2500	0,24	0,21	E		PB						
AC-III	601	525	2500	0,24	0,21	E		PB						
AC-III-E	1299	1625	2500	0,52	0,65	E	PB							

Tabela 23 - Resistência de aderência de placas assentadas após 25 minutos e com condicionamento de 28 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura							
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e			
AC-II	100	101	2500	0,04	0,04		E	PB					
AC-III	98	97	2500	0,04	0,04		E	PB					
AC-III-E	625	1249	2500	0,25	0,50	E	PB						

Tabela 24 - Resistência de aderência de placas assentadas após 30 minutos e com condicionamento de 28 dias.

Argamassa (Tipo)	Carga (N)		Seção (mm ²)	Tensão (Mpa)		Formato de Ruptura							
	Eliane	Porto Belo		Eliane	Porto Belo	a	b	c	d	e			
AC-III-E	250	1001	2500	0,1	0,40		E	PB					