



CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA FUMAGEIRA NA CONFECÇÃO DE BLOCOS
CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

Henrique Hickmann Sperb

Lajeado, dezembro de 2016.

Henrique Hickmann Sperb

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA FUMAGEIRA NA CONFEÇÃO DE BLOCOS
CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas do Centro
Universitário UNIVATES, como parte dos
requisitos obrigatórios para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Rafael Mascolo

Lajeado, dezembro de 2016.

Henrique Hickmann Sperb

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA FUMAGEIRA NA CONFECÇÃO DE BLOCOS
CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

A Banca examinadora abaixo aprova o Trabalho de Conclusão apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Orientador: Prof. M.Sc Rafael Mascolo
Mestre pela UFGRS – Porto Alegre, Brasil

Prof. M.Sc Betina Hansen
Mestre pela UFGRS – Porto Alegre, Brasil

Prof. M.Sc Débora Pedroso Righi
Mestre pela UFGRS – Porto Alegre, Brasil

Lajeado, dezembro de 2016.

RESUMO

A má gestão dos resíduos industriais, bem como a sua disposição inadequada ou sua inviabilidade de tratamento, geram graves impactos ambientais. Nesse contexto, a reciclagem provou-se, nas últimas décadas, uma alternativa sustentável para findar o acúmulo desses resíduos, proporcionando um destino ambientalmente interessante. O emprego dos rejeitos como matérias primas secundárias, além de diminuir o impacto ambiental, é capaz de gerar ganhos econômicos em razão da redução de matéria prima virgem. Assim, a indústria de confecção de materiais cerâmicos, como olarias, sobressai-se perante as demais ao possibilitar a utilização de diversos tipos de resíduos, através da adição à massa cerâmica, materiais para ganho de volume, desde que não comprometa as características técnicas mínimas necessárias de aceitação do produto final. Portanto, o objetivo desta pesquisa é realizar um estudo da viabilidade técnica, no que se refere à adição de resíduo da indústria fumageira em massa cerâmica na fabricação de blocos estruturais, apresentando-se assim, um destino alternativo para o pó de fumo. Os corpos de prova, blocos estruturais de 20 furos cujas dimensões são 11,5x9,0x24,0 cm, foram confeccionados em uma empresa na cidade de Venâncio Aires/RS, com os teores de adição de resíduo de 0%, 10%, 20% e 30% em peso dos corpos. A pesquisa utilizou dois tipos de fornos para a queima dos blocos: um forno intermitente de olaria, com temperatura de queima de 700° C, e uma mufla de laboratório, essa última com temperaturas de queima de 750° C, 800° C, 850° C e 900° C. Os blocos foram testados de forma a atenderem os requisitos de aceitação de blocos cerâmicos estruturais apresentados na NBR 15270-2 (ABNT, 2005), sendo estes os testes realizados: características geométricas, absorção de água e resistência à compressão. Os testes realizados mostraram que a adição do resíduo diminuiu a resistência e aumentou a taxa de absorção de água dos blocos, sem comprometer as características geométricas. Os blocos com teor de adição de até 20% apresentaram todas as características mínimas de aceitação. Foram reprovados os corpos de prova com o teor de 30% devido à absorção de água excessiva, apesar de ainda possuírem a resistência mínima requerida. Os testes da mufla mostraram que para a viabilização dos blocos com 30% de adição, a temperatura de queima deve ser superior a 800° C.

Palavras-chave: Argila. Pó de fumo. Reciclagem. Resíduo. Bloco estrutural.

AGRADECIMENTOS

Apesar de apenas meu nome estar na capa deste trabalho, a sua autoria não seria possível se não fosse por diversas outras pessoas. Portanto, para não ocorrerem injustiças, o mínimo que posso fazer é agradecer a algumas dessas pessoas por todo apoio oferecido.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha namorada, amiga e companheira, Sabrina Santos Lima, por estar sempre ao meu lado durante praticamente toda minha vida adulta, nada disso teria sentido se não fosse por ti. Por me ajudar na escrita deste trabalho, cuja correção ortográfica não poderia ser melhor, e por tornar meu aprendizado mais completo em todas áreas que me faltam.

A minha família e, adicionalmente, colegas de trabalho, minha mãe Sandra Lúcia Hickmann Sperb, meu pai Julio Carlos de Brito Sperb, meu irmão Eduardo Hickmann Sperb e ao meu primo Ricardo Hickmann dos Santos. Principalmente gostaria de agradecer por entenderem as horas durante horário de expediente que tive de investir neste trabalho de conclusão e por todo auxílio técnico oferecido.

Aos meus amigos e irmãos, Rodrigo Johann Reckziegel Nunes e Carlos Alexandre Wessling, por serem meus parceiros desde muito antes de eu pensar em me formar como Engenheiro Civil. Por darem essa válvula de escape e por todos os momentos de felicidade divididos.

Ao grupo de colegas CPSA-08, cujos membros Adriano Marcos Guindani, Alexandre Dornelles, D Jonas Sehnem, Eduardo Gabriel Delavi, Eduardo Zambiasi Forti, Ivandro da Costa, Rodrigo Johann Reckziegel Nunes e Rodrigo Otto Schwinn,

acompanharam toda essa jornada desde o princípio, mantendo um bom humor de causar inveja.

Ao meu orientador Rafael Mascolo, por ter tido a coragem de encarar esse trabalho junto comigo mesmo estando com uma sobrecarga horária. Pelos momentos descontraídos durante as orientações sem deixar de ser extremamente docente e técnico.

Ao meu amigo Engenheiro Mecânico, Ricardo Kist dos Santos, pelo debate sobre a escolha do tema deste trabalho e por todo apoio prestado. Ao grupo da Olaria Cerâmica Weber, pela gentileza de se oferecerem para produzir os blocos do trabalho e por todas novas amizades.

Ao pessoal do LATEC, Rodrigo Nicolini Weizenmann, Gilberto Batisti Jr. e Marcelo Costa, por terem me auxiliado nas inúmeras visitas ao laboratório e por terem a paciência de explicar todas as regras e procedimentos que eu desconhecia.

Por último, gostaria de agradecer a todos os membros do corpo de funcionários e professores da Univates por todos os momentos vividos durante esses 6 anos de curso. Todos vocês foram muito importantes para eu chegar onde estou agora.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de fabricação da cerâmica vermelha	17
Figura 2 - Galpões de secagem natural	21
Figura 3 - Fornos intermitentes	23
Figura 4 - Fornos semicontínuos.....	24
Figura 5 - Fornos contínuos	25
Figura 6 - Resíduo da indústria fumageira	28
Figura 7 - Ensaio de limite de liquidez.....	35
Figura 8 - Ensaio de limite de plasticidade.....	37
Figura 9 - Análise granulométrica: pó de fumo.....	38
Figura 10 - Ensaio de picnômetro: pó de fumo.....	40
Figura 11 – Produção dos blocos.....	42
Figura 12 – Secagem natural dos blocos	43
Figura 13 - Forno intermitente utilizado	44
Figura 14 - Mufla do LATEC, Univates.....	45
Figura 15 - Ensaio de desvio de esquadro e planeza das faces	46
Figura 16 - Ensaio de compressão em prensa hidráulica uniaxial	47
Figura 17 - Capeamento dos corpos de prova	48
Figura 18 - Blocos defeituosos	56

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica: argila.....	34
Gráfico 2 - Limite de liquidez	36
Gráfico 3 - Curva granulométrica: pó de fumo.....	39
Gráfico 4 - Taxas de absorção de água: mufla.....	55
Gráfico 5 - Resistência a compressão - média.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do resíduo	29
Tabela 2 - Análise granulométrica: argila	33
Tabela 3 - Massa específica: argila.....	34
Tabela 4 - Limite de liquidez.....	36
Tabela 5 - Limite de plasticidade	37
Tabela 6 - Análise granulométrica: pó de fumo	39
Tabela 7 - Massa específica: pó de fumo.....	41
Tabela 8 - Características geométricas: forno intermitente	50
Tabela 9 - Características geométricas médias: forno intermitente.....	50
Tabela 10 - Características geométricas: mufla	51

Tabela 11 - Absorção de água: forno intermitente	53
Tabela 12 - Absorção de água: mufla - resumo	54
Tabela 13 - Resistência à compressão	57

LISTA DE SIGLAS

SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo de Prova
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RSI	Resíduo Sólido Industrial
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivo Geral.....	13
1.2.1 Objetivos Específicos	13
1.3 Delimitações da pesquisa.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Blocos para alvenaria	16
2.1.1 Argila	17
2.1.2 Moldagem.....	18
2.1.3 Secagem.....	20
2.1.4 Queima	21
2.2 Resíduos sólidos.....	26
2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos.....	26
2.2.2 Resíduos sólidos industriais.....	27
2.2.3 Resíduos da agroindústria fumageira	27
2.3 Incorporação de resíduos em massa cerâmica.....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Caracterização dos materiais.....	33
3.1.1 Argila	33
3.1.1.1 Análise Granulométrica	33
3.1.1.2 Ensaio de massa específica	34
3.1.1.3 Ensaio de limite de liquidez.....	35
3.1.1.4 Ensaio de limite de plasticidade	36
3.1.2 Resíduo da indústria fumageira (pó de fumo)	37

3.1.2.1 Análise granulométrica.....	38
3.1.2.2 Ensaio de massa específica.....	40
3.2 Produção dos blocos com adição de pó de fumo.....	41
3.2.1 Formulação.....	41
3.2.2 Conformação.....	41
3.2.3 Secagem.....	42
3.2.4 Queima.....	43
3.3 Ensaaios de caracterização técnica.....	45
3.3.1 Características geométricas.....	45
3.3.2 Absorção de água.....	46
3.3.3 Resistência mecânica à compressão.....	47
 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	 49
4.1 Características geométricas.....	49
4.1.1 Blocos queimados no forno intermitente.....	50
4.1.2 Blocos queimados na mufla.....	51
4.2 Absorção de água.....	52
4.2.1 Blocos queimados no forno intermitente.....	52
4.2.2 Blocos queimados na mufla.....	53
4.3 Resistência mecânica à compressão.....	55
 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 59
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	60
 REFERÊNCIAS.....	 61
 APÊNDICE.....	 64

1 INTRODUÇÃO

O crescimento constante das cidades nas últimas décadas está ligado a uma forte industrialização. Entretanto, uma alta concentração de indústrias gera uma grande quantidade de resíduos que, com disposição inadequada, provoca a contaminação do meio ambiente. Assim, estudos de novas alternativas para o descarte ou tratamento de rejeitos industriais ganham importância e são necessários.

Atualmente, estuda-se métodos de tratamento para o descarte e também alternativas de emprego dos resíduos industriais como matéria prima para a confecção de novos produtos. Dessa forma, os rejeitos industriais poderão ser reaproveitados em novos materiais, desde que esses continuem com as especificações técnicas necessárias. Portanto, a reciclagem pode ser uma alternativa viável tanto no ponto de vista ambiental, de forma a diminuir o impacto ambiental causado pela má disposição de resíduos, quanto de maneira econômica, tendo em vista o emprego de matéria prima não virgem, e possivelmente mais barata.

A economia das cidades da parte central do estado, principalmente nos municípios de Venâncio Aires e Santa Cruz do Sul, é diretamente ligada ao plantio e processamento de tabaco. A Sinditabaco (2013) aponta que 96% da produção nacional de tabaco encontra-se na região sul do país, e desses, 53% no Rio Grande do Sul. A grande concentração dessas indústrias acaba por acarretar, também, na geração de elevados volumes de resíduos, como o pó de fumo, o qual deve ser armazenado ou então descartado após tratamento, envolvendo custos.

A partir desse ponto de vista, o presente trabalho busca uma possível alternativa de emprego do resíduo da agroindústria fumageira, abundante na região central do estado, como matéria prima secundária na fabricação de corpos cerâmicos convencionais, objetivando assim, um ganho ambiental como possivelmente financeiro.

1.1 Justificativa

Em decorrência da alta concentração de indústrias fumageiras no interior do estado, um grande volume de resíduos oriundos dessas indústrias é acumulado, uma vez que alterações na legislação proibiram o seu uso como fertilizante de solo sem antes passar por um processo de tratamento. Sendo assim, busca-se uma maneira de findar o acúmulo de resíduos não tratados, utilizando-os como matéria prima secundária para a fabricação de blocos cerâmicos estruturais.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é verificar a viabilidade técnica da utilização do resíduo da indústria fumageira (pó de fumo) na adição à massa cerâmica, no que tange à confecção de blocos cerâmicos estruturais, de modo que apresentem as características técnicas necessárias conforme a NBR 15270-2 (ABNT, 2007), proporcionando, assim, um destino alternativo ao pó de fumo.

1.2.1 Objetivos Específicos

São objetivos específicos desta pesquisa:

I) Caracterizar os materiais, a argila e o resíduo da indústria fumageira (pó de fumo).

II) Produzir corpos de prova idênticos aos blocos utilizados em construções atualmente.

III) Determinar parâmetros de aceitação do produto final segundo a NBR 15270-2 (ABNT, 2007).

IV) Avaliar o teor ideal de adição de resíduo no tijolo de modo a atender as propriedades mínimas necessárias do bloco e o melhor custo benefício.

1.3 Delimitações da pesquisa

O estudo científico realizado neste trabalho apresenta restrições quanto à sua interpretação. Entre essas, destacam-se:

I) A argila empregada no preparo dos tijolos é oriunda de uma empresa de Venâncio Aires/RS, sendo a amostragem aleatória.

II) O resíduo da agroindústria fumageira (pó de fumo) é de uma amostra pontual, podendo variar suas características físicas e químicas de acordo com a região de onde é proveniente.

III) As dimensões dos blocos não seguem as medidas sugeridas pela NBR 15270-2 (ABNT, 2007), sendo a medida da altura 2 cm menor.

IV) Não foi realizado nenhum tipo de pré queima para os blocos queimados na mufla, de forma que a evaporação de água se deu de maneira mais rápida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A preocupação com a preservação do meio ambiente vem ganhando força nas últimas décadas. Dessa forma, dar a destinação correta aos resíduos industriais tornou-se indispensável na logística das empresas. Certos subprodutos/rejeitos não podem ser devolvidos à natureza de maneira direta, sem antes passar por um processo de tratamento para redução do impacto ambiental. Ainda hoje, há muitos resíduos sem destinação final adequada devido à impossibilidade de tratamento, de modo que tais resíduos são armazenados em espaços físicos, sem uso, acumulando-se infinitamente.

Muitas vezes os resíduos podem ser aplicados como insumos de novos produtos. Contudo, são necessárias análises de viabilidade de implantação e impacto ambiental, como no caso de resíduos industriais sólidos. Portanto, viabilizar o uso de subprodutos, pouco ou não aproveitados, gera ganhos ambientais além de possíveis benefícios econômicos.

Ademais, aumentar a margem de lucro do serviço também é uma preocupação das empresas. Procurar maneiras ou materiais que tragam os mesmos resultados, porém com custo reduzido, é uma prática tradicional. Nesse sentido, a presente pesquisa pretende unir estes dois pontos: dar destinação apropriada ao resíduo da indústria fumageira (pó de fumo), usando-o como adição na massa cerâmica para confecção de blocos cerâmicos estruturais, e proporcionar um ganho de volume com o material.

2.1 Blocos para alvenaria

Blocos, ou tijolos, podem ser definidos como “pedras de determinadas formas e dimensões, feitas artificialmente com argilas cozidas, previamente amassadas e moldadas” (PIANCA, 1970, p. 67). O mesmo autor também indica que esse material construtivo apresenta vantagens por ser leve, resistente e de fácil manejo, dispensando o uso de aparelhos de corte, como nas pedras.

Paredes de alvenaria estrutural são um dos sistemas de construção residencial mais utilizados no Brasil. Fechamentos de blocos, maciços ou furados, têm muita popularidade devido ao seu fácil manuseio no assentamento, bem como por atingir o objetivo final de vedação com êxito. Apesar de essa tecnologia ser usada há muito tempo, ainda existe espaço para ajustes e melhorias na área.

A utilização de adições à massa cerâmica, em busca de seu aperfeiçoamento, já está bastante difundida. Dessa forma, espera-se controlar melhor a qualidade e as propriedades do produto final, como Teloecken aborda em sua tese:

O aprimoramento da formulação da massa cerâmica compreende a aditivação com outros materiais, plásticos e não-plásticos, inertes e não-inertes ao processamento térmico, que devem estar presentes em quantidades adequadas, pois trazem melhorias, por exemplo, no empacotamento de partículas, reduzindo a porosidade a verde e, portanto, a contração na queima (TELOEKEN, 2011, p.12).

Os tijolos crus devem passar por uma série de operações antes de seu cozimento. Conforme Pianca (1970), as etapas de preparação dos tijolos são:

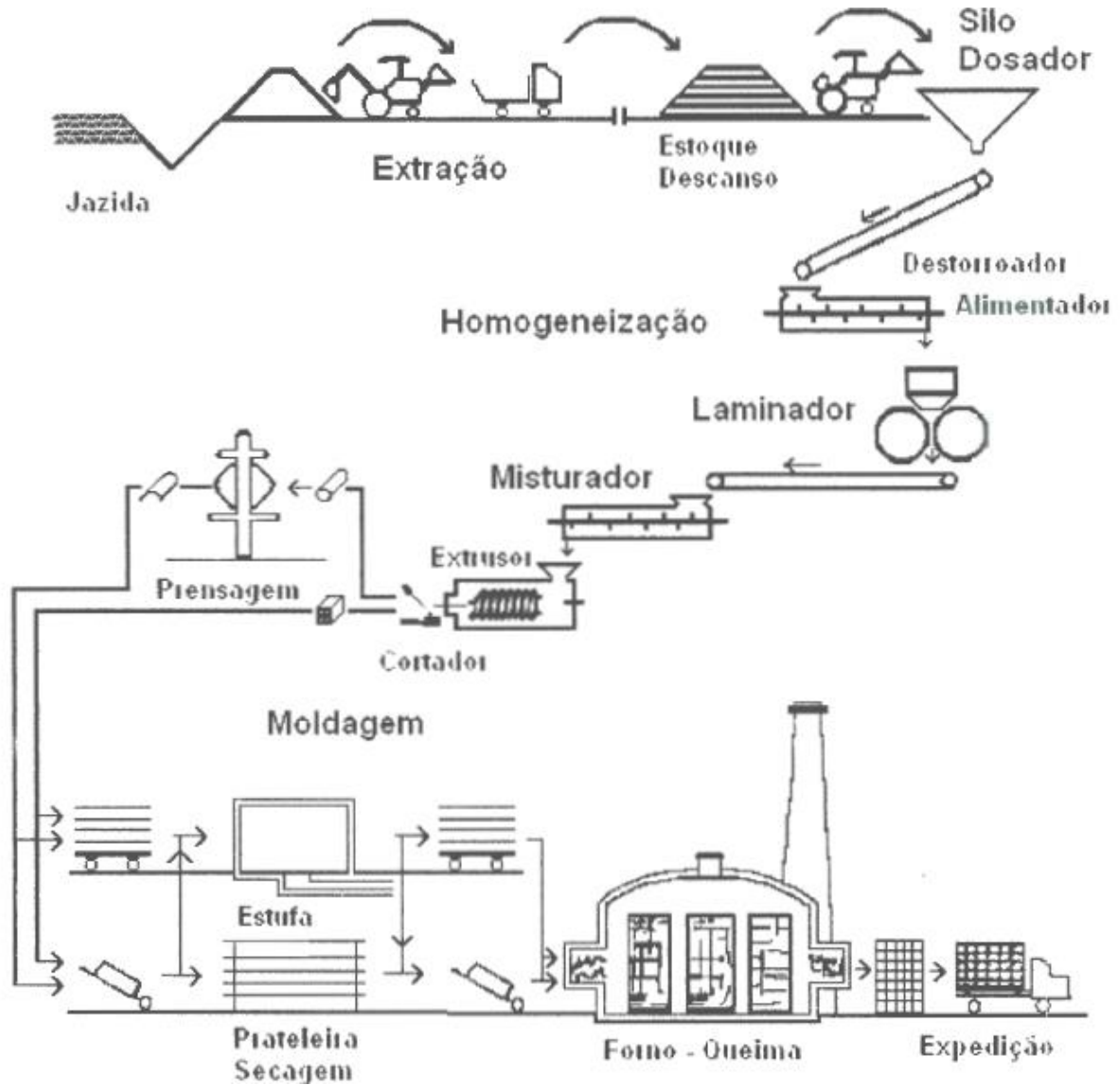
I) Escolha da argila: uma boa argila para tijolos deve estar isenta de corpos estranhos, como materiais orgânicos ou pedras. As impurezas mais nocivas são as calcárias e as menos nocivas são as férreas.

II) Moldagem: após extraída, a argila passa por um processo de moagem e homogeneização. Água é adicionada à pasta para tornar o processo mais fácil. A moldagem pode ser feita manualmente, embora normalmente nas olarias seja realizado via mecânica. As máquinas mais usadas são as prensas e as extrusoras.

III) Secagem: se os tijolos fossem levados ao forno diretamente após serem moldados, poderiam ficar deformados. A água adicionada anteriormente para a preparação da pasta deve ser retirada, a princípio, de maneira lenta. Conforme a água evapora, a argila se contrai fechando os vazios deixados.

As etapas mais comuns de produção são mostradas na Figura 1. Essas etapas podem sofrer variações de acordo com o processo da empresa, principalmente em termos de equipamentos, porém o conceito básico permanece.

Figura 1 - Processo de fabricação da cerâmica vermelha



Fonte: Tomazetti (2003).

2.1.1 Argila

A argila é o resultado de uma decomposição de rochas feldspáticas. Seu elemento principal é o silicato de alumina hidratado, cuja composição teórica é 46,4% de sílica, 39,7% de alumina e 13,9% de água. Entretanto, possuem diversas variedades, desde o caulim empregado na fabricação de louça, até a argila comum

usada na fabricação de tijolos (PIANCA, 1970). A composição da argila é importante para determinar as propriedades do produto final, sendo possível realizar alterações na massa cerâmica, com aditivos e corretivos, de maneira que o resultado seja atingido.

A argila é a principal matéria prima usada na produção de materiais cerâmicos. Esse emprego se deve à facilidade de ser encontrada e pelo seu preço relativamente baixo. Ademais, é normalmente utilizada na forma em que é extraída do solo. A partir do processamento de argila, é possível produzir produtos como tubos, tijolos, utensílios de cozinha, entre outros itens de uso comum (ASKELAND; WRIGHT, 2014).

Uma característica importante para a moldagem da argila é a hidroplasticidade. Isso significa que, quando a água é adicionada na massa argilosa, ela se torna muito plástica e toma mais facilmente a forma desejada. Além disso, a fusão da argila ocorre em uma faixa de temperatura entre 900 a 1400°C, dependendo da sua composição. Dessa forma, pode ser produzida uma peça densa e resistente sem que haja a fusão completa, mantendo-se a forma desejada (CALLISTER JUNIOR, 2012).

2.1.2 Moldagem

Conforme Askeland e Wright (2014), para dar forma à cerâmica, são, primeiramente, misturados os pós cerâmicos, seguida da argila, do fundente (substância adicionada à mistura para reduzir a temperatura de fusão) e, por fim, da água. Os processos de conformação hidroplástica, ou seja, moldada a partir de argila úmida, incluem a extrusão e o trabalho manual.

A escolha do método de conformação depende da umidade da massa de argila utilizada em cada processo. Na prensagem, a argila deve apresentar umidade em torno de 7%, enquanto que na extrusão, a umidade deve mostrar-se em torno de 25% (PUREZA apud COLLATO, 2008).

A moldagem por prensagem uniaxial é bastante popular devido a sua alta produtividade e o seu baixo custo. Nesse sistema, uma massa pulverizada é

compactada com o auxílio de um aglutinante, como a água, na forma desejada através da aplicação de pressão. O grau de compactação é alto, uma vez que são utilizadas partículas menores misturadas com maiores, minimizando os espaços vazios (CALLISTER JUNIOR, 2012). Contudo, para que o processo de prensagem seja corretamente executado, o pó deve estar distribuído de maneira uniforme dentro da prensa. O preenchimento do molde é a etapa mais crítica da operação de prensagem (NEGRE; SANCHEZ, 1998).

O método de conformação por extrusão também é bastante utilizado nas olarias.

As máquinas de fieira, produzem uma fita contínua de argila que, ao sair, é dividida em partes iguais nas mesas de cortar. Nessas máquinas a argila é impulsionada por meio de um eixo helicoidal ou por meio de pistões e sai por uma abertura a que se acha adaptada a fieira (PIANCA, 1970, p. 74).

A conformação por extrusão é utilizada na indústria desde muito tempo atrás. Através desse processo, são comumente fabricados tijolos maciços, tijolos furados, telhas, além de vidros e porcelana. Recentemente, esse método está sendo empregado na conformação de pós finos e óxidos, originando produtos cerâmicos no formato de perfis, barras de seção circular, tirantes, chapas e filmes (PUREZA, 2004).

As máquinas mais comumente empregadas são as extrusoras horizontais. As fieiras, conforme Pianca (1970), permitem que o material possua duas dimensões na forma desejada, sendo necessário apenas o corte no comprimento, de preferência. Essas máquinas podem possuir um sistema de irrigação de água, que é conveniente para a conformação de tijolos maciços.

As mesas de corte, por sua vez, possuem um carro móvel com fios de arame dispostos de maneira a cortar a massa de argila extrudida do tamanho correto. Após o corte com as dimensões apropriadas, os tijolos são levados imediatamente por carros transportadores aos depósitos de secagem (PIANCA, 1970).

Os corpos cerâmicos verdes, isto é, cerâmicas moldadas que ainda não foram levadas ao forno, possuem uma baixa resistência mecânica (ASKELAND; WRIGHT, 2014). Nessa etapa, a integridade dos blocos é apenas o suficiente para serem

manuseados sem perder a sua forma, sendo então necessária a secagem e o cozimento posteriores.

2.1.3 Secagem

O processo de secagem gera uma pequena contração nos corpos cerâmicos. As partículas de argila estão envolvidas por uma película de água, que, durante a secagem, é progressivamente removida. Assim, conseqüentemente, o espaço entre as partículas acaba por diminuir. O controle dessa evaporação é importante para que não ocorram defeitos nas peças, como empenamento ou trincas (CALLISTER JUNIOR, 2012).

A importância da secagem para o produto final também é citada por outros autores:

Durante a secagem, o excesso de umidade é removido e ocorrem grandes mudanças dimensionais. Inicialmente, a água entre as partículas de argila evapora e causa a maior parte da retração volumétrica. A seguir, uma pequena mudança dimensional ocorre quando a água existente dentro dos poros evapora. A temperatura e a umidade são cuidadosamente controladas para se proporcionar uma secagem uniforme de toda a peça, minimizando, dessa maneira, tensões, distorções e trincas (ASKELAND; WRIGHT, 2014, p. 498).

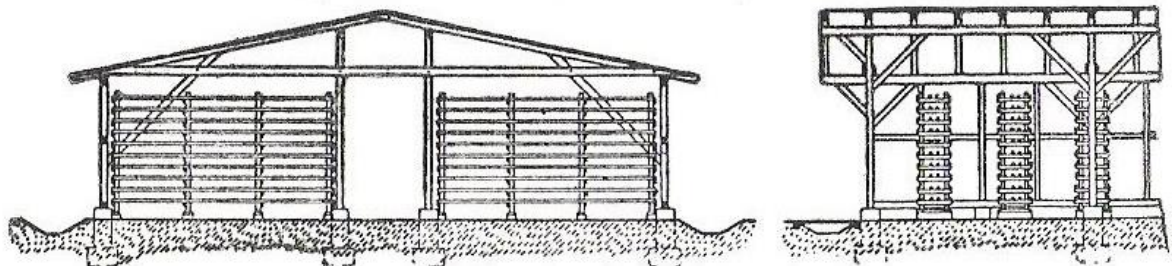
A contração durante a secagem também é influenciada por outros fatores. Um corpo cerâmico muito espesso é muito mais propenso a ter uma secagem não uniforme, dessa forma, é mais provável a formação de defeitos em peças grossas do que em peças finas. Além disso, um alto teor de água em um corpo conformado também é crítico, pois quanto maior for ele, maior será a contração, assim sendo, procura-se manter um teor de água o mais baixo possível. Por fim, uma argila composta de partículas muito pequenas apresenta maior contração, portanto, misturam-se materiais não plastificáveis, como areia, serragem e cinzas, com partículas maiores, para minimizar essa contração (CALLISTER JUNIOR, 2012).

As instalações de menor porte, tradicionalmente fazem a secagem dos seus tijolos de maneira natural, sem o uso de aquecimento. Após adquirirem resistência suficiente para serem manejados, os tijolos são colocados de cutelo, convenientemente afastados. Conforme adquirem maior resistência, fazem-se pilhas de 1 a 2 metros de altura, dispondo os tijolos em fiadas alternadas, ainda com um

espaçamento para a livre circulação de ar, tornando a secagem mais uniforme. Essas pilhas devem possuir cobertura, para que o sol não as seque muito rapidamente ou para que não sejam destruídas pelas chuvas (PIANCA, 1970).

Pianca (1970) afirma também que em instalações maiores, onde os tijolos são preparados industrialmente e, conseqüentemente, são mais consistentes, a secagem é feita em galpões, conforme Figura 2. Essas estruturas contam com prateleiras especiais, afastadas o suficiente para o trânsito dos carros ou transportadores aéreos.

Figura 2 - Galpões de secagem natural



Fonte: Pianca (1970, p. 78)

Os galpões de secagem possuem aberturas graduáveis para regular a ventilação. Dessa forma, pode-se intensificar gradativamente a entrada de ar à medida que os tijolos vão adquirindo maior consistência. O processo de secagem natural leva de 10 a 30 dias, dependendo das condições meteorológicas e da estação do ano, sendo mais rápido no verão ou em dias secos (PIANCA, 1970). Após a conclusão dessa etapa, inicia-se o processo de queima.

2.1.4 Queima

Após a secagem, os tijolos são levados para os fornos onde são cozidos. De acordo com Askeland e Wright (2014), a etapa de queima é onde a resistência mecânica e a rigidez final da peça cerâmica são garantidas. Nessa etapa que a água de hidratação é eliminada, que ocorre a vitrificação, e que “as impurezas e o agente fundente reagem com as partículas de cerâmica (SiO_2) e a argila, produzindo uma fase líquida de baixo ponto de fusão na superfície dos grãos” (ASKELAND; WRIGHT, 2014, p. 498).

Durante a queima a porosidade é diminuída, sendo seu volume preenchido por um vidro. A vitrificação consiste na formação gradual de um vidro líquido que flui pelo interior da peça preenchendo os poros, sendo que, o seu grau varia de acordo com a temperatura, tempo de cozimento e composição do corpo. O grau de vitrificação controla as propriedades da peça à temperatura ambiente: quanto mais alto, maior a resistência, a durabilidade e a massa específica (CALLISTER JUNIOR, 2012). Askeland e Wright (2014) afirmam que esse líquido que preenche os poros, após o resfriamento, enrijece e liga as partículas de cerâmica. Essa fase vítrea proporciona a união da cerâmica, contudo, gera uma contração adicional no corpo.

Segundo Callister Junior (2012), a temperatura das fornalhas varia de 900 a 1400°C, de acordo com as propriedades desejadas para a peça acabada. Tijolos de construção geralmente possuem uma temperatura de queima de 900°C. (Pianca 1970, p. 80) asserva que a cozedura “constitui a operação mais importante na fabricação do tijolo” e explica os processos conforme o aumento de temperatura:

I) Entre 100 e 110°C: os tijolos perdem a água higrométrica ou de jazida e alguns componentes como hidrato de silício, protoxido de ferro e alguns hidrossilicatos de alumínio se decompõem.

II) Entre 400 e 600°C: a argila pura se decompõe e o carbono das substâncias orgânicas é queimado.

III) Em 700°C: a massa torna-se anidra e a vitrificação começa.

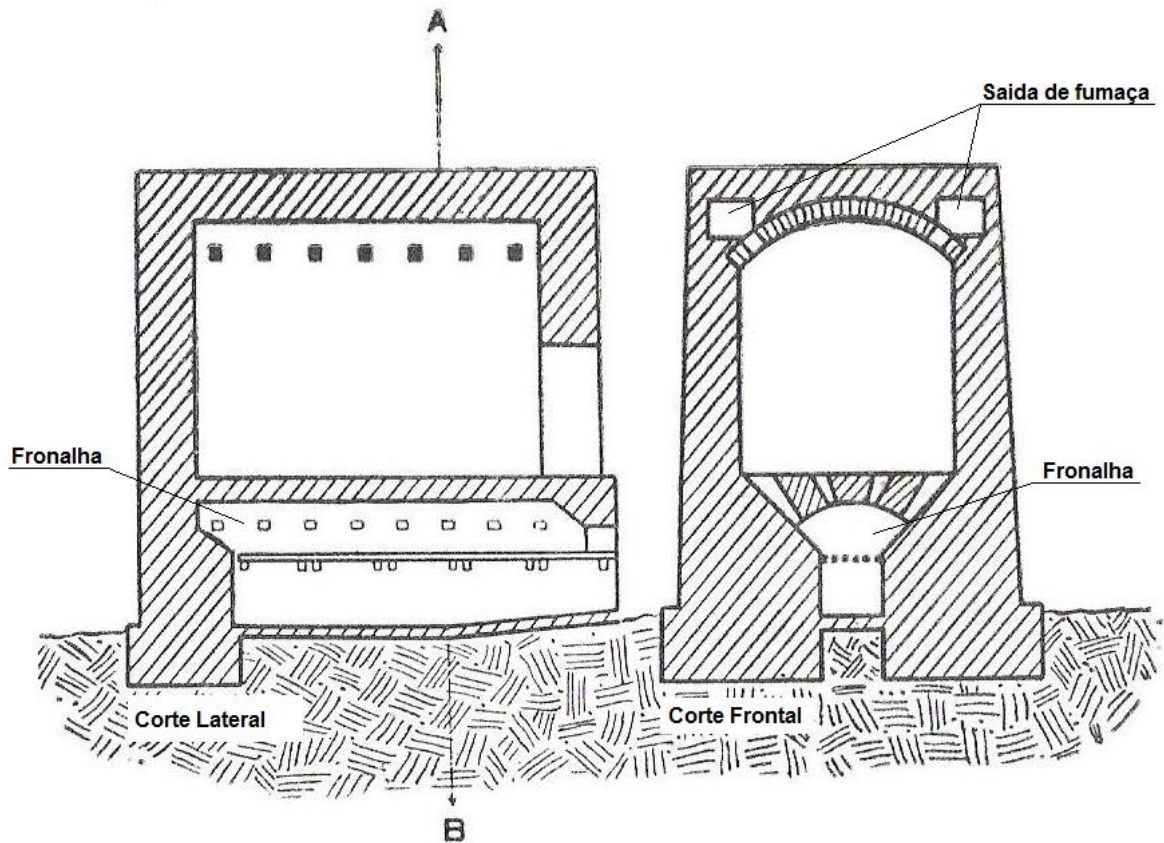
IV) Em 1000°C: temperatura aproximada da cozedura, podendo ter oscilações de 200°C, para mais ou para menos, dependentes da natureza do barro.

A cozedura normalmente é feita através de fornos, pois é o método mais econômico, devido ao melhor aproveitamento do calor e ao fornecimento de produtos de melhor qualidade. Os fornos podem ser divididos em três categorias: intermitentes, semicontínuos e contínuos (PIANCA, 1970).

Os fornos intermitentes (FIGURA 3) possuem apenas uma câmara, normalmente retangular com uma única frente e com as fornalhas localizadas em sua base. Nesses fornos, a cozedura não é uniforme, uma vez que o posicionamento dos tijolos em relação à fonte de calor varia. Além disso, a produção

é descontínua e o consumo de combustível é elevado, em virtude do mau aproveitamento do calor que sai livremente pela parte superior (PIANCA, 1970).

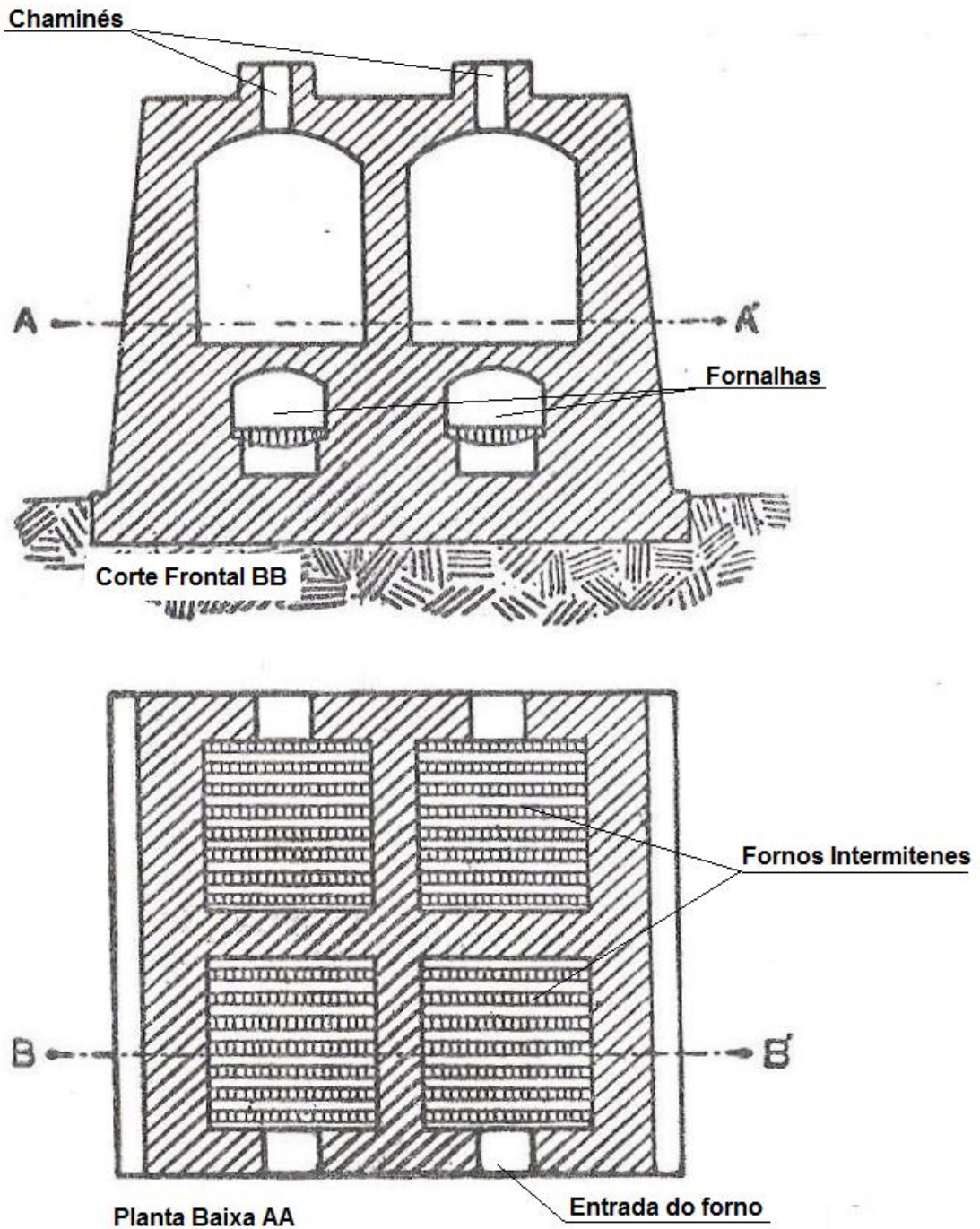
Figura 3 - Fornos intermitentes



Fonte: Adaptado de Pianca (1970, p. 83)

Os fornos semicontínuos, demonstrados na Figura 4, por outro lado, aproveitam melhor o calor. Esses fornos são compostos por dois ou mais fornos intermitentes posicionados lado a lado, e utilizam o calor irradiado de um, para cozer, em parte, os tijolos dos demais. Dessa forma, quando finalizada a queima em um dos fornos, passa-se para o seguinte, qual seja, aquele que já apresenta um grau de cozedura mais adiantado, diminuindo, assim, o tempo de queima e o consumo de combustível (PIANCA, 1970).

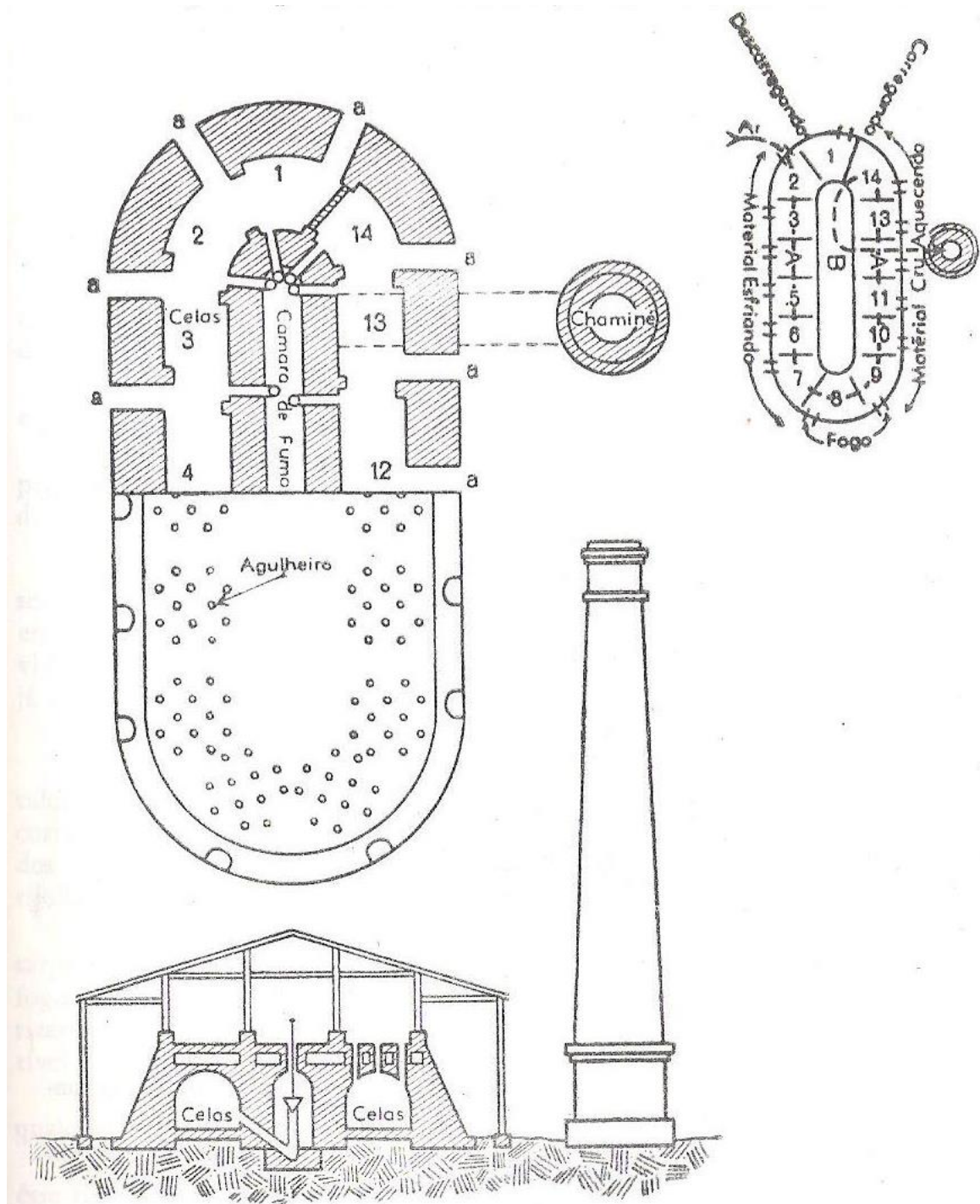
Figura 4 - Fornos semicontínuos



Fonte: Adaptado de Pianca (1970, p. 84)

Os fornos contínuos, também conhecidos por fornos Hofmann (FIGURA 5), são muito econômicos e produzem um produto melhor, diminuindo a quantidade de material mal cozido. Possuem uma planta geralmente alongada, distribuindo o calor de maneira mais uniforme (PIANCA, 1970).

Figura 5 - Fornos contínuos



Fonte: Pianca (1970, p. 85)

2.2 Resíduos sólidos

Resíduos, coloquialmente chamados de lixo, são as sobras decorrentes de qualquer atividade humana, podendo ser de origem residencial, comercial, industrial ou agrícola. Os resíduos apresentam-se no estado sólido, líquido e gasoso (TELOEKEN, 2011).

A NBR 10004, por sua vez, apresenta uma definição mais abrangente de resíduos sólidos:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 01).

O crescimento das cidades durante a era industrial estava ligado ao domínio e à transformação da natureza, de modo que os recursos naturais eram vistos como infinitos. O consumismo desenfreado gerou uma quantidade de resíduos insustentável, os quais passaram a atingir o ser humano, de forma negativa, nas últimas décadas. Somente a partir do final da década de 90 e início dos anos 2000 reconheceu-se o impacto gerado pelas pessoas no meio ambiente, que se tornou tema de debate e passou a ser visto pela sociedade como um problema geral (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

2.2.1 Classificação dos resíduos sólidos

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica a periculosidade dos resíduos de acordo com suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que possam apresentar risco à saúde pública, causando o aumento de mortalidade, ou incidência de doenças, ou que apresente riscos ao meio ambiente quando o resíduo é destinado de forma inadequada. Dessa forma, a ABNT divide os resíduos em três classes:

I) Resíduos classe I – Perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade, como riscos à saúde, riscos ao meio ambiente, inflamabilidade,

corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, como definido anteriormente.

II) Resíduos classe II – Não-inertes: São aqueles que não se enquadram como resíduos perigosos ou inertes, contudo, podem possuir propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

III) Resíduos classe III – Inertes: São aqueles que, quando submetidos a um contato com água destilada ou deionizada (de acordo com a NBR 10007 e NBR 10006), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, cumprindo os padrões de turbidez, cor e aspecto. Exemplos desses materiais: rochas, tijolos, vidros, alguns plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

2.2.2 Resíduos sólidos industriais

Nas indústrias existe uma grande diversidade de resíduos sólidos gerados. A distinção e a periculosidade desses resíduos se dão em função do processo produtivo empregado, das matérias-primas, da pureza das matérias-primas, da eficiência dos processos, do produto final, dentre outras variáveis (BARROS, 2012).

A ausência de planos de gestão de resíduos eficientes, aliada à crescente atividade industrial, faz com que não haja uma correta utilização ou deposição dos rejeitos. Uma boa quantidade desses resíduos é perigosa e pode conter elementos prejudiciais à saúde humana, além de poder contaminar o solo e os lençóis freáticos. Portanto, essa grande quantidade de rejeitos industriais mal gerenciados constitui um dos grandes problemas da sociedade moderna, sendo necessária a tomada de medidas que transforme esses resíduos em recursos reutilizáveis (RIBEIRO; MORELLI, 2009). Segundo Barros (2012), deve-se considerar que muitos dos resíduos industriais podem ser reciclados, de modo que não persistam no ambiente.

2.2.3 Resíduos da agroindústria fumageira

A origem do subproduto da produção do tabaco, demonstrado na Figura 6, se dá durante a etapa de beneficiamento das folhas. É constituído principalmente pelo pó, o qual é extraído durante o processo produtivo, através de sistemas de exaustão e tamisação (separação de sólidos de diferentes granulometrias), bem como pelos fragmentos de talos. As etapas que compõem o processamento são: desponte

(processo manual que tem como finalidade básica redirecionar o metabolismo dos nutrientes em benefício do desenvolvimento das folhas do tabaco - SINDITABACO, 2016); classificação da qualidade das folhas; reumidificação e debulha. Cabe ressaltar, que a etapa de debulha é onde as folhas são separadas dos talos, gerando dois produtos diferentes: lâminas das folhas e talos. Nessa etapa também ocorre a maior geração de resíduos (LAUSCHNER, 2005).

Figura 6 - Resíduo da indústria fumageira



Fonte: Do autor (2016)

Conforme Schirmer, a composição desses resíduos é dada da seguinte maneira:

Os resíduos são constituídos basicamente de talos (5% do total gerado), que são produtos menos nobres, com baixo valor comercial, e de pó (95% do total gerado), obtido da exaustão e tamização, que ocorre durante todo processo produtivo de cigarros rejeitados ao final do beneficiamento. Durante a varrição das instalações partículas de argila e areia também se unem ao resíduo originado na agroindústria do tabaco (SCHIRMER, 2014, p. 5).

O resíduo da indústria fumageira analisado por Lopes (2005), foi dividido em três amostras, cujas características químicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química do resíduo

Resultados	Resíduo (mg/L)	Resíduo (mg/L)	Resíduo (mg/L)
Antimônio	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Arsênio	0,55 ± 0,02	0,97 ± 0,09	0,72 ± 0,10
Cádmio	0,40 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,39 ± 0,01
Chumbo	3,25 ± 0,14	3,92 ± 0,86	3,06 ± 0,05
Cobre	25,5 ± 0,15	27,5 ± 1,90	22,2 ± 1,50
Crômio	7,40 ± 0,10	8,80 ± 1,30	7,10 ± 0,30
Mercúrio	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Níquel	2,3 ± 0,01	2,6 ± 0,04	2,10 ± 0,10

Fonte: adaptado de Lopes (2005, p. 57)

Os resíduos orgânicos das folhas de tabaco usualmente eram descartados no solo agrícola, como fertilizantes ou condicionadores. Contudo, devido ao avanço da legislação ambiental e às demandas do controle de qualidade na produção industrial, atualmente são necessários indicadores técnicos que possibilitem o reaproveitamento dos subprodutos do processamento das folhas de tabaco, nos solos agrícolas (LAUSCHNER, 2005).

O Ministério da Agricultura, até 1982, de acordo com a Portaria nº 016, classificava os resíduos gerados no processamento de tabaco, sendo que o pó de fumo era denominado como sendo constituído dos resíduos finais da destala mecânica, que engloba o pó e os resíduos de tamanho desprezível não enquadráveis como fragmentos de folha sem talo. Contudo, a partir do dia 13 de abril de 2007, a legislação foi alterada. Na regimentação de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação definida pela Instrução Normativa nº 10, não aparece mais a definição de pó de fumo, sendo considerados resíduos apenas fragmentos de lâminas maiores que 1,56 cm² e fragmentos de talos com mais de 4,0 cm de comprimento (SCHIRMER, 2014).

A permissão para o uso dos resíduos agroindustriais no Rio Grande do Sul é estabelecida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), através do Decreto Estadual nº 38.356/98, que dispõe sobre a gestão de resíduos sólidos. O

uso desses resíduos deve possuir licenciamento do órgão, de maneira que a área de aplicação seja frequentemente monitorada por um responsável técnico. Para a obtenção dessa licença, a empresa deve fornecer informações como a tipologia da empresa, insumos e matérias primas utilizadas, fluxogramas do processo, onde se apresentam os dados de pontos de geração, volumes e locais de armazenamento dos resíduos, também como eventuais sistemas de tratamento (SCHIRMER, 2014).

O Decreto Estadual nº 38.356/98 requer uma avaliação químico-física do resíduo e do solo da área a ser licenciada. De acordo com os dados dessa avaliação, diretrizes de aplicação do resíduo são delimitadas, como a frequência e a quantidade de aplicação por área. Portanto, com a limitação do uso desse resíduo como fertilizante em áreas agrícolas, novas medidas para o descarte do rejeito industrial tabagista podem ser exploradas.

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), o resíduo de pó é enquadrado como um Resíduo Sólido Industrial (RSI) Classe I – perigoso, devido à sua inflamabilidade e toxicidade.

2.3 Incorporação de resíduos em massa cerâmica

Segundo Menezes, Neves e Ferreira (2002), a principal vantagem da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, prolongando a sua vida útil e, dessa forma, reduzindo o desgaste do meio ambiente. Definindo a argila como um recurso natural finito, a incorporação de matérias primas secundárias para ganho de volume é uma alternativa viável, principalmente se levado em conta materiais reciclados.

Muitas vezes, a utilização de materiais reciclados traz vantagens, como abordado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental:

A reciclagem de resíduos, independentemente do seu tipo, apresenta várias vantagens em relação à utilização de recursos naturais "virgens", dentre as quais se tem: redução do volume de extração de matérias-primas, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e melhoria da saúde e segurança da população (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002).

Contudo, as características do produto final dependem do tipo de argila utilizada, do teor de resíduo incorporado à massa, do tipo do subproduto utilizado e do processo de fabricação (COLLATO, 2008). Portanto, a compatibilidade do resíduo com a massa cerâmica deve ser levada em consideração. Dessa forma, o uso do resíduo como matéria prima secundária não deve comprometer a qualidade do produto final, nem causar nenhum tipo de dano ambiental (MODESTO apud PUREZA, 2004).

O reaproveitamento de resíduos industriais como adição a materiais cerâmicos, tem apresentado bons resultados, de acordo com pesquisas de diversos autores. Teloeken (2011) investigou a incorporação de lodo galvânico na argila vermelha, utilizado na fabricação de corpos cerâmicos. Lopes (2005) estudou a viabilidade de adição de resíduos da indústria fumageira à massa cerâmica vermelha, para fabricação de telhas e blocos. Collatto (2008) avaliou a utilização de resíduos provenientes do tratamento da indústria de papel, como matéria prima na fabricação de produtos cerâmicos.

A granulometria do resíduo é determinante para as características finais do produto. Como citado por Callister Junior (2012), a adição de materiais não plastificáveis, como areia e serragem, à massa cerâmica, é uma estratégia usada para diminuir a contração durante a queima. Schirmer (2014), em sua tese, classifica o resíduo da indústria fumageira como 95% pó e 5% matéria orgânica, sendo assim, a possibilidade do uso do pó de fumo como material para controle de contração durante a queima é evidenciada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A argila utilizada na pesquisa foi coletada na cidade de Venâncio Aires/RS, concedida por uma empresa local, de forma aleatória. A caracterização foi feita através de ensaios de granulometria, massa específica, limite de plasticidade e limite de liquidez, de acordo com as normas específicas. O resíduo da indústria fumageira, concedido por uma empresa de Venâncio Aires/RS, foi caracterizado através de ensaios de granulometria e massa específica. Os ensaios de granulometria e massa específica do pó de fumo foram baseados nos mesmos parâmetros dos da argila, uma vez que o resíduo não possui normatização própria de caracterização.

Os teores de adição do resíduo foram feitos nas grandezas de 0% (referência), 10%, 20% e 30% da massa de argila, e a umidade de conformação em torno de 30%. Os corpos de prova foram moldados em uma extrusora à vácuo em uma olaria. A sua queima foi realizada em dois tipos de fornos diferentes, com temperaturas distintas. Na olaria, os blocos foram queimados em um forno do tipo intermitente a uma temperatura de 700° C, conforme a forma de produção do local, e em laboratório, no LATEC (Laboratório de Tecnologias da Construção), foram queimados em uma mufla nas temperaturas de 750° C, 800° C, 850° C e 900° C.

Os ensaios realizados nos blocos seguem os parâmetros da NBR 15270-3, Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio (ABNT, 2005). As características avaliadas foram: características geométricas, absorção de água e resistência à compressão.

3.1 Caracterização dos materiais

Foram caracterizadas as propriedades físicas da argila e do resíduo da indústria fumageira.

3.1.1 Argila

As amostras de argila foram retiradas da cidade de Venâncio Aires/RS, concedidas por uma empresa local. Após o preparo das amostras de solo de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016), foram determinadas as características da argila através de ensaios de granulometria, massa específica, limite de liquidez e limite de plasticidade.

3.1.1.1 Análise Granulométrica

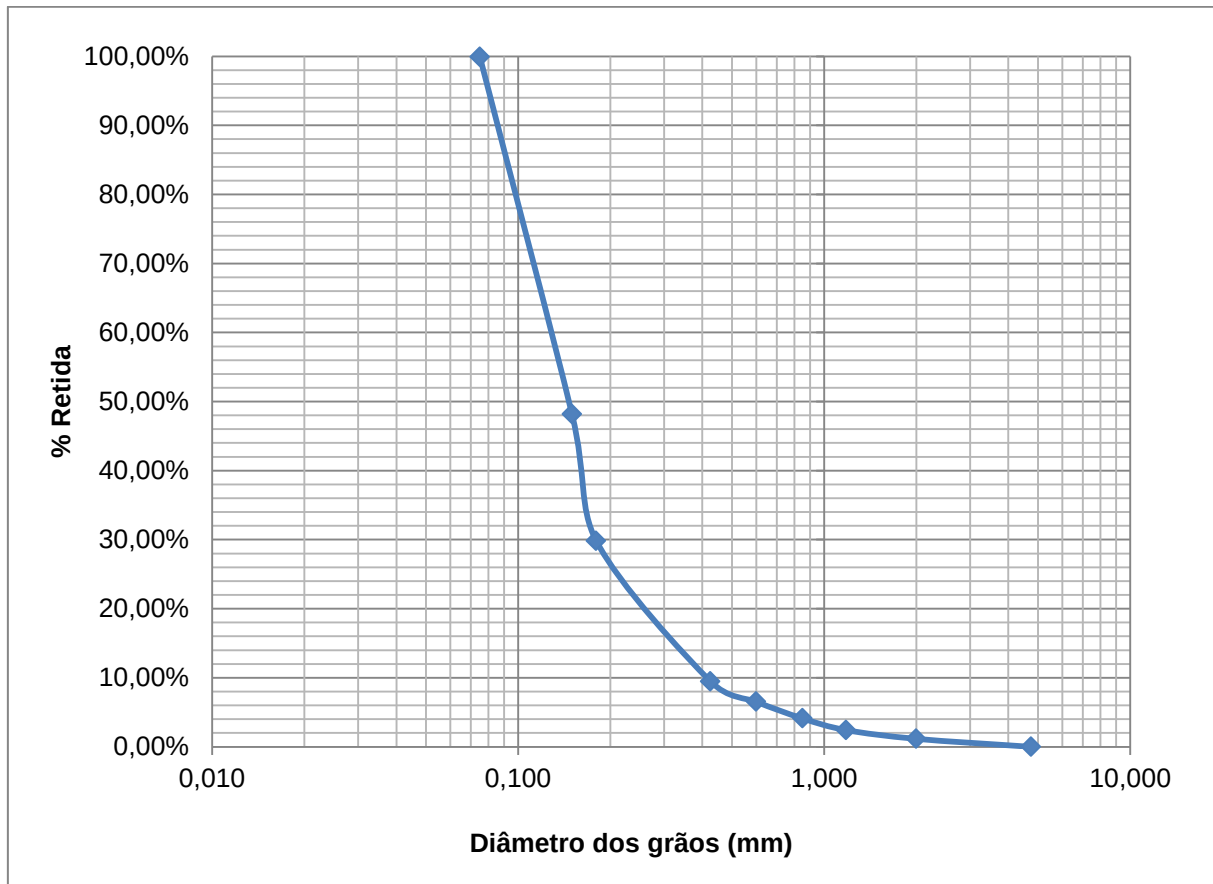
O ensaio de granulometria foi realizado de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016), através de peneiramento fino e peneiramento grosso. Contudo, 100% do material foi passante pelo peneiramento grosso, de forma que os resultados desse teste foram descartados. O ensaio de sedimentação não foi realizado, tendo em vista que os seus resultados são secundários para a pesquisa. Portanto, o resultado da análise granulométrica apresenta somente os resultados obtidos através do peneiramento fino, conforme a Tabela 2. A curva granulométrica é apresentada no Gráfico 1.

Tabela 2 - Análise granulométrica: argila

Peneiras ABNT (mm)	Massa Retida (g)		% Massa Retida		% Passante
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada	
4,750	0,0	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
2,000	1,1	1,1	1,16%	1,16%	98,84%
1,180	1,2	2,3	1,26%	2,42%	97,58%
0,850	1,6	3,9	1,69%	4,11%	95,89%
0,600	2,3	6,2	2,42%	6,53%	93,47%
0,425	2,8	9,0	2,95%	9,48%	90,52%
0,180	19,3	28,3	20,34%	29,82%	70,18%
0,150	17,4	45,7	18,34%	48,16%	51,84%
0,075	49,1	94,8	51,74%	99,89%	0,11%
Fundo	0,1	94,9	0,11%	100,00%	0,00%

Fonte: Do autor (2016)

Gráfico 1 - Curva granulométrica: argila



Fonte: Do autor (2016)

3.1.1.2 Ensaio de massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado de acordo com a NBR 6458 (ABNT, 2016), através do ensaio de picnômetro. O resultado final é obtido através da média de no mínimo dois ensaios, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Massa específica: argila

Vidro + Água (g)	Material (g)	Vidro + Água + Material (g)	Vidro + Água final (g)	Água Deslocada (cm³)	Massa Específica (g/cm³)
1208,7	125,6	1288,9	1163,3	45,4	2,77
1208,7	137,8	1296,5	1158,7	50,0	2,76
Média					2,76

Fonte: Do autor (2016)

3.1.1.3 Ensaio de limite de liquidez

O ensaio de limite de liquidez foi realizado de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 2016), com a utilização do aparelho de Casagrande, conforme Figura 7.

Figura 7 - Ensaio de limite de liquidez



Fonte: Do autor (2016)

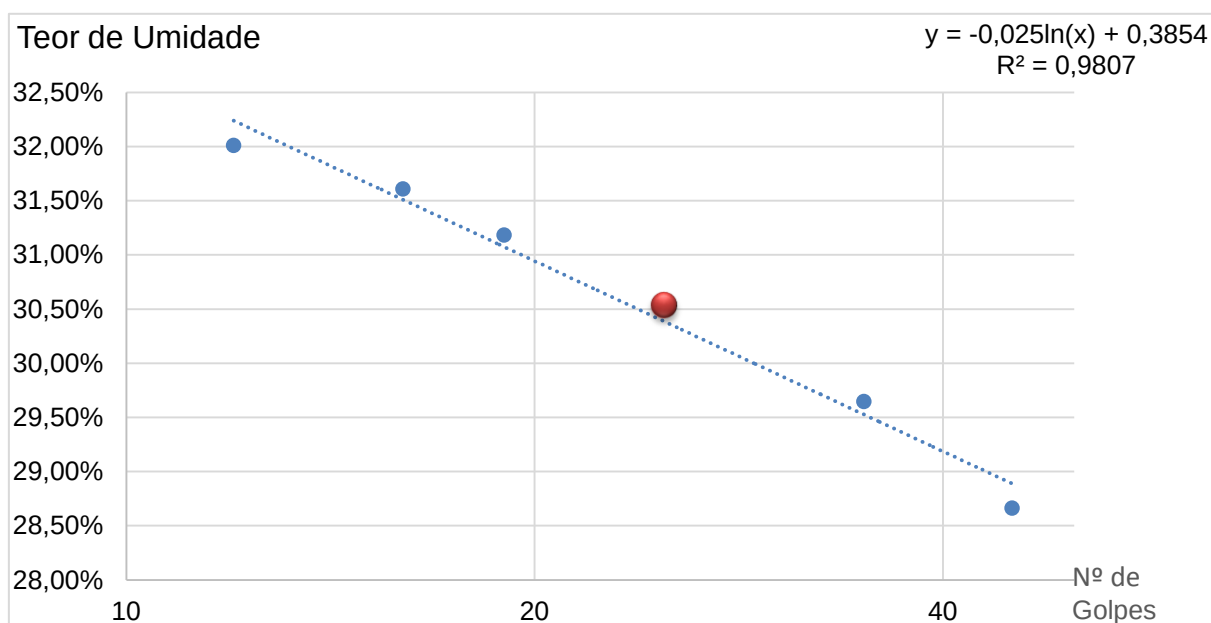
Os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 2. O limite de liquidez da argila testada foi definido em 30,50%.

Tabela 4 - Limite de liquidez

Cápsula (nº)	Tara (g)	Cáp.+Úmido (g)	Cáp.+Seco (g)	Água (g)	Seco (g)	Umidade	Golpes (nº)
79	14,551	26,218	23,619	2,599	9,068	28,66%	45
73	14,423	45,419	38,331	7,088	23,908	29,65%	35
57	14,777	39,193	33,389	5,804	18,612	31,18%	19
50	16,611	39,033	33,648	5,385	17,037	31,61%	16
61	14,922	49,229	40,910	8,319	25,988	32,01%	12
						Final	30,50%
							25

Fonte: Do autor (2016)

Gráfico 2 - Limite de liquidez



Fonte: Do autor (2016)

3.1.1.4 Ensaio de limite de plasticidade

O ensaio de limite de plasticidade foi realizado de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 2016), conforme Figura 8. As três amostras realizadas foram colocadas na mesma cápsula para determinar a massa seca e massa úmida, de forma que a média dos resultados foi obtida diretamente.

Figura 8 - Ensaio de limite de plasticidade



Fonte: Do autor (2016)

Os dados do ensaio estão apresentados na Tabela 5. O limite de plasticidade da argila foi definido em 27,15%.

Tabela 5 - Limite de plasticidade

Cápsula (nº)	Tara (g)	Cáp.+Úmido (g)	Cáp.+Seco (g)	Água (g)	Seco (g)	Umidade
52	15,368	23,221	21,544	1,677	6,176	27,15%

Fonte: Do autor (2016)

3.1.2 Resíduo da indústria fumageira (pó de fumo)

O pó de fumo foi fornecido por uma indústria fumageira situada na cidade de Venâncio Aires/RS. As características observadas foram granulometria e massa específica. Entretanto, não existem normas para ensaio de caracterização do

resíduo da indústria fumageira nesses quesitos, desse modo foram adaptados os mesmos critérios dos ensaios das amostras de argila.

3.1.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi feita através de peneiramento fino, utilizando-se as mesmas peneiras definidas para a caracterização da argila, conforme Figura 9.

Figura 9 - Análise granulométrica: pó de fumo



Fonte: Do autor (2016)

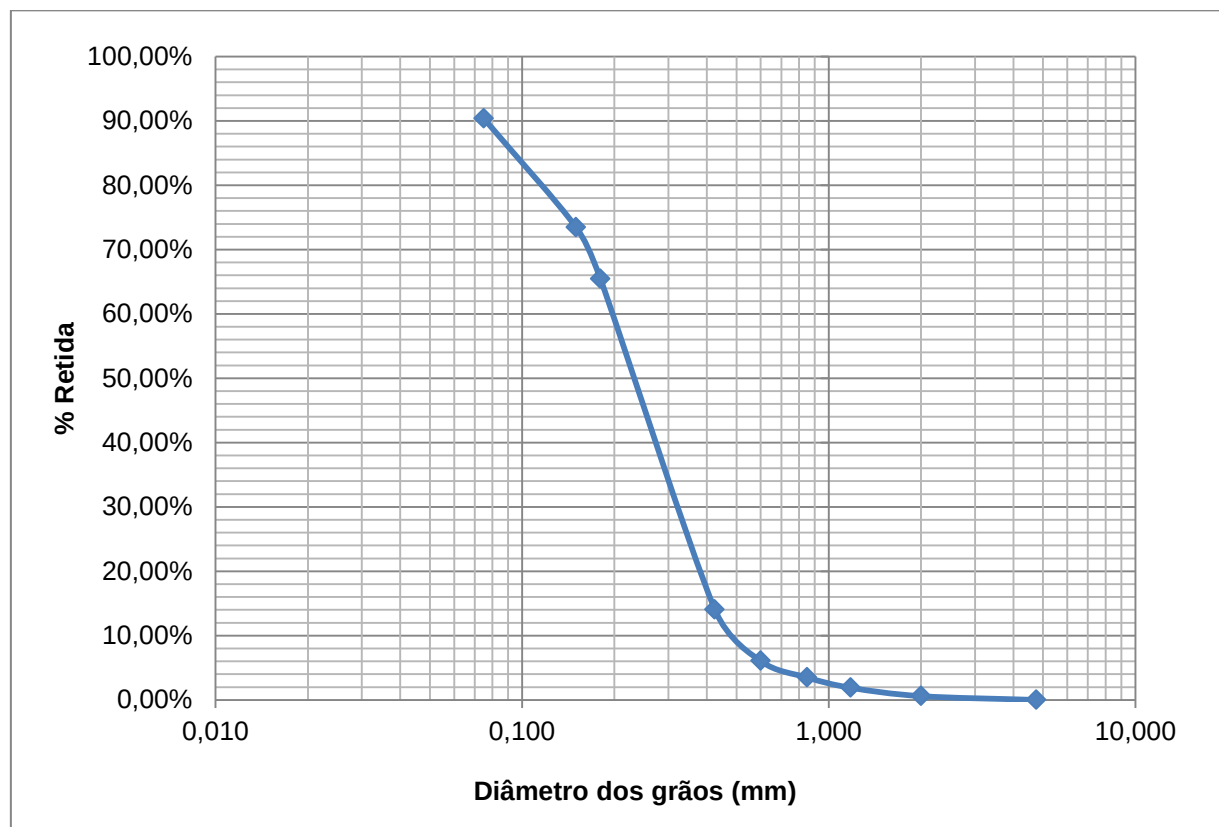
Os resultados do ensaio estão expressos na Tabela 6, gerando a curva granulométrica apresentada no Gráfico 3.

Tabela 6 - Análise granulométrica: pó de fumo

Peneiras ABNT (mm)	Massa Retida (g)		% Massa Retida		% Passante
	Individual	Acumulada	Individual	Acumulada	
4,750	0,0	0,0	0,00%	0,00%	100,00%
2,000	2,3	2,3	0,60%	0,60%	99,40%
1,180	5,0	7,3	1,30%	1,89%	98,11%
0,850	6,2	13,5	1,61%	3,50%	96,50%
0,600	9,9	23,4	2,56%	6,06%	93,94%
0,425	30,9	54,3	8,00%	14,06%	85,94%
0,180	198,4	252,7	51,39%	65,45%	34,55%
0,150	30,9	283,6	8,00%	73,45%	26,55%
0,075	65,3	348,9	16,91%	90,37%	9,63%
Fundo	37,2	386,1	9,63%	100,00%	0,00%

Fonte: Do autor (2016)

Gráfico 3 - Curva granulométrica: pó de fumo

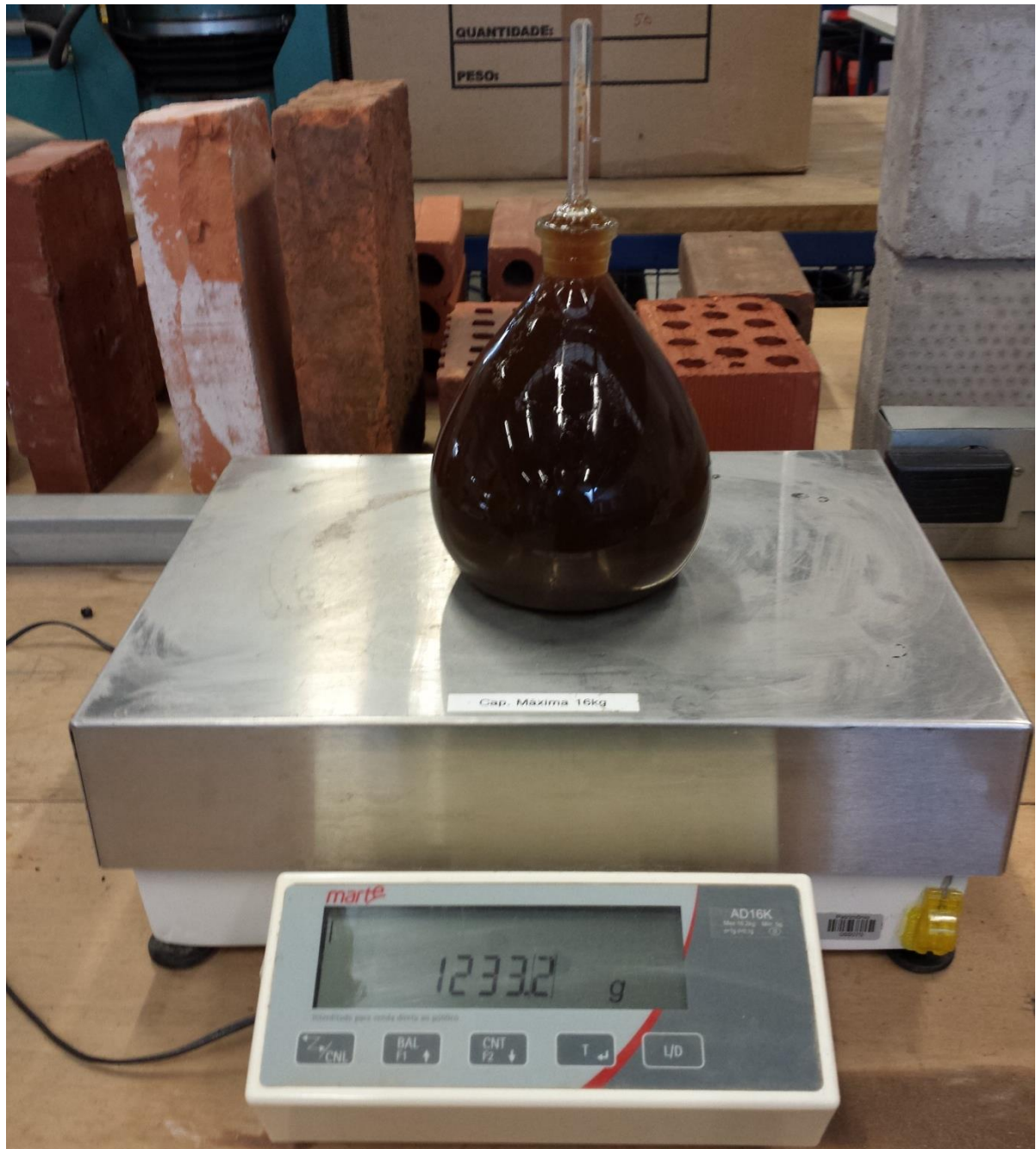


Fonte: Do autor (2016)

3.1.2.2 Ensaio de massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado seguindo os mesmos parâmetros do ensaio com argila. Realizaram-se dois testes com o picnômetro (FIGURA 10) e o resultado final é definido pela média desses dois valores, conforme Tabela 7.

Figura 10 - Ensaio de picnômetro: pó de fumo



Fonte: Do autor (2016)

Tabela 7 - Massa específica: pó de fumo

Vidro + Água (g)	Material (g)	Vidro + Água + Material (g)	Vidro + Água final (g)	Água Deslocada (cm ³)	Massa Específica (g/cm ³)
1208,7	74,5	1238,2	1163,7	45,0	1,66
1208,7	56,8	1233,2	1176,4	32,3	1,76
				Média	1,71

Fonte: Do autor (2016)

3.2 Produção dos blocos com adição de pó de fumo

Os corpos de prova produzidos são blocos cerâmicos estruturais com as dimensões nominais de 11,5 x 9,0 x 24,0 cm, de 20 furos. Os processos de formulação e conformação são descritos nos tópicos a seguir. Após moldados, os blocos foram secos e cozidos, sendo então encaminhados para os processos de testes de avaliação técnica.

3.2.1 Formulação

A massa cerâmica foi preparada com os teores de adição de pó de fumo nas grandezas de 0%, 10%, 20% e 30% em peso da massa de argila seca, com base nos dados de Lopes (2005). Ensaio realizado previamente pela olaria determinaram a umidade ótima em 30% da massa total.

3.2.2 Conformação

Uma extrusora a vácuo foi empregada como matriz para a produção, apresentada na Figura 11. A massa cerâmica previamente misturada com o resíduo da indústria fumageira, juntamente com a água para adquirir a plasticidade adequada, foi homogeneizada através do misturador mecânico da extrusora. Foram conformados 32 blocos cerâmicos estruturais de dimensões nominais de 11,5 x 9,0 x 24,0 cm. A dimensão dos tijolos é especial, não seguindo as dimensões nominais sugeridas pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005) de 11,5 x 11,5 x 24,0 cm.

Figura 11 – Produção dos blocos



Fonte: Do autor (2016)

3.2.3 Secagem

Os corpos foram secos naturalmente em galpão coberto (FIGURA 12), conforme procedimento padronizado, por 20 dias.

Figura 12 – Secagem natural dos blocos



Fonte: Do autor (2016)

3.2.4 Queima

A queima dos corpos de prova foi realizada através de dois tipos de fornos com temperaturas de queima variadas. Parte dos blocos foi queimada em um forno industrial (FIGURA 13), do tipo intermitente, a uma temperatura final de cerca de 800° C nas fornalhas, porém, no centro do forno onde os blocos se encontravam, a temperatura de queima é menor, sendo em torno de 700° C. Durante essa etapa, os blocos cerâmicos foram aquecidos até 100° C, durante 7 dias, para eliminar a água de conformação restante. Posteriormente, a temperatura foi aumentada para 800° C, durante 1 dia, para realizar o cozimento e a vitrificação da argila, sendo após isso deixados mais 7 dias no forno até esfriarem.

Figura 13 - Forno intermitente utilizado



Fonte: Do autor (2016)

Os blocos também foram queimados em um forno do tipo mufla, no LATEC na Univates, apresentado na Figura 14. Para essa queima, foram estipuladas temperaturas finais de 750° C, 800° C, 850° C e 900° C, obedecendo-se uma taxa de aumento de temperatura de 2° C/min, e um patamar de queima de 3 horas à temperatura final. O resfriamento foi feito de maneira gradual naturalmente, desligando-se o forno e mantendo-se a porta fechada por 48 horas, até a temperatura interna estabilizar em torno de 50° C. Entretanto, não foi realizada uma pré queima dos corpos, e, assim, foram cozidos diretamente após a secagem.

Figura 14 - Mufla do LATEC, Univates



Fonte: Do autor (2016)

3.3 Ensaios de caracterização técnica

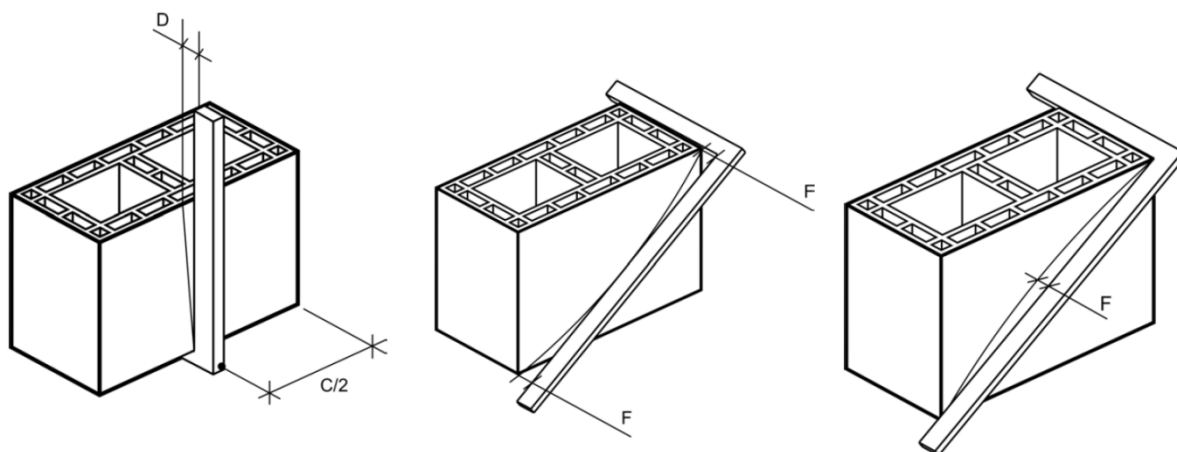
Os corpos de prova foram submetidos a testes de caracterização física e mecânica. Os requisitos mínimos para aceitação de blocos cerâmicos são apresentados na NBR 15270-2 (ABNT, 2005), e os procedimentos de ensaio na NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

3.3.1 Características geométricas

As características geométricas avaliadas, segundo a NBR 15270-2 (2005), são: valores das dimensões das faces, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces. Esses procedimentos de ensaio foram conduzidos de acordo com NBR

15270-3 (ABNT, 2005), conforme Figura 15. As variações das dimensões das faces, em medidas individuais, não devem ser superior a 5 mm. O desvio em relação ao esquadro e a planeza das faces não devem ser superior a 3 mm.

Figura 15 - Ensaio de desvio de esquadro e planeza das faces



Fonte: Adaptado de NBR 15270-3 (ABNT, 2005, p. 11-12)

3.3.2 Absorção de água

Este quesito é requerido pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005). A absorção de água é determinada através da diferença entre peso úmido e peso seco dos corpos de prova, ensaiados conforme procedimento da NBR 15270-3 (ABNT, 2005). A massa seca foi determinada através da pesagem dos corpos, em intervalos de 1 hora, após ficarem na estufa à temperatura de 105° C, até não apresentarem variação de massa. O peso úmido foi obtido através da imersão dos corpos em água, por 24 horas, à temperatura ambiente, ao invés de em água fervente, conforme nota 2 apresentada na norma. Dessa forma, o índice de absorção de água é dado pela equação 1.

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde m_u e m_s representam massa úmida e massa seca, em gramas, respectivamente. O índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%.

3.3.3 Resistência mecânica à compressão

A resistência mecânica à compressão dos corpos de prova foi ensaiada com uma prensa hidráulica uniaxial, modelo Emic SSH300, no LATEC da UNIVATES (FIGURA 16), conforme NBR 15270-3 (ABNT, 2005). As faces dos blocos foram regularizadas com capeamento de argamassa (FIGURA 17). Após o capeamento endurecer, os corpos de provas foram imersos em água durante 6 horas, devido ao ensaio ser feito em condição saturada. A resistência dos blocos cerâmicos estruturais deve ser maior a 3,0 Mpa considerando a área bruta, ou seja, sem o desconto das áreas dos furos.

Figura 16 - Ensaio de compressão em prensa hidráulica uniaxial



Fonte: Do autor (2016)

Figura 17 - Capeamento dos corpos de prova



Fonte: Do autor (2016)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de viabilidade técnica foram conduzidos levando em consideração os valores mínimos estabelecidos pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005), os quais limitam a aceitação e o uso do produto final, bem como os métodos de ensaio da NBR 15270-3 (ABNT, 2005). O Capítulo 3, Materiais e Métodos, explica os procedimentos de ensaio adotados.

Os resultados dos testes estão divididos pelos tipos de queima, no forno intermitente e na mufla. Dessa forma, a análise dos dados foi feita com a relação da quantidade de adição de resíduo com a temperatura de queima. Contudo, para os blocos queimados na mufla, foram realizados apenas os ensaios de características geométricas e de absorção de água, devido os blocos estarem comprometidos fisicamente para testes de compressão.

4.1 Características geométricas

A dimensão nominal dos blocos é de 115 x 90 x 240 mm, largura (L), altura (H) e comprimento (C), respectivamente. Os resultados dos ensaios de caracterização geométrica apresentam as variações das dimensões do bloco em relação ao aumento do teor de resíduo, bem como em relação a queimas em diferentes temperaturas. Dessa forma, obtém-se a influência da adição de resíduo comparando-se os resultados com o valor de referência de 0% de adição, para cada temperatura.

4.1.1 Blocos queimados no forno intermitente

As características geométricas individuais dos blocos queimados no forno intermitente estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características geométricas: forno intermitente

Adição (%)	CP (n°)	Queima ($\pm 700^{\circ}\text{C}$)	Dimensões (mm)			Desvio do Esquadro (D) (mm)	Planeza das Faces (F) (mm)
			Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)		
0	15	Olaria	113,80	90,80	241,10	1,89	2,49
0	16	Olaria	113,60	90,5	240,40	1,51	1,76
10	3	Olaria	112,50	90,9	238,30	1,79	1,31
10	10	Olaria	113,30	88,5	238,00	1,99	1,18
20	6	Olaria	112,60	91,6	239,50	0,05	1,09
20	11	Olaria	112,20	88,3	239,20	0,26	1,92
30	9	Olaria	113,10	90,4	239,50	0,94	1,58
30	12	Olaria	113,80	94,1	241,00	2,51	1,48

Fonte: Do autor (2016)

Os blocos queimados no forno intermitente da olaria apresentam-se, em sua totalidade, dentro dos parâmetros de aceitação das características geométricas, mantendo-se abaixo do limite de 5 mm para dimensões lineares e 3 mm para desvio em relação ao esquadro e planeza de faces. Os valores médios das características geométricas para cada teor de adição estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Características geométricas médias: forno intermitente

Adição (%)	Queima ($\pm 700^{\circ}\text{C}$)	Contração nominal (115 x 90 x 240)(mm)			Desvio do Esquadro (D) (mm)	Planeza das Faces (F) (mm)
		Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)		
0	Olaria	1,30	0,65	0,75	1,70	2,12
10	Olaria	2,10	1,20	1,85	1,89	1,24
20	Olaria	2,60	1,65	0,65	0,15	1,50
30	Olaria	1,55	2,25	0,75	1,72	1,53

Fonte: Do autor (2016)

Os blocos com maior teor de adição apresentaram maior contração linear em suas dimensões, entretanto, a variação em relação à sua dimensão nominal de 115 x 90 x 240 mm, não foi significativa. Contudo, o desvio em relação ao esquadro não apresentou divergências conforme o aumento do teor de resíduo, que, com exceção da adição de 20% que possuiu pouco - quase nenhum - desvio, se manteve próximo do valor de referência. Ademais, o desvio em relação à planeza das faces diminuiu com o aumento do teor de resíduo, de forma que os teores mais altos apresentaram faces mais planas.

4.1.2 Blocos queimados na mufla

Os resultados dos testes dos blocos queimados na mufla, que possuem temperaturas de queima variadas, representam a influência da temperatura de queima no produto final. Foram analisadas as temperaturas de queima finais de 750° C, 800° C, 850° C e 900° C, ou seja, valores próximos da temperatura de vitrificação da argila. Os resultados das características geométricas dos blocos queimados na mufla estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Características geométricas: mufla

Adição (%)	CP (n°)	Queima (°C)	Dimensões (mm)			Desvio do Esquadro (D) (mm)	Planeza das Faces (F) (mm)
			Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)		
0	17	750	114,0	88,0	240,0	2,73	1,41
10	18	750	115,0	93,0	240,0	5,19	1,00
20	19	750	115,0	90,0	237,0	2,24	2,43
30	20	750	117,0	89,0	238,0	1,31	1,53
0	21	800	113,0	90,0	239,0	1,56	0,56
10	22	800	115,0	92,0	240,0	2,73	1,18
20	23	800	116,0	89,0	239,0	2,56	3,81
30	24	800	117,0	92,0	237,0	0,52	1,33
0	25	850	113,0	90,0	236,0	0,92	3,00
10	26	850	115,0	90,0	237,0	3,15	2,84
20	27	850	115,0	87,0	237,0	1,36	1,92
30	28	850	114,0	88,0	235,0	3,21	1,24
0	29	900	112,0	87,0	236,0	3,69	2,73
10	30	900	113,0	87,0	238,0	2,63	1,97
20	31	900	114,0	89,0	240,0	2,08	2,30
30	32	900	115,0	90,0	236,0	2,80	1,70

Fonte: Do autor (2016)

As dimensões lineares, assim como na queima tradicional de olaria, não apresentaram deformações significativas. Todos os blocos, independente do teor de adição ou da temperatura de queima, não apresentaram variações dimensionais excessivas, permanecendo dentro do limite de 5 mm. Os valores de desvio em relação ao esquadro mantiveram-se semelhantes em todas as temperaturas de queima e, com exceção dos corpos de prova (CPs) 18, 26, 28 e 29, apresentaram valores aceitáveis pela normativa. Os CPs com desvio excessivo estão divididos entre todas as faixas de temperatura e teores de adição, apontando para um possível defeito pontual de conformação. A planeza das faces teve menor variação média nas temperaturas mais baixas, sendo o desvio crescente com o aumento da temperatura. Entretanto, apenas um dos blocos apresentou desvio excessivo na planeza de suas faces, sendo que os blocos restantes se enquadram como aceitáveis.

4.2 Absorção de água

A absorção de água pelos blocos foi diretamente afetada pela adição do resíduo da indústria fumageira. Teores mais altos de adição resultam, consequentemente, em mais matéria orgânica na massa cerâmica que, após a queima, volatiliza e deixa poros em seu lugar. Assim, blocos que incorporaram mais resíduo apresentaram uma taxa de absorção de água mais elevada.

Em contrapartida, o aumento da temperatura de queima, de acordo com Callister Junior (2012), resulta em uma maior vitrificação da argila, de modo que os poros deixados pela volatilização da matéria orgânica se fecham. Dessa forma, a absorção de água diminui conforme a temperatura de queima progride.

4.2.1 Blocos queimados no forno intermitente

Os valores de massa seca, massa úmida e absorção de água dos tijolos queimados no forno intermitente são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Absorção de água: forno intermitente

Adição (%)	Queima (°C)	CP (n°)	Massa seca (g) (ms)	Massa úmida (g) (ms)	Absorção (%)
0	Olaria	15	3120,3	3686,5	18,15%
0	Olaria	16	3101,6	3661,6	18,06%
10	Olaria	3	2984,0	3584,8	20,13%
10	Olaria	10	2955,3	3549,5	20,11%
20	Olaria	6	3027,9	3623,5	19,67%
20	Olaria	11	2951,5	3533,7	19,73%
30	Olaria	9	2760,2	3414,4	23,70%
30	Olaria	12	2862,4	3547,9	23,95%

Fonte: Do autor (2016)

A absorção de água nos corpos cresceu com a adição do pó de fumo. Nas adições de até 20% de resíduo, os blocos apresentaram absorção satisfatória, não extrapolando o limite de 22% de absorção estabelecido pela norma. No entanto, os blocos com 30% de adição de resíduo não atendem aos requisitos de absorção máxima permitida, ultrapassando o limite estabelecido pela norma em quase 2%.

A quantidade de matéria orgânica presente no pó de fumo foi decisiva para o aumento de absorção de água. Os poros deixados pela volatilização da matéria orgânica contribuíram para que os blocos retivessem mais água, sendo a porosidade dos blocos o fator principal pelo aumento de absorção.

4.2.2 Blocos queimados na mufla

A taxa de absorção de água dos blocos queimados na mufla reflete diretamente na temperatura máxima de queima. A Tabela 12 apresenta um resumo dos valores do teste de absorção para os blocos queimados em diferentes temperaturas, com diferentes graus de adição de resíduo. O apêndice A apresenta os dados completos dos ensaios.

Tabela 12 - Absorção de água: mufla - resumo

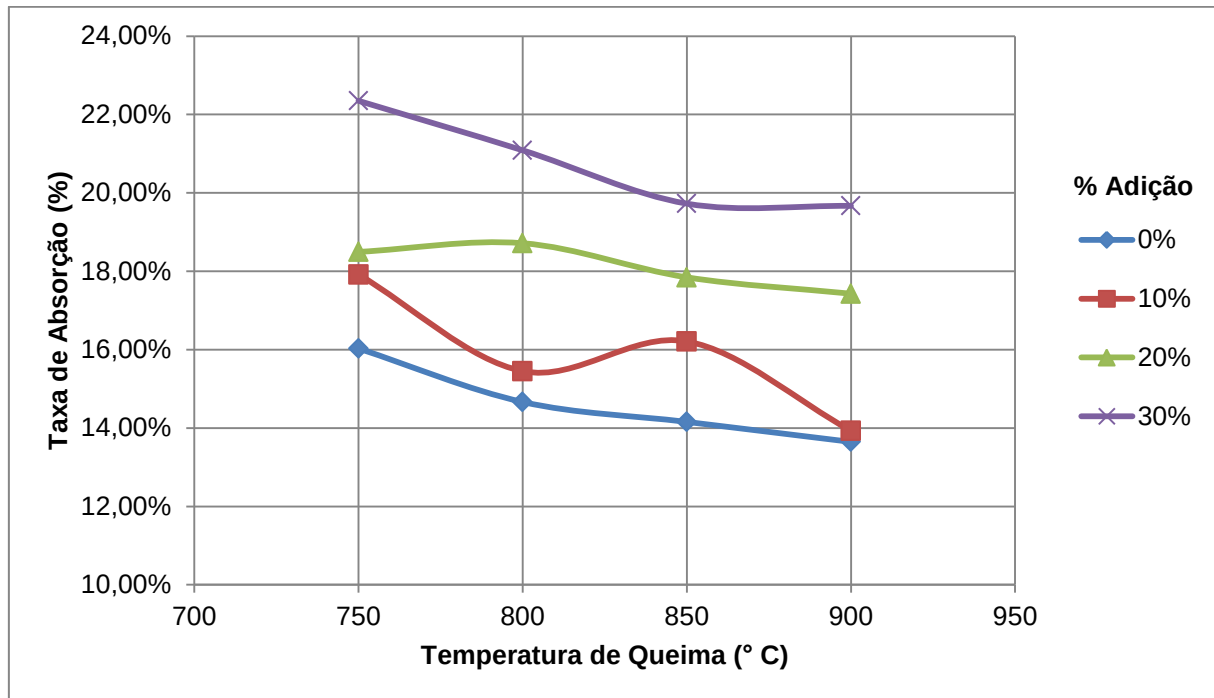
Adição (%)	Queima (750°C)	Queima (800°C)	Queima (850°C)	Queima (900°C)
0%	16,03%	14,66%	14,16%	13,65%
10%	17,92%	15,45%	16,21%	13,93%
20%	18,49%	18,72%	17,85%	17,43%
30%	22,35%	21,09%	19,73%	19,67%

Fonte: Do autor (2016)

Diferentemente dos blocos queimados no forno da olaria, os blocos queimados na mufla possuíram um controle de temperatura máxima muito mais rigoroso, o que contribuiu para que as taxas de absorção fossem menores. A temperatura final de 750° C apresentou resultados muito próximos dos resultados obtidos com a queima no forno intermitente, contudo com taxas de absorção um pouco inferiores. Assim como nos resultados com o forno intermitente, o bloco com o teor de adição de 30% de resíduo apresentou-se acima do limite de 22% de absorção.

A taxa de absorção de água, para uma mesma temperatura de queima, foi crescente conforme o aumento do teor de adição de pó de fumo, seguindo o padrão esperado. Além disso, conforme o aumento da temperatura de queima, a taxa de absorção de água dos blocos diminuiu, conforme expõe o Gráfico 4. As queimas com temperaturas acima de 800° C apresentaram taxas de absorção de água dentro dos limites estabelecidos pela norma, independente do teor de adição de resíduo. Dessa forma, conclui-se que o aumento da temperatura de queima resulta em blocos menos porosos, com um maior grau de vitrificação. Portanto, para a viabilização quanto à absorção de água para blocos com teores de adição de 30%, é necessária uma temperatura de queima igual ou superior a 800° C.

Gráfico 4 - Taxas de absorção de água: mufla

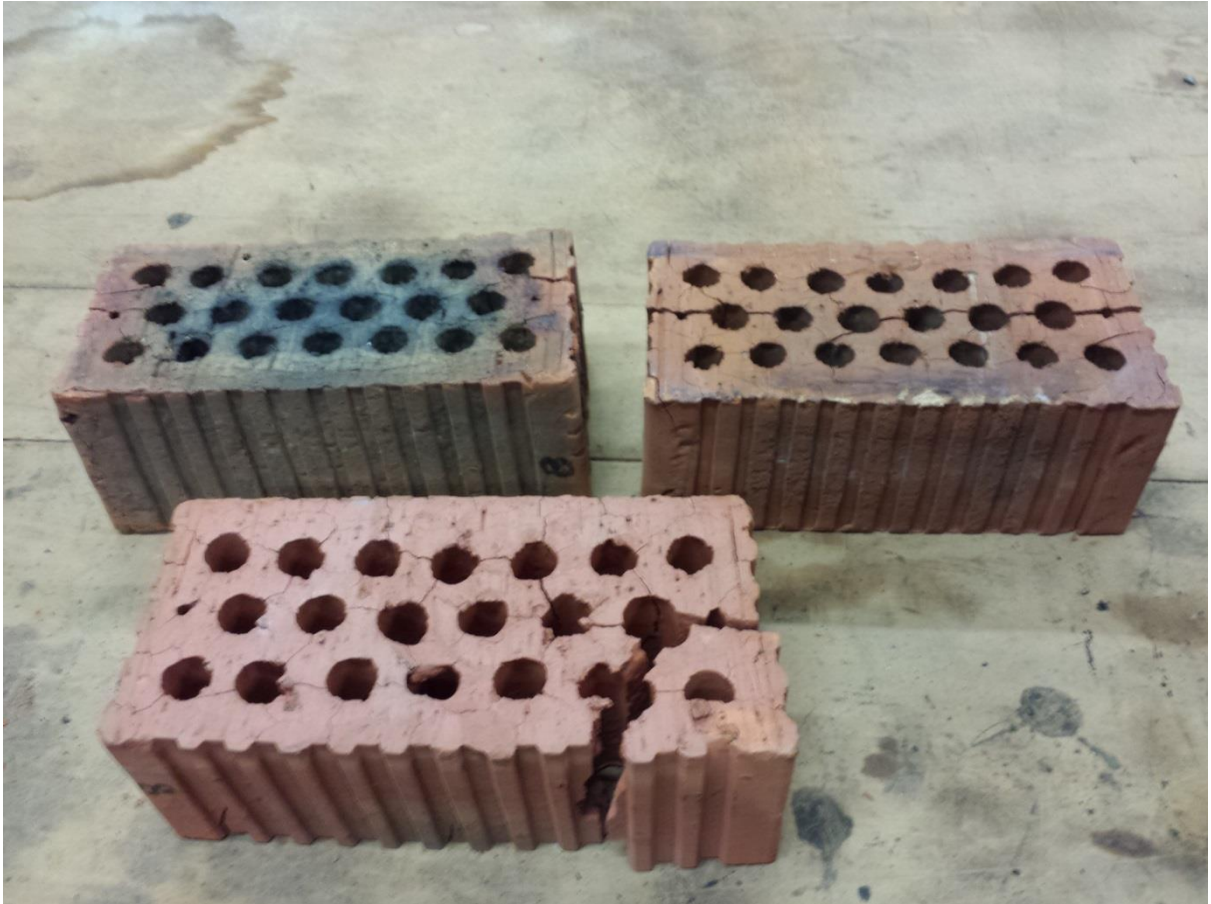


Fonte: Do autor (2016)

4.3 Resistência mecânica à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado apenas com os blocos queimados na olaria, tendo em vista que os blocos queimados na mufla apresentaram rachaduras excessivas, que em alguns corpos de prova levaram à quebra. A Figura 18 mostra alguns blocos que apresentaram problemas na queima, causados principalmente pela evaporação rápida da água de conformação, uma vez que essa água não foi eliminada previamente com um processo de pré queima. Por conseguinte, a resistência mecânica dos blocos foi comprometida pelas rachaduras, de maneira que os blocos queimados na mufla não foram ensaiados quanto à resistência à compressão.

Figura 18 - Blocos defeituosos



Fonte: Do autor (2016)

Os blocos queimados na olaria apresentaram integridade visual adequada, assemelhando-se aos blocos convencionais de construção. Os corpos de prova foram preparados e levados para o ensaio destrutivo de compressão, cujos resultados estão expressos na Tabela 13.

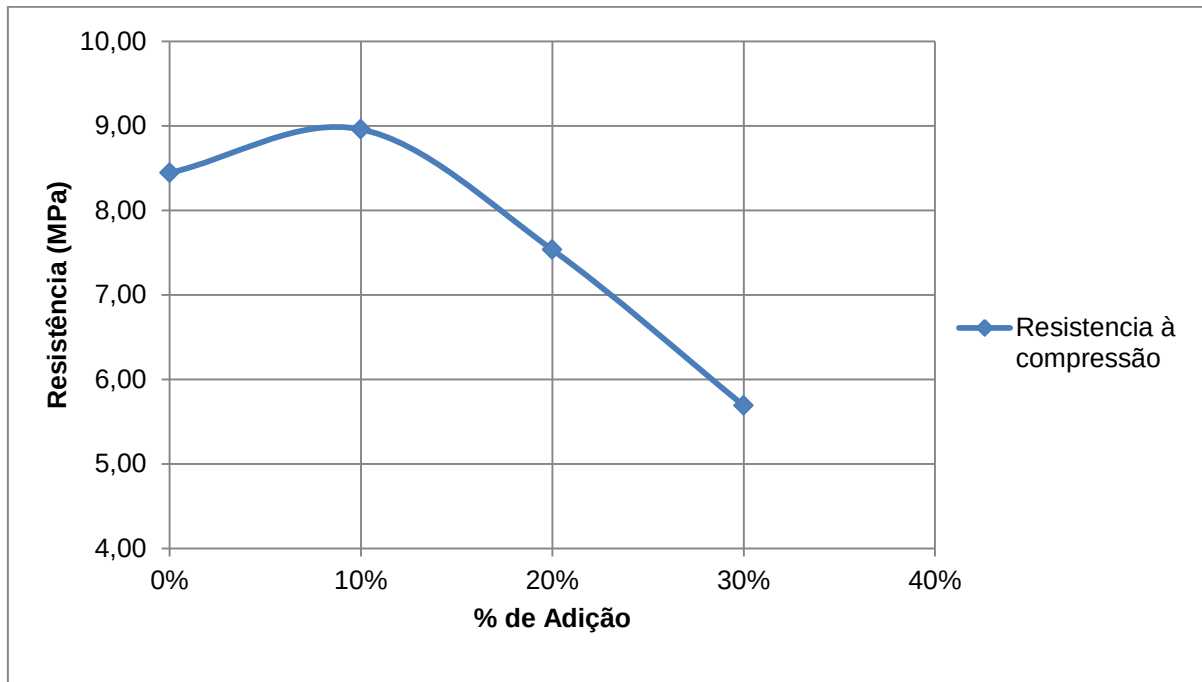
Tabela 13 - Resistência à compressão

Adição (%)	CP (nº)	Dimensões (mm)		Carga de Ruptura (N)	Resistência à Compressão (MPa)
		Largura (L)	Comprimento (C)		
0	13	113	240	236494,75	8,72
0	14	114	241	224547,14	8,17
10	1	113	237	257170,03	9,60
10	2	113	242	227512,86	8,32
20	4	113	239	187348,58	6,94
20	5	113	237	217853,09	8,13
30	7	114	237	149895,81	5,55
30	8	114	240	159555,58	5,83

Fonte: Do autor (2016)

Os corpos de prova apresentaram resistência muito superior à resistência mínima exigida pela norma, de 3,0 MPa. Em adições de até 10% de resíduo, a resistência mecânica média dos corpos de prova se manteve muito próxima dos corpos de prova de referência, não prejudicando a capacidade dos corpos de resistir à compressão. Os corpos com 20% de adição também apresentaram uma resistência à compressão muito próxima aos corpos de prova de referência, com a média de apenas 1,0 MPa mais baixa, consoante com o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Resistência a compressão - média



Fonte: Do autor (2016)

Os blocos com o teor de adição de 30%, por sua vez, apresentaram uma resistência muito inferior aos demais blocos. Mas, apesar de sua resistência ser mais baixa, os corpos de prova com 30% de resíduo ainda apresentam a resistência mínima exigida pela norma, melhor dizendo, apresentam o dobro dessa resistência. Assim, constata-se que a adição de pó de fumo nos blocos diminuiu a resistência mecânica, porém não reduziu de maneira a comprometer a resistência mínima requerida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes de viabilidade técnica dos blocos cerâmicos estruturais com adição de resíduo da indústria fumageira indicam a possibilidade de seu uso, de acordo com todos os requisitos técnicos mínimos da NBR 15270-2 (ABNT, 2005) para teores de até 20% de adição. Os blocos aprovados nesses testes foram produzidos de acordo com o procedimento padrão de uma olaria na cidade de Venâncio Aires/RS, adicionando-se o resíduo industrial no misturador da extrusora empregada na conformação, de modo que a linha de produção da empresa ficou praticamente inalterada. Portanto, o pó de fumo pode ter uma destinação adequada como a adição na massa cerâmica, uma vez que não compromete a qualidade final do produto e tem sua aplicação direta e in natura, dispensando processos secundários de preparo.

No entanto, mesmo com a resistência mínima exigida pela NBR 15270-2 (ABNT, 2005), os corpos de prova com adição de 30% de pó de fumo queimados na olaria foram reprovados nos testes de absorção, apresentados na seção 4.2.1. A Tabela 12, apresentada na seção 4.2.2, mostra a diminuição de absorção de água conforme o aumento da temperatura de queima, indicando que apenas em temperaturas acima de 800° C, os blocos com 30% de adição apresentaram absorção de água satisfatória, abaixo do limite máximo. Em vista disso, para viabilização técnica dos blocos cerâmicos com adição de 30% de pó de fumo, são necessárias temperaturas de queima mais elevadas, de no mínimo 800° C, de modo que os blocos que apresentam a resistência mínima à compressão, não ultrapassem o limite máximo de absorção de água.

Diante do indicativo de viabilidade técnica do uso de resíduo como adição, cria-se um possível destino alternativo para o pó de fumo. Dessa forma, o resíduo da indústria fumageira teria sua aplicação de maneira direta na cadeia de produção, somando-se com a argila para ganho de volume. Portanto, com a adição do subproduto da indústria tabagista em massa cerâmica, abre-se uma janela para a destinação adequada para o resíduo in natura, dispensando tratamentos prévios e direcionando a um fim esses resíduos acumulados.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Os corpos de prova queimados na mufla apresentaram problemas, como rachaduras excessivas, devido à evaporação rápida da água de conformação. Sugere-se para uma futura pesquisa, pois, que se faça uma pré queima dos corpos de prova em uma estufa, utilizando uma temperatura de 105° C por um período de 24 horas. Dessa forma, a água de conformação evaporará de maneira lenta e os blocos não devem apresentar falhas durante o processo de queima na mufla.

Outrossim, sugere-se testes com teores de adição mais elevados, com até 50% de adição do resíduo da indústria fumageira in natura na massa cerâmica dos blocos. O intuito do aumento do teor de adição, é definir um ponto onde o bloco não apresente a resistência mínima exigida de 3,0 MPa e também ultrapasse o limite máximo de absorção de água de 22%. Para isso, serão necessárias temperaturas de queima mais altas, de modo que se tenha o máximo aproveitamento dessas duas características.

Além da complementação dos testes de viabilidade técnica, sugere-se estudos de liberação de gases e de durabilidade. Tendo em vista que, como no cigarro, durante a queima dos blocos, gases tóxicos podem ser liberados na atmosfera, indicando um potencial risco à saúde. Ademais, reações deletérias podem ocorrer ao longo do tempo, sendo necessários testes de durabilidade para indicar se o bloco permanece inerte após sua utilização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **10006**: Solubilização de resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **10007**: Amostragem de resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 2005.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelim J.. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 374 p.

CALLISTER JUNIOR, William D.. **Ciência e engenharia dos materiais: Uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

COLLATTO, Décio. **Utilização de resíduo proveniente da estação de tratamento de efluentes de indústria de papel como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LAUSCHNER, Marcio Henrique. **Potencial de reciclagem agrícola de resíduos de agroindústria fumageira**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LOPES, Diorges Carlos. **Estudo da viabilidade de adição de resíduo de pó de fumo à massa cerâmica**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C.. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.303-313, 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662002000200020>.

NEGRE; SANCHEZ. Avanços no processamento de pós atomizados para a fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, Castellón, v. 3, n. 1/2, p.22-28, jan. 1998.

PIANCA, João Baptista. **Manual do Construtor I: Materiais de construção e técnica construtiva com gravuras ilustrativas**. Porto Alegre: Globo, 1970.

PUREZA. **Utilização de Resíduos Industriais de Baixa Granulometria em Massas Cerâmicas de Argila Vermelha: aspectos tecnológicos e ambientais**, 2004. Dissertação (Mestrado) Engenharia de Materiais, PPGEM, UFRGS. Porto Alegre, 2004.

RIBEIRO, Daniel Vêras; MORELLI, Márcio Raymundo. **Resíduos Sólidos: Problema ou oportunidade?**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 158 p.

SCHIRMER, Guilherme Karsten. **Ecotoxicologia de resíduo da agroindústria do tabaco em oligoquetas**. 2014. 95 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SINDITABACO. **Produção Integrada de Tabaco: Glossário**. 2016. Disponível em: <<http://sinditabaco.com.br/press-kit-e-publicacoes/producao-integrada-de-tabaco-glossario/>>. Acesso em: 23 maio 2016.

SINDITABACO. **Tabaco no sul do Brasil:** Tradição e renda. Santa Cruz do Sul, 2013.

TELOEKEN, Ana Caroline. **Utilização de lodo galvânico como matéria-prima em cerâmica vermelha:** Obtenção, caracterização de propriedades tecnológicas e aspectos ambientais. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TOMAZETTI. **Análise da Produção de Cerâmica Vermelha da Região Central do estado do Rio Grande do Sul.** 2003. Dissertação (Mestrado), PPGECC, UFSM, Santa Maria, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela de absorção de água: mufla

Tabela de absorção de água: mufla

Adição (%)	Queima (°C)	CP (n°)	Massa seca (g) (ms)	Massa úmida (g) (ms)	Absorção (%)
0	750	17	2960,4	3434,9	16,03%
10	750	18	2998,0	3535,2	17,92%
20	750	19	2907,3	3445,0	18,49%
30	750	20	2686,3	3286,7	22,35%
0	800	21	3003,8	3444,3	14,66%
10	800	22	2986,1	3447,5	15,45%
20	800	23	2806,6	3331,9	18,72%
30	800	24	2826,8	3422,9	21,09%
0	850	25	3046,0	3477,2	14,16%
10	850	26	2940,0	3416,6	16,21%
20	850	27	2815,3	3317,7	17,85%
30	850	28	2738,4	3278,6	19,73%
0	900	29	2970,7	3376,1	13,65%
10	900	30	3006,9	3425,8	13,93%
20	900	31	2831,0	3324,4	17,43%
30	900	32	2744,0	3283,7	19,67%