

**O ENSINO DE ANTEPROJETOS DE TECNOLOGIAS INORGÂNICAS NA
GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PARTE II - PROCESSO EM ESCALA LABORATORIAL**

Abraham Zakon,

Prof. Adjunto, Eng. Químico, Dr. Eng.

Laboratório de Compostos Cerâmicos, Departamento de Processos Inorgânicos,
Escola de Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ
Telefones: 0XX-21-562-7643 Fax: 562-7567 E-mail: zakon@h2o.eq.ufrj.br

Wilson de Norões Milfont Jr.

Prof. Adjunto, Químico Industrial, Consultor, Mestrando

Departamento de Processos Orgânicos, Escola de Química,
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ
Telefones: 0XX-21-562-7585 Fax: 562-7567 E-mail: milfont@h2o.eq.ufrj.br

***Resumo.** Os exercícios de anteprojetos de processos químicos inorgânicos na escala laboratorial têm sido executados por alunos de graduação e pós-graduação da EQ-UFRJ, para que enxerguem a equivalência de instalações industriais e laboratoriais e as limitações práticas. É necessário consultar as enciclopédias de tecnologia química e coleções similares nas bibliotecas, antigos e recentes, livros de química geral, inorgânica, analítica e catálogos de materiais de laboratório. Cada trabalho inclui o seu diagrama de blocos do processo, balanço de massa simplificado e o respectivo sistema de controle da qualidade, apresentados sob forma de memória de cálculo, escrita à mão. Especificam-se matérias-primas e equipamentos, com referências resumidas em tabelas. A redação sucinta favorece o encadeamento das idéias e dados. Esses exercícios complementam a avaliação da aprendizagem. Os temas são os mesmos dos exercícios da escala industrial - cada aluno executa os dois em sequência. Neste trabalho apresentam-se o roteiro do que se pede em escala laboratorial e um exemplo completo executado por um mestrando. É possível demonstrar ao aluno que os mesmos aparelhos, instrumentos e recursos são válidos para sistemas de controle químico da qualidade e para pesquisa e desenvolvimento de processos e produtos. Esse trabalho configura uma atividade de engenharia de processo inorgânico.*

Palavras chave: Anteprojetos, Engenharia Química, Tecnologia Química, Laboratório

**1. DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS INORGÂNICOS INDUSTRIAIS E
SISTEMAS DE CONTROLE QUÍMICO DA QUALIDADE EM LABORATÓRIO**

As atividades de projeto (de equipamentos de operações unitárias e reatores químicos e

bioquímicos) no ensino de engenharia química constituíram durante décadas a essência do curso de graduação. A distinção entre engenharias de processo e projeto não era visualizada com facilidade, pois coexistiam cursos de química industrial e engenharia química, e admitia-se que esta deveria (e deve) exercer as atividades de projeto. Assim, projetar ou desenvolver um processo químico industrial tornou-se um enigma para muitos profissionais recém-formados, aliados do ensino desta atividade no seu curso de graduação. Um aspecto introduzido na disciplina “Introdução à Tecnologia Inorgânica” do Departamento de Processos Inorgânicos, a partir de 1990, foi o “anteprojeto de aparatos laboratoriais” (“scale down”) relacionado aos processos químicos industriais e seus sistemas de controle químico da qualidade. Foi necessário mostrar para os alunos a equivalência entre os recursos de bancada e os equipamentos das escalas piloto e industrial (Tabela 1).

Um processo químico industrial inclui fornecimento, processamento e envasamento de substâncias e materiais consumidos e produzidos. O regime de operação dos reatores e demais equipamentos (se batelada ou descontínuo, batelada alimentada, semi-contínuo ou contínuo) resulta numa fábrica operando durante o dia, ou dia e noite, e indica o número de turnos ou expedientes de trabalho de operários, e se funcionará aos sábados, domingos e feriados. A existência de um fluxograma de processo e a definição do seu regime de operação, bem como o volume de produção diário (tonelagem, metros cúbicos), o nível de pureza dos produtos, e as exigências de segurança industrial constituem o núcleo básico decisório para se estabelecer ou criar um sistema de controle químico da qualidade.

Cada operação unitária ou etapa de conversão unitária pode ser precedida, acompanhada ou sucedida por uma atividade de controle químico da qualidade das substâncias envolvidas: ou seja, análises qualitativas e quantitativas da sua composição, determinação de parâmetros físicos e físico-químicos e ensaios de desempenho.

Uma operação unitária como a moagem, pode ser precedida e sucedida de operações de peneiração, para separar os finos e permitir o ingresso e o retorno dos grossos, e a atividade de controle é uma determinação física que deve ser repetida em laboratório, porque o uso constante de uma peneira industrial pode conduzir ao seu desgaste e corromper a produção. Além disso, o exame visual das partículas das amostras, antes e após a peneiração laboratorial, inclusive daquelas retidas na tela de uma peneira fina, pode revelar se está ocorrendo desgaste dos corpos moedores e do revestimento interno do moinho, ou se a tela metálica ou polimérica rompeu-se ou desgastou-se com a abrasividade e os impactos gerados.

Uma conversão química promovida em um forno pode exigir, além do exame visual de um produto sólido, a realização de análises instrumentais envolvendo, por exemplo, difratometria de raios-X ou fluorescência de raios-X ou espectrometria de infravermelho ou microscopia óptica (metalografia ou ceramografia), para que se conheçam as fases cristalinas e vítreas formadas. Os gases de combustão do mesmo forno podem ser avaliados por um aparelho de Orsat, (conforme na produção criogênica de oxigênio e nitrogênio) para que se conheça a sua composição química. Uma conversão química promovida pela floculação de uma água turva pode ser pré-avaliada por um ensaio de sedimentação de uma amostra numa pipeta, para que se possa avaliar se o sobrenadante formado está límpido ou turvo e qual o nível final de lodo formado. A rapidez da coleta da informação é determinante para a escolha de métodos analíticos e determinativos, em função do maior número de amostras viáveis e da menor dependência de pessoas para realizá-las.

A princípio, um sistema completo de controle químico da qualidade parece ser o ideal, mas os custos da aparelhagem, da coleta e processamento analítico de muitas amostras e dos demais recursos laboratoriais e humanos podem encarecer, restringir e mesmo reduzir a concepção inicial. Isto significa que qualquer profissional podia (e devia) usar lápis, papel e borracha para estudar diversas modalidades de sistemas de controle químico da qualidade, em

função das alternativas de viabilidade técnica, simplicidade e custos. A definição do sistema ideal se completa com uma lista dos recursos analíticos e a elaboração de um cronograma semanal de atividades de controle. Atualmente com os recursos providos por computação é possível vislumbrar mais uma área inovadora para estudos de simulação de sistemas de controle químico da qualidade. Para a seleção dos métodos analíticos já citados, é necessário consultar coleções antigas e novas de enciclopédias químicas, tecnológicas, bem como as normas técnicas, envolvendo associações especializadas tais como ABNT, ASTM e outras como ABC, ABM, ABIVIDRO, ABCP, IBP. Cada matéria-prima, insumo, produto, rejeito ou efluente deve ser listado com os métodos pertinentes à sua identificação ou avaliação de propriedades convenientes e inconvenientes. As análises químicas dividem-se em clássicas e instrumentais, destacando-se nestas as microscópicas.

2. O SEGUNDO EXERCÍCIO INDIVIDUAL DE ANTEPROJETO TECNOLÓGICO

A Figura 1 apresenta os itens solicitados aos alunos dos cursos de graduação e pós-graduação de engenharia química. Durante os anos iniciais em que foi concebido tal roteiro, a cobrança em nível de graduação era de relatórios em grupo, onde cada quatro alunos trabalhavam nas Bibliotecas da Escola de Química e do Centro de Tecnologia da UFRJ e elaboravam suas consultas e anteprojetos. Entre 1993 e 1995 foi possível cobrar individualmente dos alunos de mestrado a execução de tais exercícios. Em 1998, adotou-se a cobrança individual no curso de graduação de engenharia química. Os alunos de graduação demonstram alguma dificuldade em se libertar dos vícios da “lógica matemática” absorvida nos três primeiros anos do curso para enfrentar a “lógica da vivência prática”, porém encaram o exercício como uma oportunidade de aprender o uso de ferramentas importantes.

3. CONCLUSÕES

Os exercícios de anteprojetos nas disciplinas de graduação agilizam, num curso de engenharia química, o aprendizado em partes das diversas atividades de um “projeto completo”. A adoção dos exercícios de anteprojetos em disciplinas preliminares pode prover a melhoria do desempenho do aluno numa disciplina específica de “projeto” ou substituí-la.

AGRADECIMENTOS: Doutorando Eng. Químico Fábio Takeshi Mizutani, EQ – UFRJ.

REFERÊNCIAS:

ZAKON, A. - Introdução às Engenharias de Projeto e Processo das Tecnologias Inorgânicas - Apostila, Escola de Química da UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

Tabela 1 - Correspondência entre aparelhos e instrumentos de bancada e equipamentos das escalas pilotos e industriais

| <i>ATIVIDADE</i> | <i>BANCADA</i> | <i>PILOTO / INDUSTRIAL</i> |
|---|--|---|
| Estocagem de gases, líquidos e sólidos | buiões e cilindros garrafas, frascos, reservatórios, sacos bandejas, caixotes | buiões, cilindros, esferas tanques, reservatórios, sacos tambores, vagões ferroviários, pátios cobertos e descobertos |
| Transporte de sólidos | frascos, sacos, bandejas, caixotes, papel de pesagem, vidro de relógio, espátulas, colheres, funis | vagões de trem, caminhões, transportadores-parafuso, esteiras rolantes, elevadores de caçamba, transportadores vibratórios, osciladores e pneumáticos |
| Transporte e bombeamento de gases e líquidos | frascos, sacos plásticos pipetas, conta-gotas, peras de borracha, succão e sopro humanos, trompa de vácuo, funis e tubos de vidro borracha e plástico | vagões de trem, caminhões, compressores, ventiladores, sopradores, bombas, ejetores, sistemas de vácuo, tubulações de plástico e metálicas mangueiras de borracha |
| Redução de tamanho | gral e pistilo, facas e martelos | britadores, moinhos e pulverizadores |
| Filtração | papel, algodão, areia por gravidade e vácuo | tortas e meios filtrantes por gravidade, pressão e vácuo |
| Instrumentação e controle do processo | amostragem, medição e controles manual ou semi-automático das propriedades, operações e imprevistos, registro em cadernos e disquetes | deteccão, medição, registro e controle automático por instrumentos e computadores; amostragem e análises por inspetores e analistas de COO é opcional ou complementar |
| Utilidades | tomadas de 110 e 220 v pilhas elétricas, conversores e baterias, águas potável, destilada banhos-maria, mantas elétricas, gás combustível, ar comprimido direto, gelo, refrigeradores, | subestações transformadoras, retificadores de corrente, estabilizadores, "no breaks", sistema de tratamento d'água, caldeiras a vapor, fluidos térmicos encamisados, carvão, óleo/gás combustível, ar comprimido via tubos sistemas de refrigeração |
| Queimas | bicos de gás, fornos | fornos e incineradores |

ANTE-PROJETO DE APARATO(S) EM ESCALA LABORATORIAL DO PROCESSO DO 1º
EXERCÍCIO PARA EXTRAÇÃO/PRODUÇÃO DO MESMO MATERIAL:
"Quem ouve, esquece. Quem vê, lembra alguma coisa. Quem faz, aprende."(Platão).

1. PROJETAR UM APARATO EM ESCALA DE LABORATÓRIO que sirva para obter em bancada o produto indicado no 1º exercício individual, a partir das mesmas matérias-primas e insumos; apresente uma nova figura com as etapas correspondentes, segundo os critérios seguintes:

1.1 - (1,0) - um novo diagrama de blocos indicando aparelhos, instrumentos e equipamentos,

1.2 - (1,0) - incluir, resumidamente, as respectivas condições de processamento laboratorial em cada etapa e as especificações para cada matéria-prima ou substância em cada seta de entrada ou saída.

1.3 - (1,0) - numa tabela, apresentar as reações químicas características da(s) etapa(s) de conversão química e as quantidades que poderão ser consumidas em cada ensaio de operação do aparato (*);

2. SELECIONAR E APRESENTAR, EM FORMA DE TABELAS, utilizando catálogos de aparelhos e equipamentos de laboratório existentes na Biblioteca Setorial da Escola de Química e no DPI, os seguintes itens:

2.1 - (1,5 pontos) - aparelhos, equipamentos e instrumentos;

2.2 - (1,5 pontos) - vidrarias e cerâmicas;

2.3 - (1,5) - reagentes químicos e papéis; (*) - as quantidades devem ser compatíveis com o item 1.3

2.4 - (1,5) - acessórios e utensílios (bandejas, pipetas, frascos de estocagem, cadinhos, espátulas, garras, luvas, óculos, capelas, termômetros e outros itens de segurança). Cada tabela deverá conter para cada item de projeto: (a) - uma descrição ou especificação resumida; (b) - referência resumida do catálogo consultado; (c) - quantidades estimadas por cada substância ou material;

(*) - no caso de reagentes, pode-se admitir o consumo mínimo para dez ensaios de operação do aparato e uso de um frasco ou embalagem comercial (indicando a sua capacidade) (**).

3. APRESENTAR REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3.1 - (0,5 ponto) - Apresente as referências bibliográficas completas no final do texto;

3.2 - (0,5 ponto) - Ao longo do texto, apresente referências resumidas entre parêntesis - ou seja, número de tabela ou gráfico ou página e sobrenome dos autores e ano.

4. OBSERVAÇÕES:

4.1 - Utilize linguagem resumida e tente limitar o texto a 6 (seis) páginas.

4.2 - Podem ser atribuídos pontos complementares para criatividade, em casos novos ou de execução difícil; isto significa: se não forem encontrados aparelhos ou concepções laboratoriais similares na literatura técnica, o(a) autor(a) pode propor um esquema alternativo, apresentando desenhos ilustrativos (técnicos ou pictóricos).

4.3 - É vedado xerocar figuras.

4.4 - É desnecessário estimar e apresentar custos (inclusive no exercício anterior) !

4.5 - A memória de cálculo deverá conter na página de rosto o nome e a assinatura do(a) autor(a). As demais páginas deverão ser conferidas e rubricadas

4.6 - Padronizar em folhas brancas A-4 (ou de memórias de cálculo), sem capas.

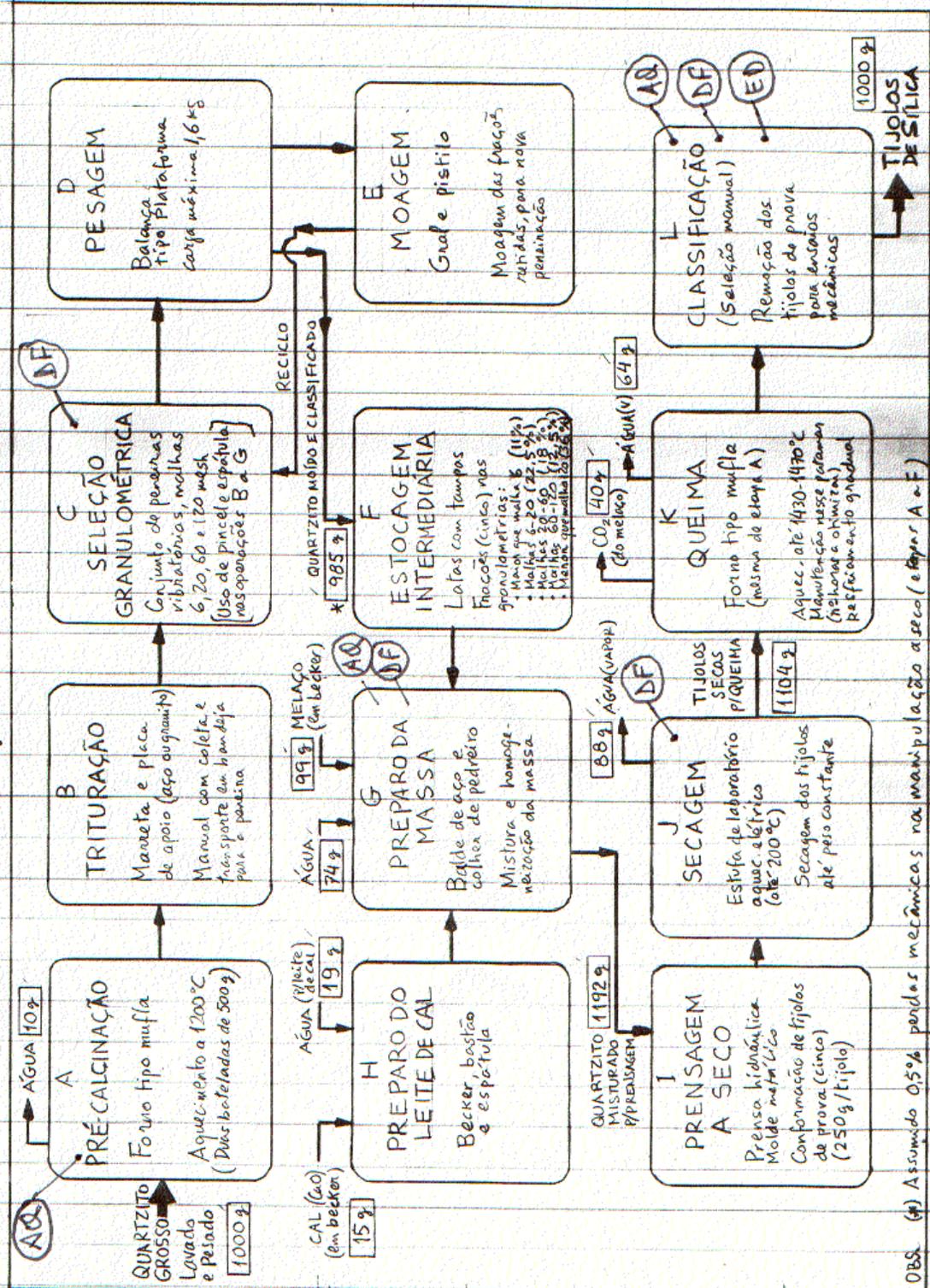
(**) - Em geral, qualquer aparato químico, industrial ou laboratorial, é submetido à uma pré-operação, no qual se revelam as falhas, omissões ou exageros porventura existentes no projeto - daí, é necessário prever e prover um estoque de segurança referente a um consumo de reagentes e materiais de consumo acima das quantidades estequiométricas, cujo critério acima foi sugerido, mas pode ser modificado pelos interessados.

Figura 1 - Teor do 2º exercício de anteprojeto de processo químico inorgânico

ALUNO: Wilson de Noroães Milfont Jr.

2º EXERCÍCIO INDIVIDUAL: ANTE-PROJETO DE APARATO EM ESCALA LABORATORIAL:
 PRODUÇÃO DE TIJOLOS REFRAATÓRIOS DE SÍLICA

1.1 a 1.3 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO - (O parâmetro em batelada para produção de 1000 g (4 tijolos de 250g/bat) inclusive balanço material/Consumo de reagentes. Conceção livre com base em Pereira [1] p.92-101, e Zakon [2] p.65 e 113.)



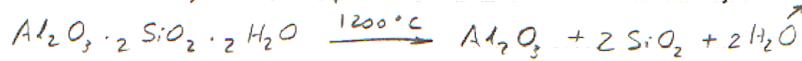
OBS: (*) Assumido 0,5% perdas mecânicas na manipulação a seco (etapas A e F)

Figura 2 - Folha 1

1.2 - REAÇÕES QUÍMICAS (mesmas do exercício 1)

ETAPA A - Pre-Calцинаção

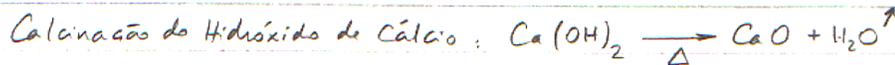
Decomposição da Argila (sob forma de silicato de alumínio):



ETAPA H - Preparo do Leite de Cal



ETAPA K - Queima



Decomposição do Melão (Considerado por aproximação como "poli"glucose):



1.3 - ESPECIFICAÇÕES E CONSUMO (OU GERAÇÃO) DE MATÉRIAS-PRIMAS, (Com Indicações de possíveis fornecedores)

2.3 - REAGENTES E PRODUTOS

| DESIGNAÇÃO | ESPECIFICAÇÃO / REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA | FORNECEDOR & QUANTIDADE NECESSÁRIA (para 10 bateladas) |
|-------------------------------|--|---|
| Quartzito (grosso, lavado) | Minério de quartzo em fragmentos grosseiros, excluindo manualmente de pedaços maiores que 5cm para facilitar a trituração Análise Química Típica: (Adaptada de Pereira [4]) Sílica: 96%; Óxidos Fundentes (como Al ₂ O ₃) ≤ 0,6% Outros Óxidos: 2,4%; Perda ao Fogo: 1,0% | Mineração Jurdu (Descalvado, SP) [5] • Amostra de 10-15 kg permitindo descartar pedras maiores e efetuar pelo menos 10 corridas |
| Cal Virgem | Óxido de Cálcio, em pó (granulométrico) Teor de CaO > 98% | B. Herzog (Rio, RJ) • Embalagem de 250g ou menor caso disponível |
| Melão | Líquido viscoso, cor castanha, d ≈ 1,3 Sub-produto da cristalização do açúcar de cana. | Usinas do Açúcar do Norte Fluminense • 1,0 - 1,5 kg |
| Tijolos de Sílica | Análise Química Típica: (Estimada e adaptada a partir de Pereira [4]) Sílica: 96,0%; Óxido de Cálcio: 3,0%; Alumina: 0,6%; Óxido de Ferro: 0,3% Porosidade Aparente: 17-24% Massa Específica Aparente: 1,8 - 1,9 g/cm ³ Resistência à Compressão: 300-400 kg/cm ² Módulo de Ruptura: 70-130 kg/cm ² | • Quantidades Produzidas: 1000 g (4 tijolos de 250g) por batelada |

Figura 2 - Folha 2

| | | | |
|---------|--------------------------------|---------|-------------|
| PROJETO | TIJOLOS REFRACTÁRIOS DE SÍLICA | REVISÃO | FOLHA |
| ASSUNTO | Exercício 2 - ANTE-PROJETO LAB | 0 | 3 DE |
| | | | REV DATA |
| | | | 0 28/12/199 |

2.1 - RELAÇÃO DOS APARELHOS EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS

| ETAPA DO PROCESSO | DESIGNAÇÃO | MODELO/ESPECIFICAÇÃO | QUANTIDADE | REFERÊNCIA |
|-------------------|--|---|------------|------------|
| A e K | Forno tipo mufla | Thermoline 46200 (atinge 1600°C) High Temperature Furnace (Instalada no Lab. DPI/EQ-UFRJ) | 1 | - |
| C | Sistema de Peneiras Vibratórias ("Thomas Sieve Shaker") | Modelo 8324-A10, com 4 peneiras, malhas 6, 20, 60 e 120 mesh | 1 | [3] p 63 |
| D | Balança Tipo Plataforma ("Ohaus Dial-O-Gram") | Mod. 1381 H-10, Capac. 1600g, sensibilidade 0,1g | 1 | [3] p 94 |
| I | Prrensa Hidráulica | "Carver, Laboratory model", completa com acessórios, pressão até 24000 lb/in ² | 1 | [3] p 108 |
| J | Estufa de Secagem | "Boeckel, Model 1078" - 7187-D10 Com termopar e seletor p/ controle Temp. 40-200°C | 1 | [3] p 95 |

2.2 - VIDRARIAS E CERÂMICAS

| ETAPA DO PROCESSO | DESIGNAÇÃO | ESPECIFICAÇÃO | QUANTIDADE | REFERÊNCIA |
|-------------------|---------------------------------|---|------------|------------|
| A e K | Cadinho de porcelana, 250 ml | 3319-B87, diam interno 84 mm, altura 72 mm | 3 | [3] p 435 |
| E | Grnel de porcelana, com pistilo | Similar ao 3365-E25, para operação manual, diâmetro interno 100 mm | 1 | [3] p 441 |
| Diversas | Becker, forma alta, 300 ml | Vidro borossilicato, graduado ref. 2450 | 1 | [4] p 25 |
| | Becker, forma alta, 600 ml | | 1 | [4] p 25 |
| Diversas | Proveta graduada, 20 ml | Vidro borossilicato, sem rolha grav. a ácido, faixa azul, Ref 5170 | 2 | [4] p 52 |
| | Proveta graduada 200 ml | | 2 | [4] p 52 |
| Diversas | Bastão de Vidro | Ref. 6590 | 4 | [4] p 67 |

Figura 2 – Folha 3

| | | |
|---|-----------------------|------------------|
| PROJETO TIJOLOS REFRAATÓRIOS DE SÍLICA | RUBRICA M. Wilfong | FOLHA 4 DE |
| ASSUNTO Exercício 2 - ANTE-PROJETO LAB | REV 0 | DATA 28/12/99 |

2.3 - ACESSÓRIOS E UTENSÍLIOS

| ETAPA DO PROCESSO | DESIGNAÇÃO | DESCRIÇÃO / FUNÇÃO | QUANTIDADE | REFERÊNCIA |
|-------------------|----------------------------|--|------------|-------------------------|
| B | Maneta | Cabo em madeira, cabeça em aço com aprox 5 cm de largura transversal. Para quebrar pedras quartzo. | 1 | - |
| B | Placa de Aço | Dimensões 30 x 30 x 2 cm. Base para quebrar pedras quartzo. | 1 | - |
| Diversas | Bacia de Alumínio | Diâmetro 25 a 30 cm. Para pesagem e movimentação de minério e fragmentos moídos. | 6 | |
| Diversas | Lata de Alumínio, c/ Tampa | Capacidade 300 a 500 ml. Para estocagem de minério e fragmentos moídos. | 10 | |
| G | Baldes de aço | Capac. 2ℓ. Preparo de massa. | 2 | |
| G | Colher de pedreiro | Para preparo de massa. | 2 | |
| Diversas | Trinchas e Pinças | Diversos tamanhos. Para auxiliar a coleta de material moído. | 4 | |
| A, J, K | Pinça metálica | Para movimentação e pesagem de cadinhos. | 2 | [3] p.1340, 1341 |
| Diversas | Espátula | Diversos tamanhos. Para manuseio e pesagem de material moído e de massa. | 4 | [3] p.1164 e 1165 |

| | | |
|---|-----------------------|------------------|
| PROJETO TIJOLOS REFRAATÓRIOS DE SÍLICA | RUBRICA M. Wilfong | FOLHA 5 DE |
| ASSUNTO Exercício 2 - ANTE-PROJETO LAB | REV 0 | DATA 28/12/99 |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. G. PEREIRA, "Tecnologia de Produtos Refratários", Editora Técnica Piping Ltda., Santo André, SP, 1985.
- [2] A. ZAKON, "Introdução às Tecnologias Inorgânicas", (Apostila), EQ/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- [3] A. H. THOMAS COMPANY, "Thomas Scientific Apparatus", Philadelphia, P.A., EUA, 1976.
- [4] QUIMEX, "Vidros Técnicos para Laboratórios." São Paulo, SP, 1978.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, "Anuário Brasileiro de Cerâmica São Paulo, SP, 1996.