



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

2005 11461

**VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE  
COURO PARA FINS DE OBTENÇÃO DE UM MATERIAL  
ALTERNATIVO DE CONSTRUÇÃO**

JOÃO GERALDO MOLINARI PERES

CAMPINAS  
Fevereiro de 2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE  
COURO PARA FINS DE OBTENÇÃO DE UM MATERIAL  
ALTERNATIVO DE CONSTRUÇÃO**

Dissertação submetida à banca examinadora  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Agrícola, na  
Área de Construções Rurais e Ambiente.

**JOÃO GERALDO MOLINARI PERES**

**Orientador: Prof. Dr. WESLEY JORGE FREIRE**

**CAMPINAS  
Fevereiro de 2004**

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP P415v
V	EX
TOMBO BC/	64281
PROC.	16-P.0008605
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11,00
DATA	13/26/05
Nº CPD	

AMP

leilão 353152

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P415v

Peres, João Geraldo Molinari

Viabilidade de utilização da serragem de couro para fins de obtenção de um material alternativo de construção / João Geraldo Molinari Peres. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Wesley Jorge Freire.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Resíduos industriais. 2. Couros-industria. 3. Construção civil. 4. Pisos. 5. Meio ambiente. I. Freire, Wesley Jorge. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

## *Dedicatórias*

À minha esposa, Neneca, companheira de todas as horas, que, sempre com palavras de incentivo e amor, auxiliou-me na conclusão de mais uma etapa de nossa vida.

Às minhas filhas, Giovanna, Fábria e Maria – minhas alegrias.

A meu pai, Waldir (in memoriam) e à minha mãe Olézia Maria, sempre presentes. Suas orientações, amor e exemplos de vida continuam mostrando os caminhos a serem trilhados – saudades.

A meu sogro, Zeca, e minha sogra, Lídia, pela confiança, positivismo e apoio em todo os momentos.

## *Agradecimentos*

À Deus, por poder enxergar as belezas da vida.

À Alba (in memoriam), que sempre participou de nossas vidas.

Aos meus irmãos, irmã, cunhados e cunhadas, pelo apoio e carinho demonstrados.

Ao Prof. Dr. Wesley Jorge Freire, que me orientou e acompanhou nestes anos de trabalho, pela sua dedicação e amizade, obrigado.

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo, pelo seu apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Balarin, pelas suas orientações e sugestões.

Às técnicas do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da FEAGRI, Gisleiva Cristina Ferreira e Flávia de Freitas Vieira, pela amizade, apoio e incentivo.

Ao Prof. Dr. Rossi, pela sua amizade.

Aos professores, desde os primeiros anos escolares até o dia de hoje, e de outros que ainda virão, pois sem eles nada seria possível.

Ao José Roberto Scarabel (in memoriam), pelo seu apoio desde o início do desenvolvimento deste trabalho.

À família Scarabel, proprietários do Curtume IRIS, pela sua amizade.

Ao José Monfardini e José Eduardo Monfardini, pela confecção das formas metálicas.

Ao Prof. Msc. Marcelo Della Mura Janinni, professor de Química do CREUPI, pelo interesse e auxílio nos trabalhos.

Ao Prof. Carlos Alberto Barbosa, pela disponibilidade da utilização do laboratório de Química da CREUPI.

Ao Marcelo Martucci, técnico do laboratório de Química do CREUPI.

Aos funcionários do Curtume IRIS, pela paciência e interesse demonstrados.

Ao Léo Fusco D'Arcádia, diretor da Cerâmica Chiarelli, pela presteza, interesse e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

À Eng. Dra. Ana Paula M. Menegazzo, gerente do CITEC-CCB, Centro Técnico de Inovação Tecnológica em Cerâmica, pela disponibilidade das dependências laboratoriais para o desenvolvimento dos ensaios necessários.

Ao Thiago Alexandre Deyuri, Coordenador Técnico do CITEC-CCB, pelo interesse nas análises laboratoriais desenvolvidos.

Ao Ronaldo Márcio Cesário, técnico do Laboratório de Ensaios Mecânicos do CITEC-CCB.

Ao André Costa Campos, técnico do Laboratório de Ensaios à Abrasão do CITEC-CCB.

Ao Marcelo Roberto Chrispin, da Agroin Solutions Ind. E Com. Ltda., pela confecção da esfera de aço utilizada neste trabalho.

Ao Prof. Msc. Benedito Freitas Bueno, pela disponibilidade em auxiliar nas análises estatísticas.

Ao Edilson Costa e Wilian Jonas Ferreira, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Marliete Pereira de Lima, pela prontidão no auxílio à língua inglesa.

A Martha del Carmen Mesa Valenciano, Eduardo da Beira Fontaine e Lia Lorena Pimentel, amizades que desenvolvi nestes anos de estudos.

Ao Celso Zuppi e Joaquim A. Ferreira, amigos e companheiros de viagens.

Aos funcionários e amigos da FEAGRI – UNICAMP.

À C.Sarcinelli Studio, Carlos Alberto, Andresa, Rita, Nádia e Toninho, pela diagramação das fotos.

À BSOUZA Processamento de Dados, pela dedicação demonstrada.

Ao Luís e Sebastião Conde, pelas sugestões e amizade.

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>DEDICATÓRIAS</b>	iii
<b>AGRADECIMENTOS</b>	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b>	xi
<b>RESUMO</b>	xiii
<b>ABSTRACT</b>	xv
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	5
<b>4. MATERIAL E MÉTODO</b>	19
<b>4.1. Materiais e equipamentos</b>	19
4.1.1. Resíduo de couro	19
4.1.2. Cimento Portland	20
4.1.3. Areia	20
4.1.4. Água	20
4.1.5. Água Sanitária	20
4.1.6. Desmoldante	21
4.1.7. Fôrmas cilíndricas Ø 50 mm x 100 mm de altura	21
4.1.8. Fôrmas metálicas de 210 mm de largura, 610 mm de comprimento e 20 mm de espessura	21
4.1.9. Fôrmas metálicas quadradas, com cantoneira de ferro e chapa galvanizada de 100 mm de lado e espessura de 20 mm	22
4.1.10. Outros materiais e equipamentos	22
<b>4.2. MÉTODOS</b>	23
4.2.1. Pré-tratamentos aplicados ao resíduo de couro	24
4.2.2. Determinação da massa específica aparente da serragem do couro	25
4.2.3. Ensaio preliminares de dosagem	26
4.2.4. Moldagem de corpos-de-prova cilíndricos	27
4.2.5. Moldagem de corpos-de-prova quadrados	29

4.2.6. Ensaio de ultra-som	33
4.2.7. Ensaio de compressão simples	34
4.2.8. Determinação das dimensões com paquímetro digital	35
4.2.9. Determinação da diferença de comprimento entre lados opostos e adjacentes	36
4.2.10. Determinação das dimensões, retitude, curvatura central, curvatura lateral e empeno do compósito	40
Determinação das dimensões com dataplucrômetro	44
Determinação da retitude	45
Determinação da ortogonalidade	46
Determinação da curvatura central	47
Determinação da curvatura lateral	48
Determinação do empeno	48
4.2.11. Determinação da absorção da água por capilaridade	49
4.2.12. Determinação da absorção da água por imersão, índice de vazios e massa específica do compósito, seca e saturada	51
4.2.13. Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão	54
4.2.14. Determinação da resistência à abrasão profunda	56
4.2.15. Determinação da resistência ao impacto	59
4.2.16. Análise estatística	60
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	61
5.1. Determinação do traço da argamassa	61
5.2. Determinação da massa específica aparente da serragem de couro	64
5.3. Ensaio de ultra-som	65
5.4. Ensaio de compressão simples	71
5.5. Determinação das dimensões com paquímetro	74
5.6. Determinação da diferença entre lados opostos e adjacentes	78
5.7. Determinação das dimensões com dataplucrômetro	81
5.8. Determinação da retitude lateral	83
5.9. Determinação da ortogonalidade	84
5.10. Determinação da curvatura central	86
5.11. Determinação da curvatura lateral	87
5.12. Determinação do empeno	88

5.13. Determinação da absorção de água por capilaridade	89
5.14. Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica aparente	91
5.15. Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão	93
5.16. Determinação da resistência à abrasão profunda	95
5.17. Determinação da resistência ao impacto	96
5.18. Comparação entre custo de peças confeccionadas com ou sem a incorporação de serragem de couro	98
<b>6. CONCLUSÕES</b>	101
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	103
<b>9. ANEXOS</b>	107

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Processos de moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos, vendose a balança eletrônica empregada, a argamassadeira e corpos-de-prova confeccionados	29
Figura 2 – Fôrmas metálicas para corpos-de-prova quadrados de 100 mm de lado e 20 mm de espessura, e corpo-de-prova já confeccionado	31
Figura 3 – Fôrma metálica para corpos-de-prova quadrados de 200 mm de lado e 20 mm de espessura, mesa vibratória e corpo-de-prova em processo de vibração	32
Figura 4 – Equipamento Ultrasonic Tester BP-7 e as leituras sendo tomadas em um corpo-de-prova	33
Figura 5 – Corpo-de-prova sendo ensaiado à compressão simples	35
Figura 6 – Verificação dimensional do corpo-de-prova com utilização de paquímetro digital	37
Figura 7 – Caracterização dos desvios das placas	42
Figura 8 – Caracterização dos desvios das placas	44
Figura 9 – Determinação das dimensões da placa através de Dataplucrômetro	45
Figura 10 – Corpos-de-prova imersos em água para ensaio de absorção de água por capilaridade	50
Figura 11 – Corpos-de-prova imersos em água para ensaio de absorção de água por imersão	52
Figura 12 – Equipamento Crômetro Crab 424 e corpo-de-prova sendo submetido à ensaio de flexão	55
Figura 13 – Abrasímetro Cap, ensaio de abrasão profunda e corpos-de-prova antes e após o ensaio	58
Figura 14 – Velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 3 dias	67

Figura 15 – Velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 7 dias	68
Figura 16 – Velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 14 dias	69
Figura 17 – Velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 28 dias	70
Figura 18 – Gráfico representativo da tensão de ruptura (MPa) x idades de ruptura (dias)	72
Figura 19 – Correlação entre tensão de compressão simples (MPa) e velocidade ultra-sônica (km/s)	73

## LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1 – Composição e estrutura do couro	7
Tabela 2 – Principais tipos de curtimento aplicados ao couro	9
Tabela 3 – Classificação de materiais de construção	14
Tabela 4 – Resistência à compressão simples de corpos-de-prova submetidos à diferentes pré-tratamentos aplicados ao resíduo de couro	62
Tabela 5 – Massa específica aparente da serragem de couro “in natura”	64
Tabela 6 – Massa específica aparente da serragem de couro tratada com água sanitária	64
Tabela 7 – Velocidade da onda ultra-sônica registrada para cada corpo-de-prova ensaiado	65
Tabela 8 – Determinação da resistência à compressão simples (MPa)	72
Tabela 9 – Correlação entre tensão de compressão simples e velocidade ultra-sônica média	73
Tabela 10 – Dimensões dos corpos-de-prova analisados (mm)	76
Tabela 11 – Dimensões médias dos corpos-de-prova analisados	77
Tabela 12 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade das peças CP 01, CP 03 e CP 04	78
Tabela 13 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade das peças CP 05, CP 07 e CP 08	79
Tabela 14 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade das peças CP 09, CP 10, e CP 16	79
Tabela 15 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade da peça CP 18	80
Tabela 16 – Diferença percentual entre lados opostos e adjacentes	81
Tabela 17 – Determinação das dimensões das peças estudadas com Dataplucrómetro	82
Tabela 18 – Determinação da retitude das peças analisadas em mm e a variação percentual em relação à placa padrão	83
Tabela 19 – Determinação do desvio máximo da ortogonalidade em relação à placa padrão	85

Tabela 20 – Determinação do desvio máximo de curvatura central em relação à placa padrão	86
Tabela 21 – Determinação do desvio máximo de curvatura lateral em relação à placa padrão	87
Tabela 22 – Caracterização de empeno para cada face das peças analisadas	88
Tabela 23 – Massa dos corpos-de-prova após diferentes períodos de tempo a partir de sua imersão em água	89
Tabela 24 – Altura de molhamento das peças submetidas ao ensaio de absorção de água por capilaridade	90
Tabela 25 – Absorção de água por capilaridade relacionada à variação de massas em função de área molhada.	91
Tabela 26 – Massas dos corpos-de-prova, após decorridos diferentes períodos de tempo a partir de sua imersão em água	92
Tabela 27 – Massas dos corpos-de-prova submersos, após decorridos 72 horas da imersão em água	92
Tabela 28 – Características físicas dos corpos-de-prova estudados	93
Tabela 29 – Carga de ruptura e módulo de resistência à flexão dos corpos-de-prova	94
Tabela 30 – Determinação da resistência à abrasão profunda (mm <sup>3</sup> )	95
Tabela 31 – Dimensões médias dos corpos-de-prova	97
Tabela 32 – Determinação das alturas, em m, em que ocorreram as deformações visíveis nos corpos-de-prova para a determinação da resistência ao impacto	97

## RESUMO

Um dos grandes problemas hodiernos é o acentuado aumento populacional e, por conseguinte, a geração de uma enorme quantidade de materiais descartáveis, isto é, resíduos cumulativos da matéria-prima já utilizada, o que leva a se pensar em uma proposta de utilização destes diferentes resíduos para diversos fins.

Os resíduos domiciliar e industrial na maioria das vezes são depositados em lixões a céu aberto e em aterros sanitários controlados, ou encaminhados a usinas ou incineradores, muitas vezes sem qualquer tratamento prévio, podendo trazer conseqüências danosas para o ambiente e a saúde pública.

As indústrias de curtimento de couro e a calçadista fazem parte daquelas que estão em constante evolução para atender à demanda crescente de consumo, e, ao mesmo tempo, forçadas a resolver os problemas gerados em função de sua própria atividade econômica, representados pelos resíduos originados de seu processo industrial.

Dentre esses resíduos, pode-se citar os resíduos sólidos da indústria de curtimento de couro, mais conhecidos como “raspa de couro”, “farelo de couro” ou “serragem de couro”. São volumes consideráveis de materiais que, por falta de melhor alternativa, são encaminhados a aterros sanitários.

Este trabalho foi desenvolvido, então, com a finalidade de estudar a possível utilização desses resíduos sólidos como adições em argamassas de cimento e areia visando a obtenção de um material alternativo de construção voltado, exclusivamente, à produção de pisos.

Procurou-se não associar produtos ou materiais de reforço que, seguramente, confeririam melhores características físico-mecânicas ao compósito obtido, a fim de que o efeito da incorporação dos resíduos estudados no desempenho da argamassa de cimento e areia não fosse mascarado.

Para tal, foram confeccionados corpos-de-prova que, depois de devidamente curados, tiveram suas características físicas e mecânicas determinadas através de ensaios não destrutivos de ultra-som, ensaios de compressão simples, análise da verificação dimensional, determinação do empeno, determinação da retitude lateral, determinação das curvaturas lateral e central, resistência ao impacto, resistência à flexão, determinação da absorção de água por capilaridade, determinação da absorção de água por imersão e resistência do material à abrasão profunda.

Os resultados obtidos mostraram a viabilidade técnica do uso desse resíduo na produção de pisos, evidenciando, também, a necessidade de se dar continuidade a este trabalho, visando a melhoria das condições físicas e mecânicas do material produzido.

Palavras-chave: resíduo industrial, resíduo de couro, farelo de couro, material alternativo de construção, meio-ambiente.

## ABSTRACT

Nowadays one of the most important Brazilian problems is the marked population increasing and therefore the generation of enormous volumes of disposable material like the cumulative used up raw material residues. This fact drives to the need for a proposal aiming at the utilization of these different kinds of residues.

The domestic and industrial wastes in most cases are simply discarded in an open air storage yard, directed to a controlled sanitary landfill, or sent to incinerating plants frequently without any kind of previous treatment causing environmental harm and injury to public health.

The leather tanning industry and the shoe manufacturing ones are among those evolutive industries trying to attend the increasing demand for their products; at the same time these industries are compelled to solve the problems generated by their own economical activity represented by their industrial processing refuses.

The solid refuses obtained from the leather tanning industry are commonly produced at considerable volumes which are usually directed to a controlled sanitary landfill.

So, this work was carried out in order to study the feasible utilization of the leather tanning refuse as a component of cement mortars for paving purposes.

No chemical products or reinforcing materials were used to ameliorate the physical and mechanical characteristics of the obtained composite so that the effect of the addition of leather tanning refuse on the cement mortar was not hidden any way.

For this purpose composite specimens were molded according to the previous established treatments and properly cured before being submitted to ultrasonic test, compressive test, dimensional checking, bending determination, lateral rectitude determination, lateral and central curvature determination, impact resistance, flexural strength, capillary water absorption test, immersion water absorption test and deep abrasion resistance.

The results pointed out the technical feasibility of the leather tanning refuse addition to cement mortar for paving purposes making evident the need for new studies in order to obtain a material of better physical and mechanical quality.

Key words: industrial residue, leather residue, leather bran, alternative construction material, environment.

## **1 INTRODUÇÃO**

Com o acelerado avanço tecnológico predominante nos tempos atuais, torna-se necessário, também, o desenvolvimento de técnicas e conceitos voltados à melhoria da qualidade de vida humana.

As indústrias, de forma geral, tentam suprir as necessidades, cada vez mais, maiores da população, resultando deste acréscimo de produção um volume, também, cada vez mais significativo de resíduos industriais, que muitas vezes são descartados sem nenhum controle em locais caracterizados como lixões ou aterros sanitários.

Dentre os produtos industrializados, muitos geram, durante sua fabricação, resíduos sólidos de difícil decomposição e que acabam interferindo na poluição visual, nas condições ambientais do solo e, mesmo, do sub-solo, em suas condições físicas e químicas e, até mesmo, alcançando o lençol freático, podendo provocar graves problemas de saúde pública.

Os curtumes e indústrias calçadistas não fogem à regra, ou seja, depositam grande parte dos resíduos produzidos em áreas de descarte, geralmente de responsabilidade pública uma vez que, em seu processo de produção, utilizam curtentes tanto vegetais como químicos, gerando um volume considerável de resíduo poluente.

O processo de preparação do couro é constituído de diversas etapas de execução: remolho, curtimento, esfolo, entre outros, até ser considerado curtido.

Após todo o processo de curtimento, promove-se a lavagem final do couro para a retirada do excesso dos produtos curtentes, através de equipamentos mecânicos conhecidos como fulões - grandes tonéis de madeira que, em movimento de rotação, promovem a circulação das águas entre os materiais ali depositados. Em seguida, estas peças são encaminhadas para secagem em estufa, completando-se o processo de curtimento.

Ocorre que, após o término da etapa de curtimento, o couro apresenta-se com espessura variada em uma mesma peça, o que dificultaria sua utilização para a finalidade determinada, ou seja, na indústria de calçados e de vestuários.

Para que o couro possa ser usado, tanto na indústria de calçados como na de vestuário, ele deverá apresentar-se com espessura constante, ou com a mínima variação possível. Utiliza-se, então, para a regularização da espessura da peça curtida, um equipamento conhecido como rebaixadeira. É constituído de dois cilindros com facas reguláveis que irão promover a regularização do couro, conforme a necessidade do mercado consumidor.

Quando se executa este procedimento de rebaixamento, acumula-se um volume muito grande de resíduo sólido, conhecido como serragem ou farelo de couro.

Uma das poucas formas de reaproveitamento deste resíduo é na confecção de palmilhas, porém essa demanda é muito limitada. Pode-se afirmar que a maior parte dos

resíduos seja encaminhada para aterros sem controle ou com um nível de controle muito reduzido culminando com que, muitas vezes, o resíduo seja lançado a céu aberto.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho é a obtenção de um material alternativo de construção a ser utilizado na fabricação de pisos, pelo aproveitamento da serragem de couro, resíduo da indústria coureira e calçadista, também conhecido como farelo de couro.

Para tal, buscou-se (a) desenvolver um material alternativo para a aplicação como revestimento de pisos, de fácil emprego pela população em geral, sem a necessidade de mão-de-obra especializada; (b) reduzir o custo do material de revestimento pela incorporação de serragem de couro à argamassa de cimento e areia; (c) minimizar o impacto ambiental gerado por este resíduo quando descartado diretamente nos lixões e aterros sanitários.

Constituem objetivos específicos desta pesquisa a determinação das características físicas e mecânicas dos corpos-de-prova ensaiados; a determinação dimensional das peças produzidas; o estudo da viabilidade técnica e econômica do material alternativo de construção obtido.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A história não registra precisamente a época em que o homem começou a utilizar a pele de animais como peças de vestuário ou como material de fabricação de tendas ou moradias.

Alimentado-se fartamente com a carne dos animais silvestres, o primitivo habitante da Terra talvez não tivesse, de início, a intuição de aproveitar qualquer despojo dos animais abatidos. Entretanto, foi justamente a rudeza de sua vida nômade e a adversidade do ambiente em que vivia que o levou, também, a servir-se da pele dos animais para minorar seu sofrimento quando exposto às intempéries.

Posteriormente a esta etapa, o couro transformou-se em material de valor econômico, visto suas mais variadas aplicações, tais como, vestuário, transporte de materiais e de alimentos, armazenamento de água e vinho, fermentação de leite, etc.

Ao que parece, coube aos Babilônios a glória de terem, pela primeira vez, transformado o revestimento cutâneo dos animais em couro propriamente dito.

Os Egípcios, tomando esta arte aos Babilônios, transmitiram-na aos Hebreus, que se tomaram renomados curtidores de pele, e a eles se deve o emprego da casca de carvalho nos trabalhos de curtimento. Os Gregos, também, utilizavam água de cal para limpeza das peles, com a finalidade de livrá-las dos pêlos e cascas de carvalho moídas para fixá-las.

Os árabes, quando, no século VIII, pela primeira vez, invadiram a Europa, aí introduziram a arte de curtir as peles, empregando extratos de alguns vegetais como a “chulga”, e, como bons artífices, ensinaram a fabricar muitos artigos de couro (Mucciolo, 1948).

O couro constitui a pele do animal, preservada da putrefação por processos denominados de curtimento, que a torna flexível e macia.

Segundo Hoinacki (1989), no curtimento, é mantida a natureza fibrosa da pele, sendo as fibras, previamente, separadas pela remoção do tecido interfibrilar e pela ação de produtos químicos. As peles, então, são tratadas com substância curtentes que as transformam em couros.

Em geral a preparação dos couros compreende três etapas:

- operação de ribeira,
- curtimento,
- acabamento.

Na *operação de ribeira*, a maioria das estruturas e substâncias não formadoras do couro é removida, e, a parte utilizada para curtimento é encaminhada para os curtumes.

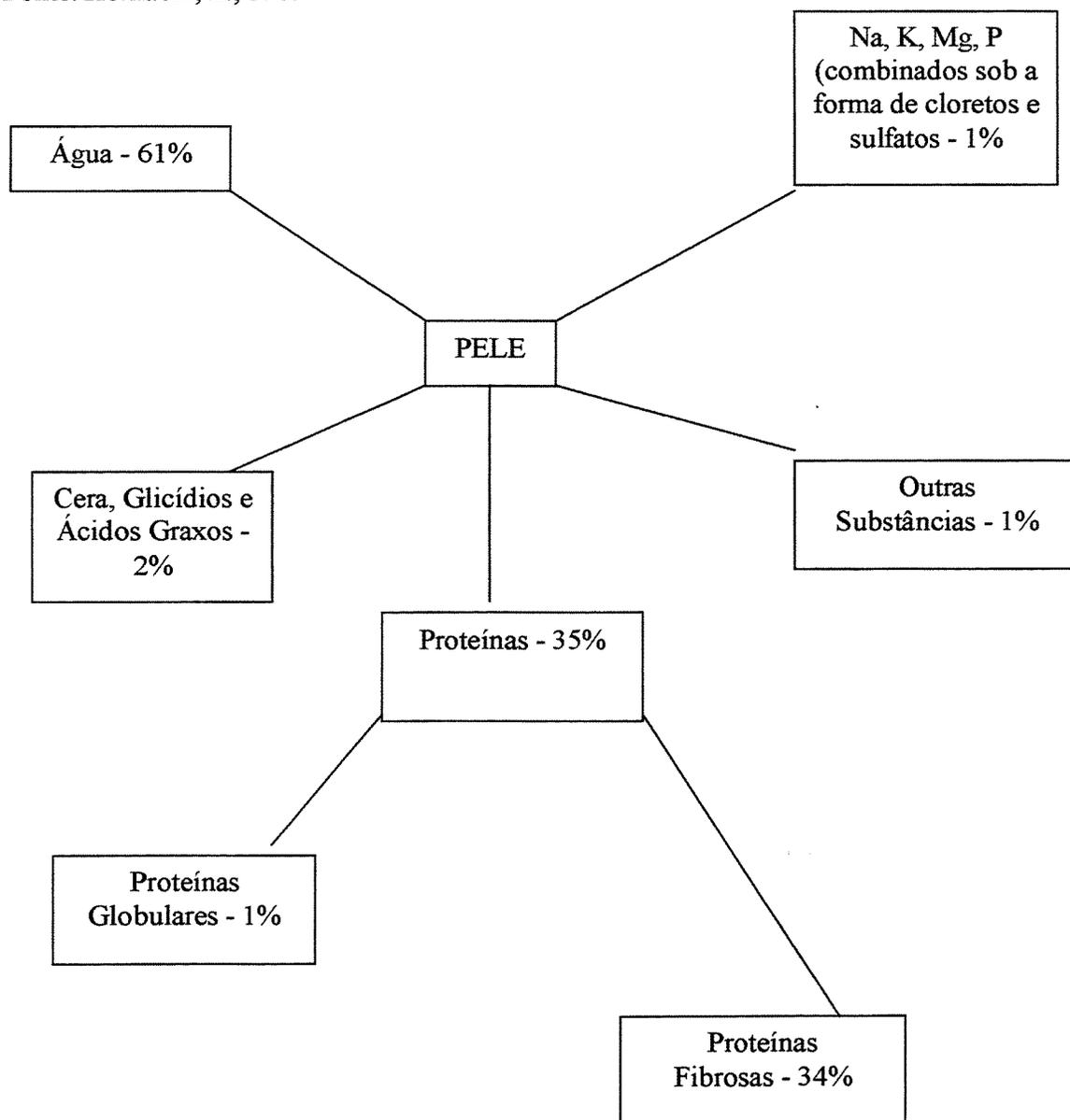
No *curtimento*, as peles, previamente preparadas, são tratadas com materiais curtentes de origem vegetal, mineral ou animal.

No *acabamento* ocorre a preparação final do couro para a comercialização. Nesta etapa, obtém-se o resíduo de couro, tal como o utilizado neste trabalho.

O couro possui a composição e a estrutura mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição e estrutura do couro.

Fonte: Hoinacki, E., 1989



As peles, uma vez removidas do animal, através de uma operação denominada esfolo, constituem a pele fresca. Para que se promova a conservação da mesma, o método utilizado, em geral, consiste na aplicação de sal sobre as peles intercaladas em camadas, durante o armazenamento.

Após o encaminhamento das peles aos curtumes, iniciam-se as operações preparatórias para o curtimento e obtenção de couros. As etapas que fazem parte desta preparação são: remolho, depilação e encalagem, descarne e divisão, desencalagem, píquel, curtimento e acabamento, etapas estas esquematizadas na Tabela 2 e caracterizadas a seguir.

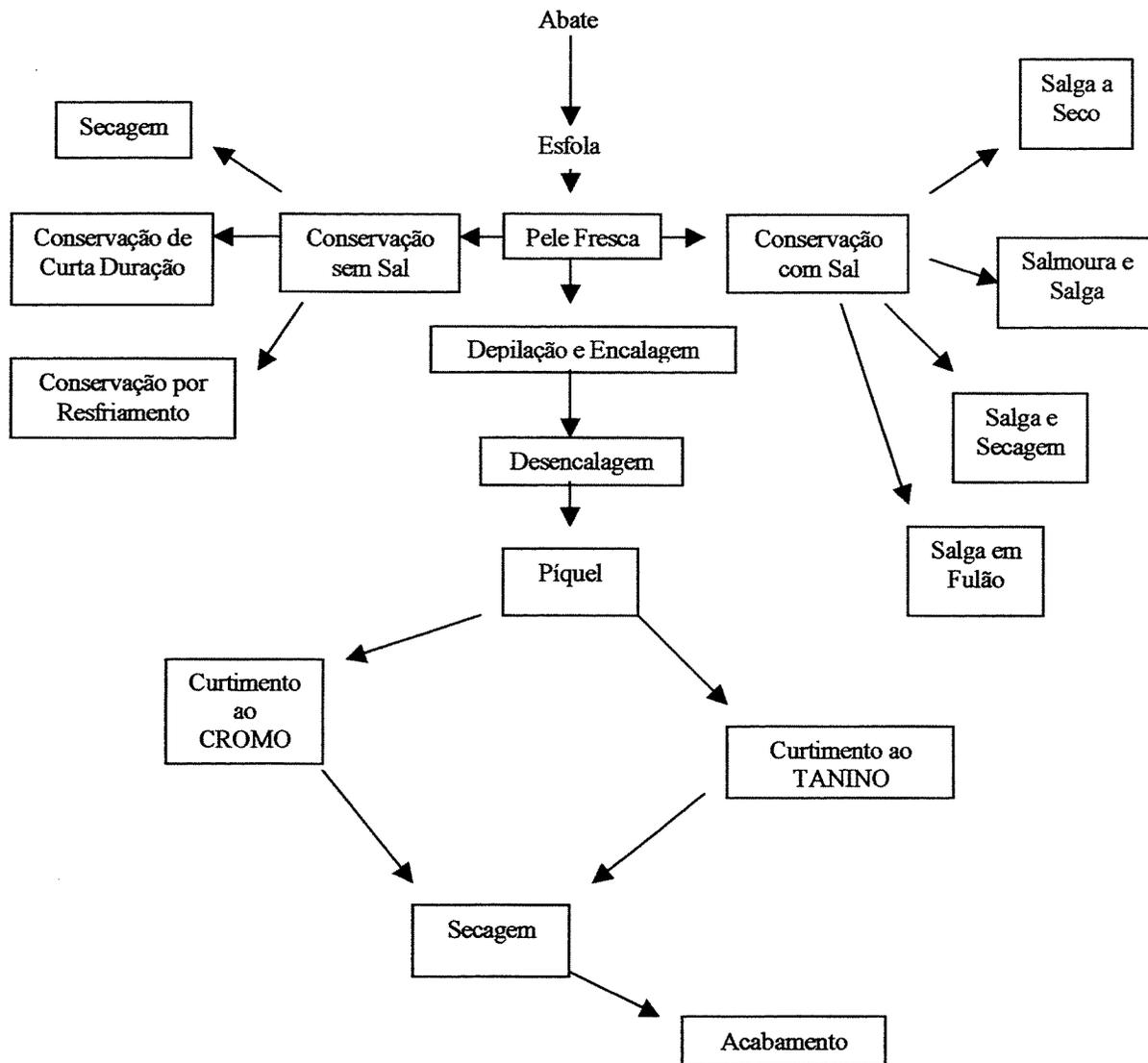
*Remolho:* as peles chegam ao curtume praticamente em estado desidratado. Para início do processo de curtimento, é necessário que as peles apresentem as mesmas características originais. Nesta etapa, há necessidade de um controle mais eficiente para evitar problemas posteriores, ou seja, um remolho deficiente resulta em couro duro e quebradiço e um remolho excessivo resulta em perda de substâncias dérmicas provocando furos nos couros.

*Depilação e Encalagem:* na depilação verifica-se a degradação do sistema epidérmico das peles, pela ação de agentes químicos. No processo de encalagem, os objetivos principais são: ação sobre o colágeno, abertura da estrutura fibrosa, entumescimento da estrutura fibrosa e ação sobre as gorduras.

O processo de depilação pode ocorrer de várias formas, ou seja, mediante a utilização de pastas diretamente sobre a pele, a aplicação de bactérias e enzimas sobre a pele e a depilação por fulão, que é a maneira mais usual. Utiliza-se, nesta operação, de 220 a 300% de água; 2,5% a 3,0% de sulfito de sódio e 2,0% a 3,0% de cal, com rotação em torno de 4 rpm e tempo de operação em função da pele tratada.

Tabela 2 – Principais tipos de curtimento aplicados ao couro.

Fonte: Hoinacki, E., 1989



*Descarne e Divisão:* nesta etapa, utilizam-se máquinas de descarnar, com o fim de se eliminar os materiais aderidos ao carnal. Após o descarne, a pele segue para uma máquina de divisão, que separa as peles em duas camadas, ou seja, a parte mais valiosa, que é a camada superior da pele, e a parte inferior, que é a parte de onde se obtêm couros acamurçados, sem grande valor para os curtumes.

*Desencalagem:* tem a finalidade de remover substâncias alcalinas resultantes das operações de depilação e encalagem, substâncias estas que, também, podem ser resultantes de operações quimicamente combinadas durante o processo. Para este tratamento, utilizam-se ácidos, sais e ácidos aromáticos, que, reagindo com a cal, irão neutralizar a pela em tratamento.

*Píquel:* visa, praticamente, à correção de possíveis falhas das operações anteriores e, principalmente, à preparação das fibras do material, para facilitar a penetração de agentes curtentes. Nesta operação, são adicionados às peles cloreto de sódio (10%), ácido sulfúrico (1,5%) e água (100%) e colocados em rotação dentro dos fulões, por tempo determinado.

*Curtimento:* o curtimento consiste na transformação das peles em material estável e imputrescível. Apesar do grande número de substâncias orgânicas e inorgânicas, são relativamente poucas as substâncias capazes de agir como curtentes. A seguir, é apresentada a relação dos produtos mais utilizados:

- produtos inorgânicos: sais de cromo, sais de zircônio, sais de alumínio e sais de ferro;
- produtos orgânicos: curtentes vegetais, curtentes sintéticos, aldeídos, parafinas sulfocloradas.

*Curtimento com Sais de Cromo:* os sais de cromo ocupam lugar de destaque entre os curtentes de origem mineral. O curtimento ao cromo é, em geral, efetuado com as peles em estado piquelado. Segundo Hoinacki (1989), no curtimento com cromo, as peles incorporam de 2,5% a 3,0% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

*Curtentes Vegetais:* curtimento vegetal é o processo pelo qual se obtém a transformação do tecido conjuntivo gelatinoso das peles em substância resistente e inalterável, utilizando-se extratos vegetais de natureza complexa, chamados genericamente de taninos. Estes complexos orgânicos vegetais são geralmente classificados em dois grupos: taninos derivados do propalou e taninos derivados da catequina, sendo que, em presença de sais de ferro, os primeiros apresentam-se com precipitação de coloração azul e os segundos, com coloração verde (Mucciolo, 1948).

Segundo Hoinacki (1989), os extratos tanantes são solúveis em água e insolúveis na maioria dos solventes orgânicos. Sua distribuição nos vegetais é bastante ampla, incluindo quase todas as famílias, até mesmo em algas e fungos.

Os taninos são acumulados em determinados tecidos, sendo encontrados em lenhos, cascas, raízes e em certas formações patológicas. Embora seja grande o número de fontes naturais de tanino, apenas algumas espécies vegetais são exploradas, por razões de ordem econômica.

Os taninos de origem vegetal são classificados segundo o seu comportamento, face à hidrólise, em taninos hidrolisáveis (pirogálicos) e taninos condensados (catequínicos).

Estão entre os taninos hidrolisáveis os extratos de castanheiro, sumagre, valônia, mirabolano, carvalho, etc. Estão entre os taninos condensados os extratos de quebracho, mimosa, mangue, pinho, etc.

O curtente utilizado para a preparação dos couros, cujos resíduos foram utilizados neste trabalho, é o curtente vegetal extraído da *Acácia mimosa*, espécie que, embora originária da Austrália, é cultivada e explorada com sucesso no Rio Grande do Sul. A casca da acácia é um dos mais ricos materiais tanantes.

Geralmente, é encontrado sob a forma de extrato em pó ou extrato sólido. O teor de tanante do extrato sólido é de 60%, enquanto que, no extrato em pó, chega a 70%, aproximadamente.

O tanino da acácia pertence ao grupo de taninos condensados e apresenta como principal característica a estabilidade de suas soluções e uma rápida penetração no curtimento.

Dependendo das condições de trabalho, podem ser obtidos couros macios (pH alto) ou couro firme (pH baixo).

*Acabamento:* após o curtimento, os couros devem ser operados em equipamentos próprios para que se proceda ao rebaixamento e padronização de espessura das peças em função das exigências do mercado consumidor. Necessário se faz, anteriormente a esta etapa, o enxugamento do couro, ou seja, a remoção do excesso de água de forma que o mesmo apresente-se com umidade em torno de 45%.

Após o rebaixamento, promove-se o engraxamento das peças e o acabamento final.

Com os resíduos provenientes do processo de curtimento e preparação do couro, procura-se uma aplicação destes, de maneira à minimizar os impactos ambientais provenientes de seu descarte aleatório.

Para a elaboração de projetos e execução de obras de construção civil, é de primordial importância que se conheçam os materiais empregados e a forma como os mesmos serão utilizados.

As condições básicas desejadas para materiais de construção são que possuam boa RESISTÊNCIA ou resistência compatível com os esforços a que vão ser submetidos, boa DURABILIDADE, podendo ser maior ou menor em função do tipo de construção ou finalidade a que se destina; HIGIENE, quando se caracteriza que a manipulação do material durante a execução da obra não cause danos à saúde do operador e boas condições econômicas visualizando-se a relação custo-benefício (Nääs, 1989).

Para as construções em geral, os materiais empregados são resultantes da extração direta da natureza ou resultantes da manipulação ou beneficiamento dos mesmos antes de sua utilização. Desta forma, os materiais se caracterizam em naturais e artificiais (Nääs, 1991), podendo eles ser classificados conforme a Tabela 3.

A constante evolução populacional existente, a nível mundial, determinou a adequação de uma maior produtividade, cada vez mais acentuada, da indústria de materiais em geral e à necessidade crescente de produtos ligados ao meio rural. Essa grande expansão resultou, naturalmente, em grandes quantidades de resíduos, dos mais variados tipos, cujo aproveitamento levou ao desenvolvimento de novos materiais de construção, denominados “materiais alternativos”, utilizados nas mais diversas áreas da atividade humana, principalmente, a da construção civil.

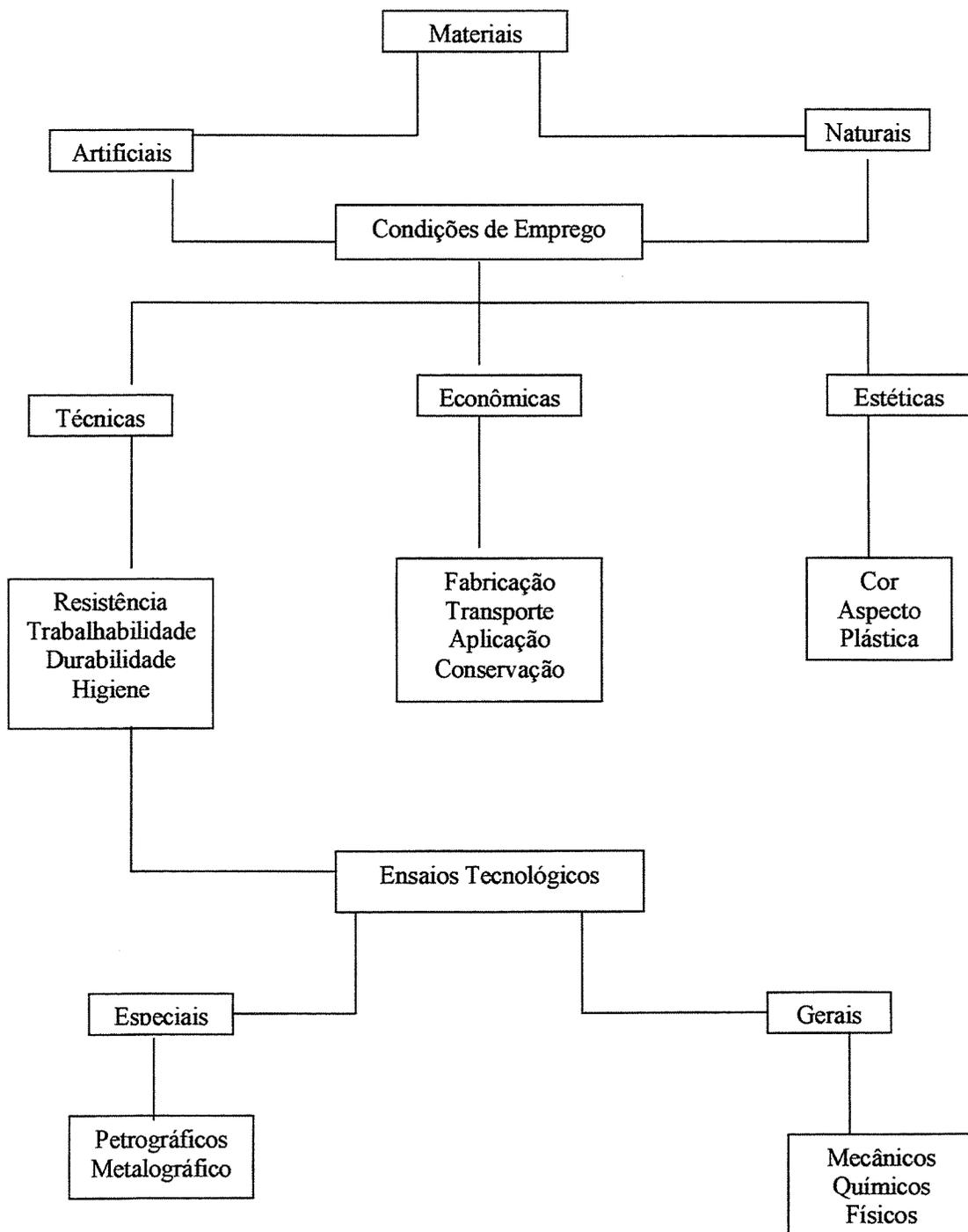
O Brasil tem forte potencial para a reciclagem de resíduos industriais, já que apenas 31% dos resíduos perigosos e não perigosos são tratados atualmente (Palombo, 2003).

Corre-se o risco, porém, de se empregar determinados materiais sem o devido cuidado, quer seja na confecção da peça a ser utilizada, quer seja no transporte, aplicação, conservação, etc, gerando condições adversas às previstas inicialmente.

“Há uma tendência em não se dar aos materiais de fechamento e acabamento a mesma importância técnica conferida aos materiais estruturais. Apesar das falhas destes

Tabela 3 – Classificação dos Materiais de Construção

Fonte: Nääs,1991.



conduzirem aos maiores riscos de vida humana, o comportamento inadequado dos primeiros provoca a ocorrência de manifestações patológicas mais comuns em edificações, com transtornos ao usuário e altas despesas de manutenção” (Agopyan, 1988).

Com o advento de novos materiais de construção, obtidos a partir do aproveitamento do resíduo agro-industrial, surgiram, também, novas pesquisas procurando utilizar materiais de baixo custo que conferissem, também, características adicionais aos materiais convencionais.

Relacionando-se questões orçamentárias da construção civil e a conscientização cada vez maior dos conceitos de preservação ambiental nos dias atuais, constatou-se a necessidade de se adequar às soluções possíveis e adaptar ou mesmo desenvolver tecnologias específicas, tanto para a obtenção de novos materiais como para o emprego destes em obras de construção civil.

Segundo Freire (1993), antigas técnicas construtivas têm sido recuperadas e adaptadas às modernas necessidades sociais visando à construção de casas simples, confortáveis e de baixo custo, feitas com os mais diversos materiais.

Verificou-se, então, o ressurgimento mais intenso de obras de solo-cimento para a confecção de tijolos e paredes monolíticas, pavimentação de estradas, pisos para construção destinada tanto para moradias como para animais, terreiros de café, etc.

Conforme Sawaya e Montoro (2002), apesar do preconceito em relação às edificações executadas com terra, as vantagens de sua utilização são reais, em termos de custo e disponibilidade de materiais, resultando em redução de, aproximadamente, 75% no consumo de energia em relação às obras que utilizam concreto.

Estudos com argamassa armada estão voltados à confecção de peças pré-fabricadas, utilizadas na construção civil e no meio rural, mais especificamente, para a execução de silos, biodigestores, reservatórios d'água, comedouros, bebedouros, canaletas de água, etc.

Os “compósitos”, materiais obtidos a partir de uma matriz reforçada com fibras, experimentaram então um intenso desenvolvimento tecnológico nestes últimos anos (Frire, 1993).

Segundo Cincotto (1988), tem crescido, significativamente, o número de pesquisadores voltados para o estudo do aproveitamento geral de resíduos industriais e urbanos e são três as razões que motivaram esta atenção. Primeiro, uma preocupação com o esgotamento de reservas de matéria-prima, se não para um país na sua totalidade, pelo menos para regiões específicas; segundo, a preocupação com o ambiente, afetado pelo volume crescente de resíduo sólido; e terceiro, em países carentes de matéria-prima, a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pelas possíveis variações da alta do petróleo, reciclando resíduo sólido.

A finalidade do reforço do material com fibras é a de procurar melhorar as propriedades – basicamente as mecânicas – desse material, que por si só não seria adequado para o uso em engenharia (Agopyan e Derolle, 1988).

A presença de fibras, em matrizes cimentícias, introduz modificações, tais como:

- o acréscimo da resistência à tração (para fibras com alto módulo de elasticidade);
- o acréscimo da resistência ao impacto (para fibras com baixo módulo de elasticidade);
- o controle de fissuração e mudança de comportamento na ruptura (em virtude da ductibilidade conferida ao compósito);

- variação na fluidez da mistura fresca (possibilitando a moldagem de formas complexas).

As possibilidades de aplicação dos compósitos em construções rurais são muito promissoras, quer seja na forma de chapas planas ou onduladas, quer seja na forma de painéis de parede, tubos e outros materiais de construção.

Em se tratando do resíduo de couro, uma das etapas mais importantes no processo de manufatura é o acabamento do mesmo. Nesta etapa, utiliza-se um equipamento conhecido como rebaixadeira. Trata-se de um equipamento que irá regularizar a espessura dos couros gerando o resíduo do couro conhecido como serragem ou farelo de couro.

Essa serragem apresenta-se com cerca de 40% de umidade na condição “in natura”, sendo produzida à razão de 100 kg de farelo para cada tonelada de couro beneficiado, podendo variar conforme o processo industrial.

Algumas experiências com a utilização do farelo de couro foram realizadas.

Oliveira Júnior e Topper (1982), citados por Masuero *et al.* (1996), desenvolveram painéis utilizando fibras de couro aglomeradas e placas de vermiculita. As placas de vermiculita são materiais de características isolantes, de aplicação comercial, entretanto, apresentam baixa resistência mecânica e não possuem bom acabamento superficial. Associando-se fibras de couro, tomou-se possível uma melhoria das propriedades físicas e mecânicas do compósito. A vermiculita atribui às placas melhor comportamento à compressão e maior resistência contra esforços cisalhantes.

Os mesmos autores citados por Masuero *et al.* (1996), também, desenvolveram placas aglomeradas de fibras de couro para aplicação como revestimento na construção civil. De maneira global, estas placas apresentaram um bom acabamento superficial, estabilidade dimensional e adequados valores de características mecânicas.

Agopyan e Dellore (1988) afirmaram que, pela teoria de materiais fibrosos, em geral, teores maiores de fibras proporcionam melhor desempenho mecânico no compósito. No entanto, como as fibras acabam introduzindo vazios e dificultando a compactação, teores muito elevados acabam não sendo satisfatórios. Os valores teóricos do volume crítico de fibras – isto é, o menor volume de fibras, na matriz, que é capaz de alterar as propriedades da mesma após a fissuração – nem sempre podem ser alcançados, pois a mistura torna-se pouco trabalhável ou o produto final resulta muito poroso.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

Para a realização dos objetivos propostos neste trabalho, foram empregados os materiais, equipamentos e métodos discriminados em seguida.

### **4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**

#### **4.1.1 Resíduo de couro**

A serragem de couro, também conhecida como farelo de couro, é o resíduo resultante do processo de homogeneização da espessura da peça de couro curtido, durante o processo de utilização da rebaixadeira mecânica, equipamento que possui a finalidade de padronizar a espessura da peça curtida. É um material que apresenta aspecto de dimensões laminares variáveis.

Este material foi coletado junto ao Curtume IRIS, da cidade de Espírito Santo do Pinhal, SP, e recebido após o curtimento com tanino.

#### **4.1.2 Cimento Portland**

Os cimentos utilizados foram o Cimento Portland do tipo CP II Z-32 e cimento do tipo CP III-40, adquiridos em casas idôneas do ramo da construção civil, tendo sido suas características físicas e químicas determinadas pelos fabricantes.

#### **4.1.3 Areia**

Foi empregada a areia média, com módulo de finura igual a 2,61, segundo os critérios da norma técnica NBR 7217. O material foi adquirido, também, em casa de materiais de construção.

#### **4.1.4 Água**

A água de amassamento utilizada para a formação das argamassas foi a água tratada, captada da rede pública municipal.

#### **4.1.5 Água sanitária**

A água sanitária comercial é uma solução diluída de hipoclorito de sódio, marca VAREK, com teor de cloro ativo de 2% a 2,5% p/p, obtida em casa comercial do ramo.

#### **4.1.6 Desmoldante**

O desmoldante empregado foi um óleo mineral utilizado em veículos automotores, adquirido em casa comercial, utilizado com a finalidade de se evitar a aderência das argamassas às fôrmas.

#### **4.1.7 Fôrmas cilíndricas de $\phi$ 50 mm x 100 mm de altura**

Destinadas à confecção dos corpos-de-prova e empregadas conforme as necessidades de cada ensaio. Fôrmas com estas dimensões, em PVC, com tampa desmoldável e vedação de fundo, foram utilizadas na moldagem de corpos-de-prova destinados ao ensaio de resistência à compressão simples.

#### **4.1.8 Fôrmas metálicas de 210 mm de largura, 610 mm de comprimento e 20 mm de espessura**

Foram destinadas à confecção de placas ao ensaio de determinação dimensional das peças, determinação da retitude lateral, determinação das curvaturas central e lateral, determinação do empeno, com leitura eletrônica, e determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão; após o tempo de cura, a peça foi dividida em três partes iguais, com seções quadradas de 200 mm e espessura de 20 mm.

#### **4.1.9 Fôrmas metálicas com seção quadradas, com cantoneiras de ferro e chapa galvanizada, de 100 mm de lado e espessura de 20 mm**

Destinadas à moldagem de corpos-de-prova para os ensaios de caracterização de dimensões, com leitura através de paquímetro, resistência ao desgaste por abrasão, determinação de absorção de água por capilaridade, determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica.

#### **4.1.10 Outros materiais e equipamentos**

- Peneiras - Jogo de peneiras padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Balança eletrônica de precisão - marca Marte, modelo AS 5500, com capacidade de 5.00 g e sensibilidade de 0,01 g;
- Misturador Mecânico (argamassadeira) - marca Solotest, com capacidade para 5.000 g;
- Mesa vibratória – equipamento adaptado no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da FEAGRI;
- Máquina Universal de Ensaios – marca Dinatest, com capacidade de carga de 20 t;
- Paquímetro Digital - marca Mitutoyo Digimatic Caliper, com sensibilidade de 0,01 mm – 150 mm.
- Dataplucrômetro (dimensionais) – marca Gabrielli SRL (Sesto Fiorentina (Firenze) Italy, com 6 relógios comparadores com resolução de 0,01 mm; possui placa de calibração padronizada e sistema informatizado de leituras;

- Crômetro Crab 424 (resistência à flexão) – marca Gabrielli SRL (Sesto Fiorentina (Firenze) Italy, com capacidade de carga de ruptura variando de 0 a 300 kgf;
- Abrasímetro (resistência à abrasão) – marca Gabrielli SRL (Sesto Fiorentina (Firenze), Italy). Possui disco de aço e se movimenta a uma rotação de 3.000 rpm;
- Espátulas, bacias e vidraria diversas para elaboração dos ensaios.
- Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da Steinkamp, com transdutores de seção exponencial, com frequência de ressonância de 45 KHz.

## **4.2 MÉTODOS**

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas; no Laboratório de Resistência de Materiais, Laboratório de Ensaio de Abrasão e Laboratório de Flexão, do Centro Cerâmico do Brasil – CCB, da cidade de Santa Gertrudes – São Paulo, e no Laboratório de Química da Faculdade de Agronomia do Centro Regional Universitário Pinhalense – CREUPI, da cidade de Espírito Santo do Pinhal – SP.

### **4.2.1 Pré-tratamentos aplicados ao resíduo de couro**

Inicialmente, o resíduo de couro foi submetido ao pré-tratamento com vários produtos químicos, com a finalidade de reduzir ao mínimo a quantidade residual de tanino, elemento curtente utilizado no processo industrial, visto ser o tanino um retardador de cura da argamassa.

Foram realizados pré-tratamentos com água corrente, água aquecida, soda cáustica, álcool, silicato de sódio e água sanitária, aplicados em argamassas com diferentes traços e diferentes porcentagens de resíduo adicionado.

O pré-tratamento do material com água corrente apresentou resultados ruins, chegando a provocar o rompimento do corpo-de-prova durante o processo de capeamento, sendo considerado, por este motivo, inviável.

No pré-tratamento com água aquecida, pôde-se verificar que o resíduo de couro transformava-se em um material de aspecto gelatinoso que, após secagem ao ar livre, transformava-se em uma única peça, rija e sem condições de uso.

O pré-tratamento do resíduo de couro com soda cáustica resultou na transformação do farelo de couro num material de aspecto queimado e facilmente quebradiço, sendo, também, descartado para utilização.

No pré-tratamento com álcool, o farelo de couro foi submerso por um período de 48 horas. Após secagem ao ar livre, o resíduo foi adicionado a uma argamassa de cimento (CP II Z-32) e areia média, de traço 1 : 3; e fator água/cimento,  $a/c = 0,5$ . Foram então confeccionados corpos-de-prova que, posteriormente, foram submetidos a ensaios de compressão simples. Os resultados obtidos mostraram que os mesmos não foram favoráveis, apresentando resistências muito baixas, tornando inviável esta forma de pré-tratamento.

Dois novos pré-tratamentos foram realizados. Primeiramente, submergiu-se o resíduo em água sanitária com teor de cloro de 2% à 2,5%, por períodos de 5 minutos, 10 minutos e 20 minutos, promovendo-se, em seguida, a lavagem em água corrente com o auxílio de uma peneira de arroz, para agilização do processo. Igual procedimento realizou-se com silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Após lavagem, o resíduo foi deixado a secar ao ar livre.

Incorporado à argamassa de cimento CP II Z-32 e areia grossa, de traço 1 : 3, com fator água/cimento 0,5, observou-se que não houve uma ligação coesa entre os materiais, e, conseqüentemente, não foi possível alcançar qualquer resultado satisfatório.

#### **4.2.2 Determinação da massa específica aparente da serragem de couro**

Para análise da massa específica aparente da serragem de couro, foi preciso adotar alguns procedimentos metodológicos próprios, uma vez que o couro é um material sobrenadante à água, além de se caracterizar pela elevada capacidade de absorção.

A solução encontrada foi envolver a serragem de couro com uma fina tela de arame tomando-se o cuidado de não alterar sua condição volumétrica.

Dentro de um recipiente totalmente cheio de água, apoiado diretamente sobre o prato de uma balança de precisão, foi introduzida uma certa quantia de serragem de couro, com massa pré-determinada, por um período de tempo suficiente para promover o deslocamento de um certo volume de água igual ao volume do resíduo de couro nela totalmente mergulhado. Mesmo procedimento foi realizado somente com a tela de arame, com a finalidade de se obter, através da diferença volumétrica, o verdadeiro volume de água deslocado pela serragem.

#### **4.2.3 Ensaios preliminares de dosagem**

O resíduo de couro possui formato laminar, com dimensões irregulares, sendo que, após o pré-tratamento, o farelo de couro foi manualmente retalhado, adotando-se, para a moldagem de corpos-de-prova, a fração de comprimento inferior a 1,00 cm.

Após secagem, ao tempo, o farelo de couro foi adicionado à argamassa de cimento CP II Z-32 e areia média peneirada, no traço 1 : 3, com fator água/cimento 0,50, e com ela foram confeccionados os corpos-de-prova cilíndricos para determinação da resistência à compressão simples.

A argamassa incorporada com este resíduo foi analisada quanto ao seu desempenho mecânico, expresso através de sua resistência à compressão simples ao sétimo dia conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 1996).

O melhor resultado foi obtido com o resíduo tratado com água sanitária, praticamente sem alterações quanto ao tempo de imersão, porém, ainda assim, não muito favoráveis. Para os corpos-de-prova constituídos de material tratado com silicato de sódio, os resultados obtidos do ensaio de compressão simples foram desprezíveis.

Novas verificações foram realizadas, utilizando-se desta vez a argamassa de cimento CP II Z-32 e areia peneirada, no traço 1 : 2 e fator água/cimento 0,5, obtendo-se, com este traço um resultado melhor para o resíduo submerso em água sanitária por um período de 10 minutos.

Procurou-se melhorar os resultados obtidos, por não terem sido considerados viáveis para o objetivo desta pesquisa – desenvolvimento de compósito de argamassa com resíduo de couro para a confecção de pisos, utilizando-se, então, o cimento CP III-40 e o mesmo tratamento com água sanitária por 10 minutos. Obtidos os resultados iniciais, direcionou-se a pesquisa para a determinação da melhor porcentagem de resíduo em relação à argamassa e ao tipo de cimento utilizado. Verificou-se, também, a variação dos resultados em função da variação da relação água/cimento, de forma a determinar-se o melhor traço de argamassa a ser empregado nesta pesquisa.

Para a determinação do traço ideal utilizado nesta pesquisa, foram considerados os resultados obtidos com a aplicação dos diversos pré-tratamentos ao resíduo de couro, o desempenho mecânico das argamassas confeccionadas com os diferentes tipos de cimento Portland experimentados, os diferentes teores percentuais de resíduo incorporado e a melhor relação água / cimento (fator a/c).

#### **4.2.4 Moldagem de corpos-de-prova cilíndricos**

Corpos-de-prova cilíndricos, de  $\phi = 50$  mm e altura de 100 mm, foram utilizados nos ensaios de ultra-som e de compressão simples, conforme procedimentos indicados pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996).

Os moldes foram previamente untados com óleo mineral para evitar a aderência da argamassa em suas paredes e facilitar sua posterior desmoldagem.

Uma vez definido o traço ideal a ser utilizado no presente trabalho, preparou-se a argamassa com cimento Portland CP III-40, areia média, resíduo de couro e água, em quantidades definidas através de pesagens diretas em balança eletrônica.

Com os materiais previamente preparados para utilização, foram os mesmos colocados na argamassadeira mecânica, sendo inicialmente colocados o cimento e a água, promovendo-se a mistura dos materiais através de rotação lenta por um período de 30 segundos. Adicionou-se, em seguida, a areia, misturando-se os componentes em rotação lenta por mais 30 segundos, complementando-se a argamassa com a adição de serragem de couro sob rotação lenta por mais 30 segundos. Terminado o tempo previsto em rotação lenta, colocou-se a argamassadeira em rotação rápida por 30 segundos, desligando-se em seguida, por um período de 90 segundos. Durante este intervalo de tempo, com o auxílio de

uma espátula, executou-se a limpeza das paredes da argamassadeira e da pá central do equipamento. Finalizou-se o processo de preparação da argamassa com mais um minuto de rotação em alta velocidade, conforme indicado pela NBR 7215 (ABNT, 1996).

Com a argamassa assim preparada foram preenchidas as formas para confecção dos corpos-de-prova, compactando-se a mistura com o objetivo de retirar possíveis vazios (bolhas) do interior da massa fresca, até sua perfeita homogeneização (Figura 1).

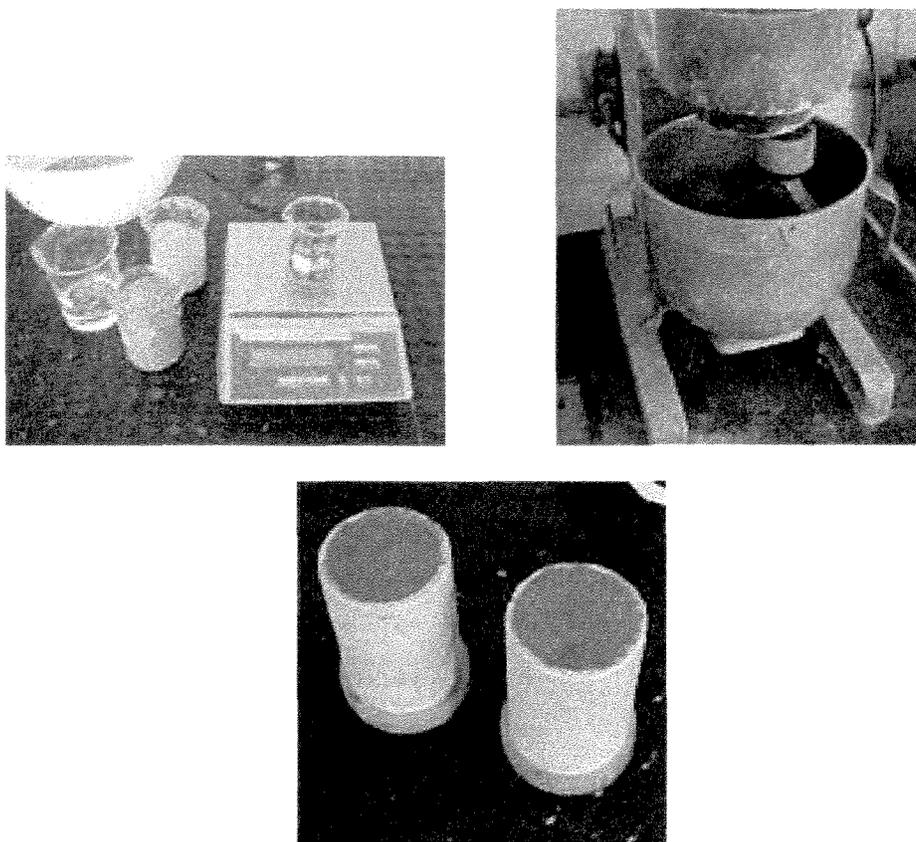


Figura 1 - Processo de moldagem dos corpos-de-prova cilíndrico, vendo-se a balança eletrônica empregada, a argamassadeira, e corpos-de-prova já confeccionados.

Após o preenchimento, os corpos-de-prova foram transportados para a câmara úmida, onde procedeu-se à cura, ficando os mesmos em descanso por períodos variados

entre 1, 3, 7, 14 e 28 dias, após o qual eram retirados e ensaiados nas datas pré-determinadas.

#### **4.2.5 Moldagem de corpos-de-prova de seção quadrada**

Corpos-de-prova de seção quadrada, de  $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$ , foram utilizados nas verificações dimensionais (através de leituras diretas), na verificação da variação dimensional e ortogonalidade (leituras diretas), no ensaio de absorção de água por capilaridade, no ensaio de absorção de água por imersão, no ensaio de abrasão profunda e no ensaio de impacto.

Para a confecção dos corpos-de-prova, utilizou-se uma forma metálica elaborada com cantoneiras de ferro  $1'' \times \frac{1}{4}''$  e chapa metálica galvanizada. As cantoneiras constituíram um quadro prismático que servia de guia (carrinho suporte) para receber uma base em chapa galvanizada deslizante e removível. Dentro desta chapa deslizante, colocou-se um quadro de cantoneiras, com dimensões nominais de  $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$ , que correspondia às dimensões finais do corpo-de-prova. Preparou-se a argamassa conforme descrito no item anterior e untou-se com óleo desmoldante todas as partes internas da forma, o carrinho deslizante e o quadro de cantoneira, para se evitar a aderência da argamassa com as paredes da mesma.

A argamassa foi, então, colocada na forma, em camadas, procurando-se distribuí-la manualmente, ao longo de toda a peça, de modo a preencher todo o volume previsto. Em seguida, estas formas preenchidas foram colocadas sobre uma mesa vibratória para se proceder ao perfeito adensamento da massa fresca no interior das mesmas, levando-as em seguida à câmara úmida para o processo de cura (Figura 2).

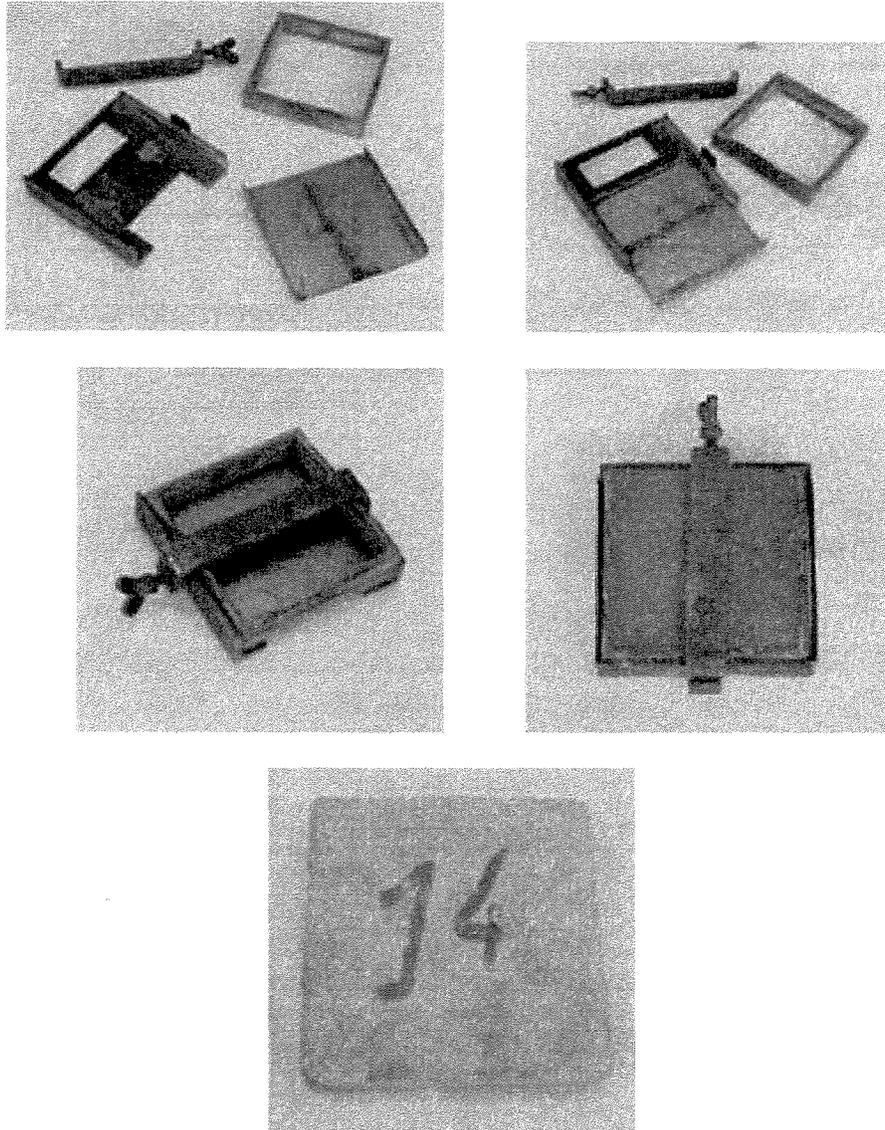


Figura 2 - Fôrmas metálicas para corpos-de-prova de seção quadrada de 100 mm de lado e 20 mm de espessura, e corpo-de-prova já confeccionado.

Corpos-de-prova, de dimensões iguais a  $200 \times 200 \times 20 \text{ mm}^3$ , foram, também, moldados para serem submetidos ao ensaio dimensional das peças (através de leitura eletrônica), ensaio de empeno (medição eletrônica) e ensaio de flexão.

Para tal, utilizou-se uma forma metálica existente no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP para a moldagem de uma placa com dimensões nominais de 620 x 220 x 20 mm<sup>3</sup>; após todo o processo de preparação e cura, a placa foi, finalmente, dividida em três peças menores, quadradas, com dimensões de 200 x 200 x 20 mm<sup>3</sup>, cada uma delas correspondendo a um corpo-de-prova daqueles destinados aos ensaios já descritos no item 4.1.8.

Esta fôrma possui fundo em chapa de ferro fundido e paredes laterais em chapas de aço com parafusos de fixação. Foi untada com óleo mineral para facilitar a posterior desmoldagem, após a confecção do compósito.

Os componentes básicos da argamassa (cimento, areia, resíduo de couro e água) foram colocados em uma argamassadeira mecânica, adotando-se o mesmo procedimento para a elaboração de argamassas, já descrito no item 4.2.4. O material foi distribuído na forma untada, em camadas, e compactado manualmente. Concluída esta etapa, a forma com o material moldado foi transportada para uma mesa vibratória de maior capacidade de vibração, por um período de 5 minutos. Depois de devidamente adensado, os corpos-de-prova foram levados a uma câmara úmida para se processar a cura (Figura 3).

#### **4.2.6 Ensaio de ultra-som**

Com os corpos-de-prova cilíndricos confeccionados, executou-se o ensaio de ultra-som visando a acompanhar as medições do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova, com a finalidade de se determinar possíveis falhas na mistura, e também, acompanhar o processo de endurecimento da argamassa, através de um processo não destrutivo.

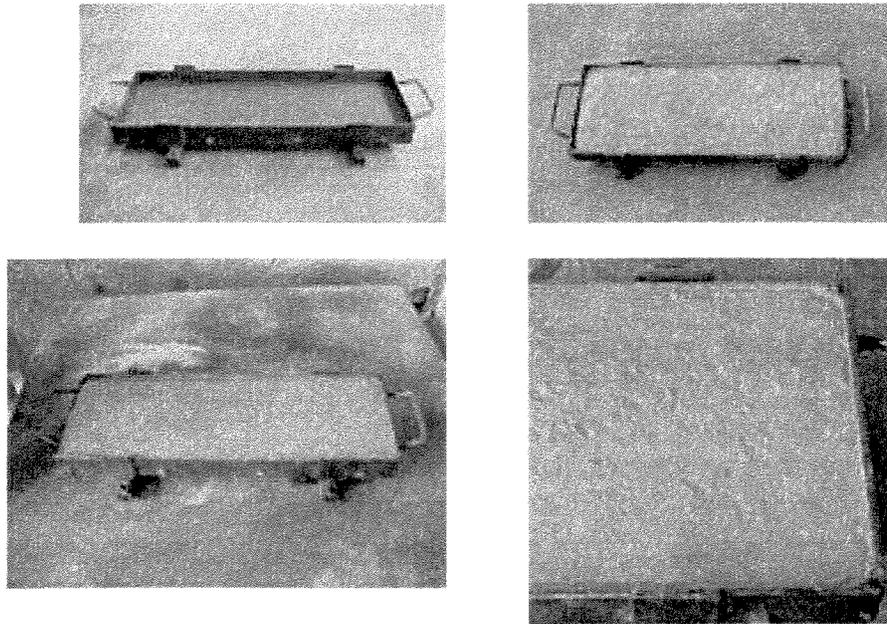


Figura 3 – Fôrma metálica para corpos-de-prova de seção quadrada de 200 mm de lado e 20 mm de espessura, mesa vibratória e corpo-de-prova em processo de vibração.

Para que as medições fossem possíveis, utilizou-se o equipamento UltrasonicTester, modelo BP-7, da Steinkamp, com transdutores de seção exponencial, com frequência de ressonância de 45 kHz (Figura 4). Para a utilização deste equipamento, fez-se necessária, inicialmente, uma aferição do equipamento utilizando-se como referência um material teste que acompanha o equipamento, conhecido como cilindro de plexiglass. Foram realizadas as medições por um período contínuo de 28 dias, e, durante este período foi realizado o ensaio de compressão simples para os corpos-de-prova com idades de 1, 3, 7, 14 e 28 dias, permitindo, desta forma, comparar resultados fornecidos pelos métodos destrutivo e não destrutivo.

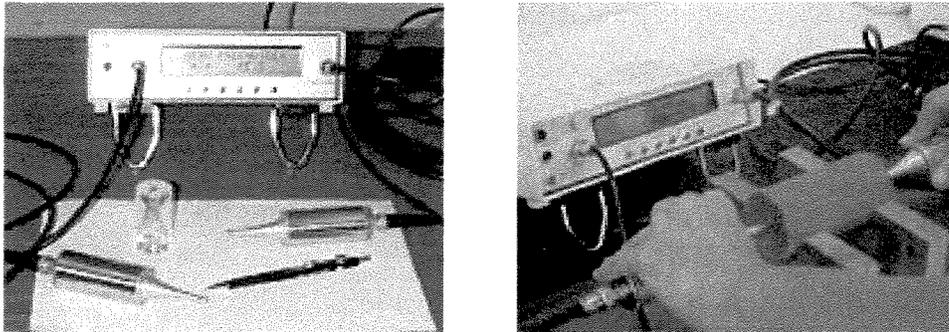


Figura 4 – Equipamento Ultrasonic Tester BP-7 e as leituras sendo tomadas em um corpo-de-prova

#### **4.2.7 Ensaio de compressão simples**

Os corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão simples foram divididos em grupos, por idades, para se determinar suas resistências em função da idade de cura.

O capeamento dos corpos-de-prova foi preparado fundindo-se o volume necessário em função dos número de corpos-de-prova considerando-se enxofre (75%) e caulim (25%). Realizou-se o capeamento com a mistura quente, colocando-a em uma base metálica de suporte onde foi apoiado o corpo-de-prova, alcançando assim um capeamento em torno de 2,00 mm de espessura

Com o capeamento executado, utilizou-se, para o rompimento do corpo-de-prova, a máquina universal de ensaios. Para tal, colocou-se o corpo-de-prova sobre o prato inferior da prensa de maneira que ficasse centrado em relação ao eixo de carregamento. Promoveu-se o carregamento até atingir-se ruptura (Figura 5).. Os corpos-de-prova foram rompidos nas idades de 1, 3, 7, 14 e 28 dias, conforme orientação da norma NBR 7215 (ABNT, 1996), sendo observadas, para cada idade, quatro repetições.

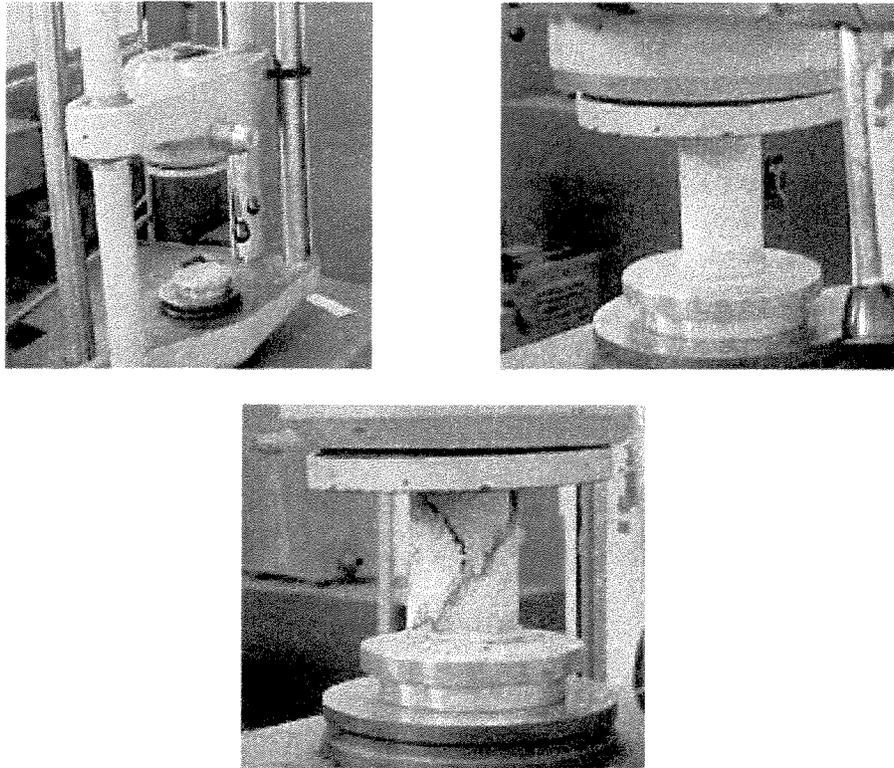


Figura 5 – Corpo-de-prova sendo ensaiado à compressão simples

Com os resultados individuais, foi possível se determinar as médias de resistência à compressão simples para cada data, os desvios-padrão entre as mesmas e, conseqüentemente, os coeficientes de variação das amostras.

#### **4.2.8 Determinação das dimensões com paquímetro digital**

A determinação das dimensões dos corpos-de-prova foi feita através de medições diretas com paquímetro digital.

Dos corpos-de-prova confeccionados ( $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$ ) foram tomadas, aleatoriamente, 10 peças do lote existente, conforme determina a norma NBR 6482 (ABNT, 1986).

Utilizando-se um paquímetro digital com sensibilidade de 0,01 mm, determinou-se, através de medições diretas, os comprimentos laterais dos corpos-de-prova. Iniciou-se pela medição em uma lateral, determinando-se, em seguida, o comprimento da face oposta e, posteriormente, as dimensões das duas faces ortogonais às anteriores. Com os valores obtidos, determinou-se a média entre as quatro faces, que foi adotada como valor referencial para este corpo-de-prova.

Dando seqüência à determinação das dimensões de cada peça confeccionada e, também, com o auxílio do paquímetro digital, determinou-se a espessura da mesma (Figura 6). As verificações foram realizadas através de medições diretas, fixando-se uma distância entre 10 mm e 50 mm das borda adjacente, conforme orientação da norma NBR 6482 (ABNT, 1986). Dos maiores valores obtidos em cada face, adotou-se o maior deles como “espessura total” do corpo-de-prova. Procedimento semelhante foi tomado para se definir a “espessura parcial”, agora considerando-se apenas o menor valor dentre os menores obtidos em cada face.

#### **4.2.9 Determinação da diferença de comprimento entre lados opostos e adjacentes**

Tomando-se como referência as dimensões obtidas no ensaio de “determinação das dimensões” e seguindo orientação da norma brasileira NBR 9447 (ABNT, 1986), calculou-se a diferença de comprimento entre as faces dos corpos-de-prova, tanto para os lados

opostos como para os lados adjacentes, valendo-se de medições diretas feitas com paquímetro digital.

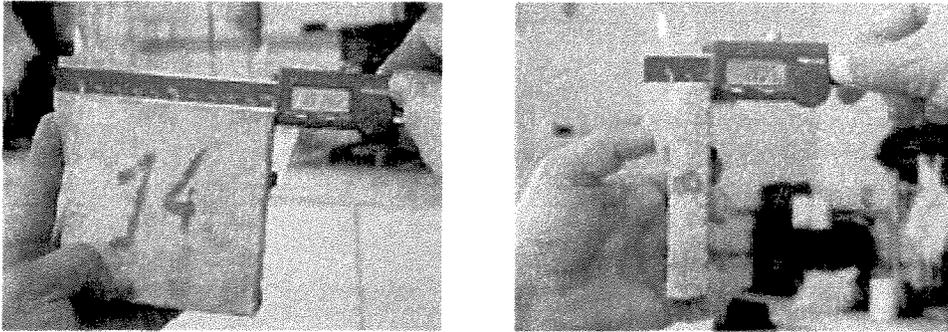


Figura 6 – Verificação dimensional do corpo-de-prova com utilização de paquímetro digital.

As diferenças foram determinadas para as seguintes condições:

Lado A - Lado B

Lado A' - Lado B

Lado A – Lado B'

Lado A' - Lado B',

sendo:

Lado A = comprimento da face A do corpo-de-prova, em mm;

Lado A' = comprimento da face A' do corpo-de-prova, oposta à face A, em mm;

Lado B = comprimento da face B do corpo-de-prova, ortogonal à face A, em mm;

Lado B' = comprimento da face B' do corpo-de-prova, oposta à face B, em mm.

Com estes valores, assim definidos, calculou-se a ortogonalidade referente aos lados correspondentes e a ortogonalidade dos lados adjacentes, através das equações nº 01 a nº

06, adotando-se o maior dos resultados, entre as dez peças, como o resultado final dos corpos-de-prova analisados.

a) Ortogonalidade para lados opostos

$$O_{Ai} = \frac{LadoA - LadoA'}{LadoMaiorOposto} \cdot 100 \quad (1)$$

$$O_{Bi} = \frac{LadoB - LadoB'}{LadoMaiorOposto} \cdot 100 \quad (2)$$

b) Ortogonalidade para lados adjacentes

$$O_{Ai/Bi} = \frac{LadoA - LadoB}{LadoMaiorAdjacente} \cdot 100 \quad (3)$$

$$O_{Ai/Bi} = \frac{LadoA' - LadoB}{LadoMaiorAdjacente} \cdot 100 \quad (4)$$

$$O_{Ai/Bi} = \frac{LadoA - LadoB'}{LadoMaiorAdjacente} \cdot 100 \quad (5)$$

$$O_{Ai/Bi} = \frac{LadoA' - LadoB'}{LadoMaiorAdjacente} \cdot 100 \quad (6)$$

onde:

Lado maior oposto = o maior dos valores respectivos de cada um dos pares de lados opostos (A e A') ou (B e B'),

Lado maior adjacente = o maior dos valores respectivos de cada um dos pares de lados adjacentes (A e B'), (A e B), (A' e B) e (A' e B');

i = número de ordem da peça medida dentro da amostra considerada.

#### **4.2.10 Determinação das dimensões, retitude, curvatura central, curvatura lateral e empeno do compósito**

Para as determinações das dimensões, retitude, curvatura central, curvatura lateral e empeno do compósito, foram utilizados corpos-de-prova com dimensões 200 x 200 x 20 mm<sup>3</sup>, extraídos de placas confeccionadas com dimensões maiores e fracionadas com serra circular modelo Makita, com disco diamantado de 200 mm de diâmetro.

Para tal, foram consideradas dez repetições de corpos-de-prova retirados aleatoriamente do lote existente, preparados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, utilizando-se o traço de argamassa pré-determinado.

O equipamento empregado para a determinação das medições foi o Dataplucrômetro, de propriedade do Laboratório de Materiais do Centro Cerâmico do Brasil, na cidade de Santa Gertrudes, Estado de São Paulo.

Para a realização do início das medições, colocou-se sobre o equipamento, uma placa padrão de calibração, com dimensões de acordo com as dimensões das placas a serem analisadas.

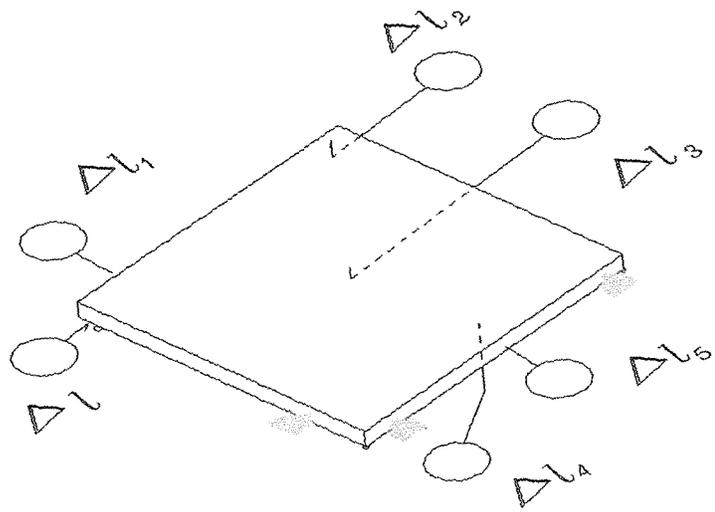
Retirou-se, em seguida, a placa de calibração e cada peça a ser analisada foi colocada em posição, no equipamento, apoiada nos suportes inferiores, registrando-se as leituras efetuadas através de relógios comparadores, com exatidão de 0,01 mm. Girou-se o corpo-de-prova para novas medições, repetindo-se a operação, até que se obtivessem os valores registrados para todas as faces da peça analisada. Mesmo procedimento foi elaborado para as dez peças componentes do estudo, conforme orientação da NBR 13818 (ABNT, 1997).

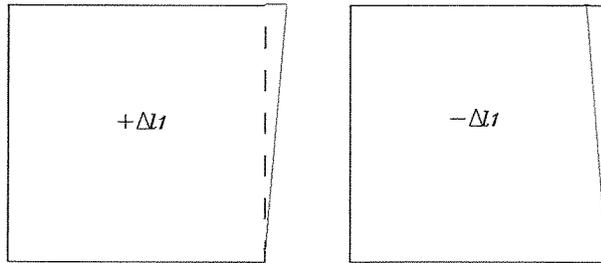
As variáveis lidas pelos relógios comparadores foram registradas tomando-se como referência a placa padrão; com estes resultados, foi possível determinar os desvios percentuais existentes para cada placa, assim como determinar a variação máxima e média ocorridas, conforme determinado pela referida norma..

Cada relógio comparador registrava uma leitura com a seguinte caracterização:

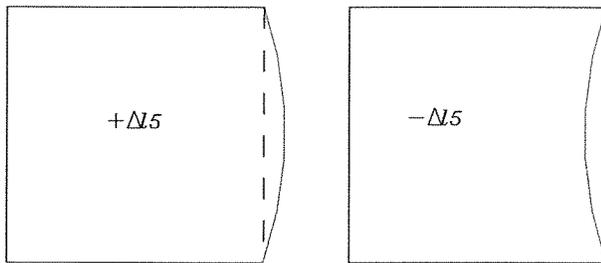
- $\Delta l$  indica a variação dimensional de comprimento e largura,
- $\Delta l_1$  indica a variação da ortogonalidade dos lados,
- $\Delta l_2$  indica a variação de empeno,
- $\Delta l_3$  indica a variação da curvatura central,
- $\Delta l_4$  indica a variação da curvatura lateral, e,
- $\Delta l_5$  indica a variação de retitude dos lados,

Para a caracterização dos desvios das placas foi elaborada a Figura 7.

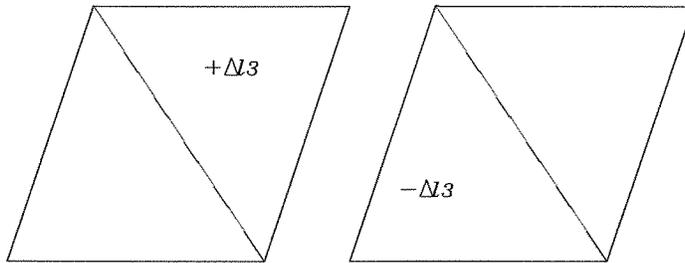




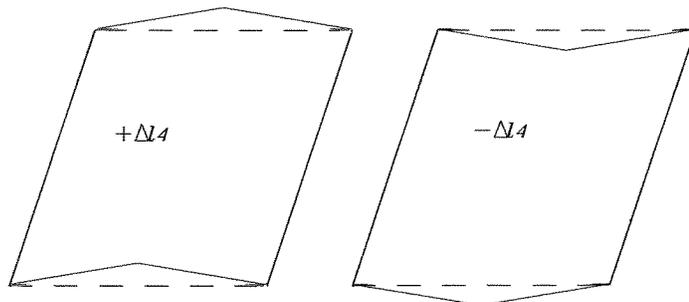
ortogonalidade dos lados



retitude dos lados



curvatura central



curvatura lateral

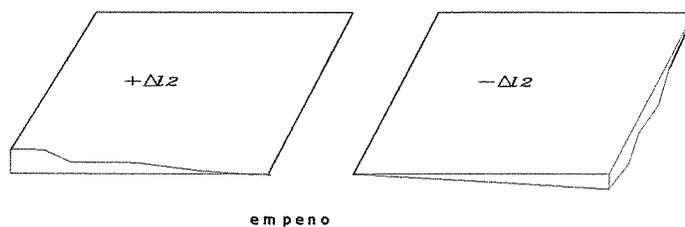


Figura 7 – Caracterização dos desvios das placas.

#### Determinação das dimensões

Conforme orientação da norma NBR 13828 (Anexo S) (ABNT, 1997), considerou-se a dimensão de cada placa como sendo a média das quatro medições efetuadas para cada corpo-de-prova; e a dimensão adotada foi a média entre as médias dos dez corpos-de-prova (Figura 8).

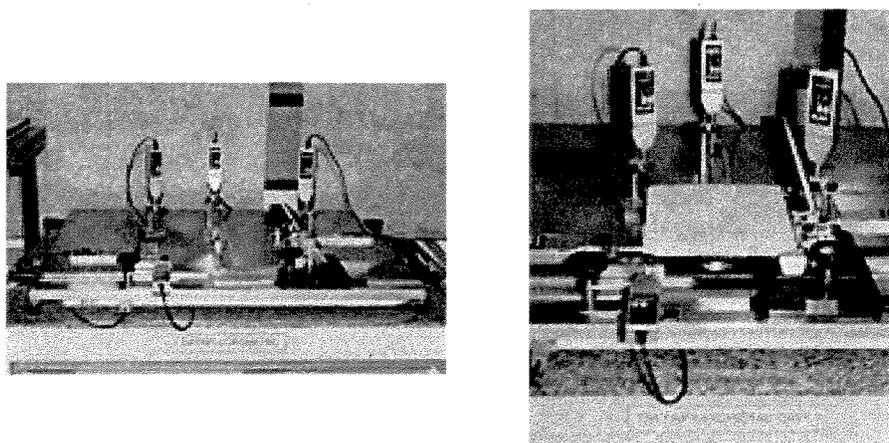


Figura 8 – Determinação das dimensões da placa através do dataplucômetro.

Como resultado, obteve-se:

- o comprimento e largura média da amostra;
- o desvio máximo da amostra em relação à placa padrão;
- o desvio máximo do corpo-de-prova individualizado em relação à média considerada.

### **Determinação da retitude**

Com os corpos-de-prova adequadamente dispostos para a determinação de suas dimensões, de acordo com a norma NBR 13818 - Anexo S (ABNT, 1997), fez-se a leitura através de relógio comparador do dataplucrômetro, para a determinação da variação da retitude das faces laterais de cada peça analisada, tomando-se como referência a placa padrão pré-definida. O objetivo deste ensaio foi a determinação dos alinhamentos de cada face do corpo-de-prova confeccionado, obtendo-se assim o desvio percentual da retitude dos lados, empregando-se a equação 07.

$$\text{Retitude} = \frac{\Delta l}{W} \cdot 100\% \quad (7)$$

onde:

$\Delta l$  = comprimento de variação de alinhamento da peça analisada em relação à placa padrão;

$W$  = dimensão caracterizada como placa padrão.

### **Determinação da ortogonalidade**

Através das leituras efetuadas pelo relógio comparador do dataplucrômetro nos corpos-de-prova analisados, obteve-se variações milimétricas que permitiram a determinação da ortogonalidade de cada peça.

As leituras das quatro faces dos dez corpos-de-prova analisados foram comparadas e, segundo orientação da norma NBR 13818 – Anexo S (ABNT, 1997), o máximo desvio ocorrido foi adotado como sendo o valor de referência para o corpo-de-prova, valor este obtido através dos cálculos efetuados pela equação nº 08.

$$\text{Desvio de Ortogonalidade} = \frac{\Delta l_1}{W} \cdot 100\% \quad (08)$$

onde:

$\Delta l_1$  = variação da ortogonalidade dos lados, em mm;

W = comprimento da peça padrão, em mm.

### **Determinação da curvatura central**

Quando da determinação das dimensões dos dez corpos-de-prova analisados, obteve-se, também, as variações milimétricas existentes para cada peça, em relação ao desvio da curvatura central das mesmas, variações estas obtidas através da leitura do relógio comparador. Segundo orientação da NBR 13818 – Anexo S (ABNT, 1997), os desvios percentuais de cada face, das dez peças analisadas, foram determinados em relação

à placa padrão. Obteve-se, então, o desvio máximo de curvatura central, tanto em dimensão linear como em porcentagem. O valor porcentual ocorrido foi calculado através de equações matemáticas n°s 09 e 10, na direção diagonal de cada peça quadrada.

$$\text{Desvio Máximo de Curvatura Central} = \frac{\Delta l_3}{D_e} \cdot 100\% \quad (09)$$

$$D_e = W \cdot \sqrt{2} \quad (10)$$

onde:

$\Delta l_3$  = variação da curvatura central, em mm;

$D_e$  = comprimento da diagonal da peça, em mm;

$W$  = comprimento da peça padrão, em mm.

### **Determinação da curvatura lateral**

Com nas leituras efetuadas através dos relógios comparadores em cada face dos corpos-de-prova analisados, determinou-se os valores de desvios lineares individualizados.

Para se determinar os desvios percentuais existentes, utilizou-se as leituras realizadas na peça padrão, tomada como referência, conforme o disposto na norma NBR 13818- Anexo S (ABNT, 1997).

Adotou-se, então, segundo a mesma norma, o desvio máximo de curvatura lateral ocorrido em todas as leituras efetuadas e o desvio máximo percentual relacionado com a placa padrão.

### Determinação do empeno

Para a determinação do empeno, foram observados os desvios lineares relacionando-se pares de faces adjacentes das peças analisadas, visualizando-se a linha diagonal do corpo-de-prova. Das quatro leituras relacionadas para cada peça, verificou-se as variações ocorridas, tendo como referência a placa padrão determinada. Os desvios individualizados foram calculados, tanto com variação linear como com variação percentual. Segundo a norma NBR 13818 – Anexo S (ABNT, 1997), os desvios percentuais foram determinados em relação à diagonal de todas as peças, adotando-se o maior valor obtido como sendo o desvio máximo de empeno para os corpos-de-prova analisados, valores estes determinados através das equações nº 11 e nº 12.

$$\text{Desvio Máximo do Empeno} = \frac{\Delta l_2}{De} \cdot 100\% \quad (11)$$

$$De = W \cdot \sqrt{2} \quad (12)$$

onde:

$\Delta l_2$  = empenamento individual, em mm;

$De$  = comprimento da diagonal da peça analisada, em mm;

$A$  = desvio máximo de empenamento em relação à placa padrão, em %.

#### **4.2.11 Determinação da absorção de água por capilaridade**

Dos corpos-de-prova confeccionados, de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 1996), foram retiradas três peças, aleatoriamente, do lote de peças existentes, que foram utilizadas para o ensaio de absorção de água por capilaridade.

Determinou-se, inicialmente, a massa de cada corpo-de-prova, colocando-os para secar em estufa à temperatura de 105 °C, verificando-se a variação da massa de cada peça a intervalos de 24 horas. Observou-se que, após 72 horas de secagem, praticamente, não houve mais variação de massa, encerrando-se o período de secagem em estufa.

Preparou-se um recipiente com água, onde foram colocadas cantoneiras de ferro em forma de U para servirem de apoio e receberem os corpos-de-prova a serem ensaiados. De acordo com a norma NBR 9779 (ABNT, 1995), o nível de água deve permanecer constante a 5,00 mm acima da face inferior das peças estudadas (Figura 9).

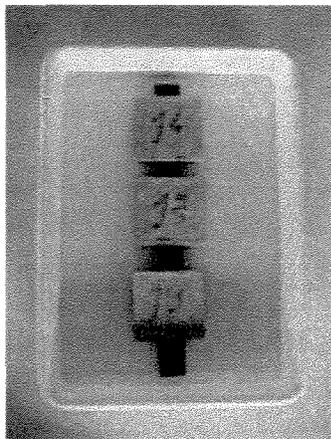


Figura 9 – Corpos-de-prova imersos em água para ensaio de absorção de água por capilaridade.

Untou-se com silicone as faces adjacentes à que ficou em contato com a água, procurando-se melhorar as condições do ensaio.

Os corpos-de-prova foram pesados, preparados com silicone, pesados novamente e colocados no recipiente com água, tomando-se o cuidado de manter constante o nível d'água durante todo o ensaio.

Através de pesagens, e após a secagem dos corpos-de-prova utilizando-se pano úmido, foram obtidas as leituras das massas de cada peça nos períodos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas, contados sempre a partir de sua colocação em contato com a água. Para tal, foi utilizada balança eletrônica com sensibilidade de 0,01 kg. Tão logo era determinada a massa de cada corpo-de-prova, este retornava ao recipiente com água para dar seqüência ao ensaio.

Considerando-se a secção transversal do corpo-de-prova, e verificando-se a impossibilidade de rompimento do mesmo por compressão diametral, optou-se pelo corte transversal com máquina de serra circular, tipo corta-piso, de maneira que foi possível verificar, visualmente, a distribuição da água nos corpos-de-prova, anotando-se as alturas de ascensão capilar através do material.

A absorção de água é, também, caracterizada pela razão entre a variação de massa final e massa inicial para o período de ensaio, em função da área molhada, definida em  $\text{g}/\text{cm}^2$  e determinada através da equação 13, conforme determina a NBR 9779 (ABNT, 1995).

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (13)$$

sendo:

C = absorção de água por capilaridade, em g/cm<sup>2</sup>;

A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g;

B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atinge a temperatura de 23 °C, em g;

S = área da seção transversal (molhada), em cm<sup>2</sup>.

#### **4.2.12 Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica do compósito, seca e saturada**

Com os corpos-de-prova preparados de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 1996), três peças foram aleatoriamente retiradas de um lote existente, determinando-se suas massas individuais e colocando-as para secar em estufa, à uma temperatura estimada de 105 °C. Verificou-se a massa de cada corpo-de-prova, em intervalos de 24, 48 e 72 horas de secagem.

As peças foram resfriadas ao ar livre, obtendo-se, assim, a massa inicial de ensaio.

Seguindo orientações da NBR 9778 (ABNT, 1987), foram colocados, em um recipiente com água, suportes de cantoneira metálica, tipo U, para apoiarem os corpos-de-prova, colocados na direção horizontal, de forma que, durante as primeiras quatro horas, apenas 1/3 de seus volumes ficou submerso, 2/3 nas quatro horas subseqüentes e submersão total até completar 72 horas de ensaio (Figura 10).

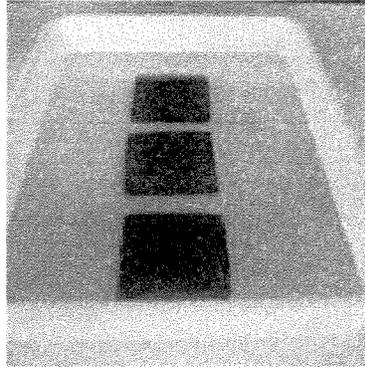


Figura 10 – Corpos-de-prova imersos em água para ensaio de absorção de água por imersão.

A cada 24 horas, contadas do início da colocação das peças na água, os corpos-de-prova eram retirados, enxutos com pano úmido e suas massas determinadas, retornando-os em seguida, ao recipiente com água. Igual procedimento foi realizado com os três corpos-de-prova, para 48 e 72 horas. Após este período, a massa dos corpos-de-prova era determinada em balança hidrostática.

A absorção de cada corpo-de-prova analisado foi determinada relacionando-se a variação de massa seca e saturada, com a massa seca inicial, através da equação nº 14. Foram determinados, também, o índice de vazios existente em cada peça analisada, a massa específica aparente seca do compósito, através das equações nº 15 e 16.

A partir desses dados, foram determinados a absorção de água por imersão, o índice de vazios e a massa específica aparente seca dos corpos-de-prova analisados, utilizando-se as equações 14 a 16.

a) Absorção de água por imersão:

$$\frac{B - A}{A} \cdot 100\% \quad (14)$$

b) Índice de vazios:

$$\frac{B-A}{B-D} \cdot 100\% \quad (15)$$

c) Massa específica aparente seca:

$$\frac{A}{A-D} \quad (16)$$

sendo:

A = massa do corpo-de-prova seco em estufa (g);

B = massa da amostra saturada (g);

D = massa do corpo-de-prova saturado, após imersão em água.

#### **4.2.13 Determinação da carga de ruptura e do módulo de resistência à flexão**

Para a realização do ensaio de flexão, foram utilizados corpos-de-prova com dimensões nominais de 200 x 200 x 20 mm<sup>3</sup>, retirados aleatoriamente de um lote existente.

Foram determinadas as dimensões reais das peças, através do emprego de um paquímetro digital. Para a determinação da espessura, foram tomadas três medições diretas, adotando-se a média entre elas.

As espessuras dos corpos-de-prova foram determinadas com o auxílio de um paquímetro digital. Sendo realizadas três medições diretas para cada peça analisada, e adotando-se a média para cada uma.

Com o comprimento da face lateral do corpo-de-prova, determinou-se a distância entre os centros dos cutelos cilíndricos de apoio, conforme a norma NBR 13818 – Anexo C

(ABNT, 1997), ou seja, a distância entre a extremidade do corpo-de-prova e o centro do cutelo de apoio foi de 10 mm.

A barra cilíndrica central, também conhecida como cutelo de transmissão de carga, foi posicionada de forma eqüidistante em relação aos apoios.

Aplicou-se uma força crescente com uma velocidade de carregamento de 1 MPa/s, até atingir-se a ruptura da peça analisada (Figura 11).

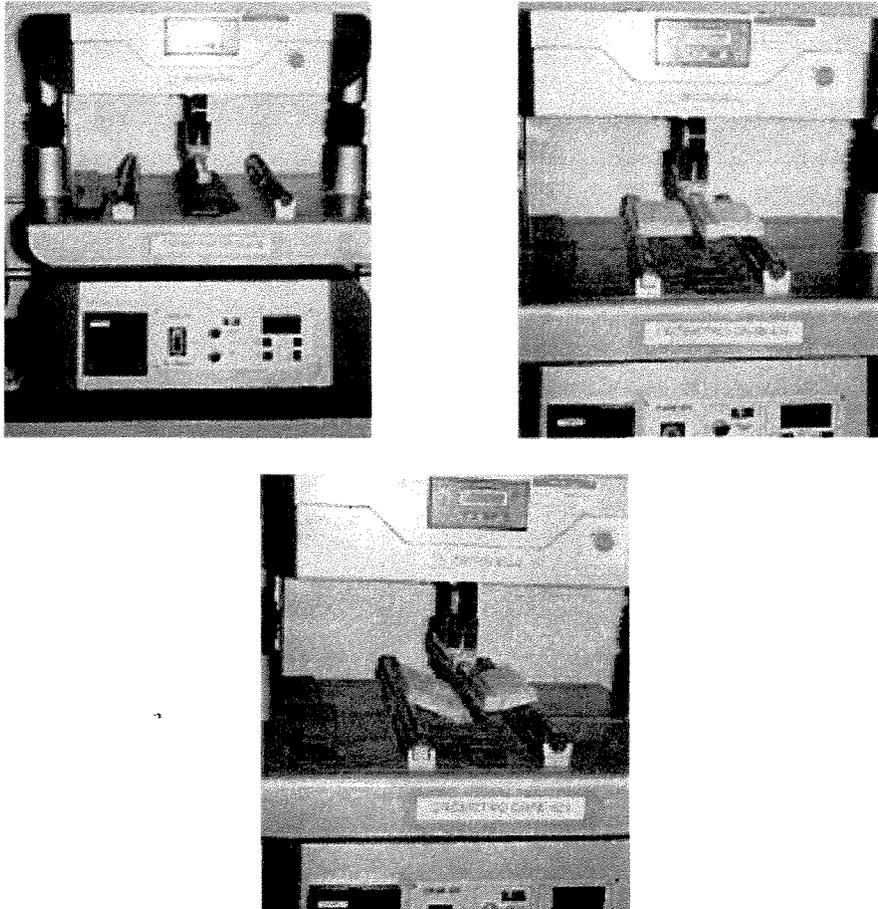


Figura 11 - Equipamento Crômetro Crab 424 e corpo-de-prova sendo submetido ao ensaio de flexão.

Relacionou-se a força de ruptura com a distância entre os cutelos de apoio, a dimensão do corpo-de-prova analisado e a espessura, e determinou-se a carga de ruptura correspondente e o módulo de resistência à flexão para cada peça analisada, através das equações 17 e 18.

$$CR = \frac{F.L}{b} \quad (17)$$

$$MRF = \frac{(3.F.L)}{(2b.e^2)} \quad (18)$$

onde:

CR = carga de ruptura ( N );

MRF = módulo de resistência à flexão ( MPa );

F = força ( N );

L = distância dos apoios ( mm );

b = largura do corpo-de-prova ( mm );

e = espessura do corpo-de-prova ( mm ).

#### **4.2.14 Determinação da resistência à abrasão profunda**

Utilizou-se de um equipamento chamado Abrasímetro Cap, que consiste, basicamente, de um disco de aço com 200 mm de diâmetro, uma caixa da armazenagem de material abrasivo, um funil de escoamento do material abrasivo , um suporte para o corpo-de-prova e um contra-peso.

O material abrasivo utilizado foi o grão de alumina grama F 80, observando-se que este material não foi reutilizado para outros corpos-de-prova, seguindo orientação da NBR 13818 – Anexo E (ABNT, 1997).

O equipamento foi calibrado com disco de sílica padrão e todo o processo foi executado para cinco corpos-de-prova nas duas direções da peça, conforme orientação da mesma norma.

Os corpos-de-prova foram colocados sobre bases pré-fabricadas e apoiados no equipamento através do suporte de apoio. O corpo-de-prova foi, então, pressionado contra o disco de aço, conforme a calibração sugerida pela norma, e o disco colocado em movimento de rotação com 75 rpm durante 2 minutos. Em seguida, o corpo-de-prova foi retirado e girado 90°, repetindo-se toda a operação. O mesmo procedimento foi tomado para os demais quatro corpos-de-prova, conforme prescrito em norma (Figura 12).

Com todos os corpos-de-prova ensaiados, determinou-se, com o auxílio de um escalímetro, o comprimento da cavidade obtida em todos eles, calculando-se então o volume removido de cada face escovada.

Definiu-se o volume máximo escavado e o volume médio escavado que foi utilizado como parâmetro de análise dos corpos-de-prova ensaiados, e determinados através das equações n°s 19 e 20.

A resistência à abrasão profunda é expressa em volume do material removido, em milímetros cúbicos, calculado pelo comprimento da cavidade  $C_{Cav}$ , através da equação 19.

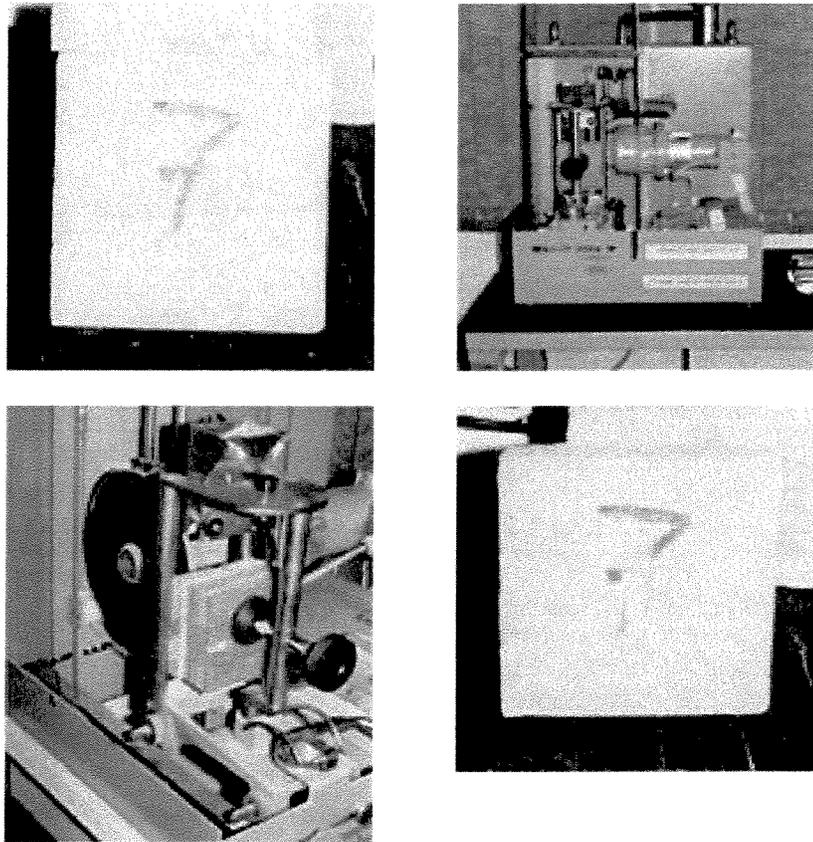


Figura 12 – Abrasímetro Cap, ensaio de abrasão profunda e corpos-de-prova antes e após o ensaio.

$$V = \left( \left( \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \right) - \text{sen} \alpha \right) \left( \frac{h \cdot d^2}{8} \right) \quad (19)$$

$$\text{Sendo} \quad \frac{\text{sen} \alpha}{2} = \frac{C_{\text{cav}}}{d} \quad (20)$$

onde:

V = volume do material removido, em mm<sup>3</sup>;

A = ângulo correspondente ao centro do disco até a cavidade;

C<sub>cav</sub> = comprimento da cavidade da corda, em mm;

π = tomado como sendo igual a 3,14;

d = diâmetro do disco rotativo, em mm;

h = espessura do disco rotativo, em mm.

#### **4.2.15 Determinação da resistência ao impacto**

Conforme prescreve a norma NBR 9454 (ABNT, 1986), três definições devem ser consideradas:

- ruptura – fenômeno caracterizado pela separação de corpo-de-prova em duas ou mais partes distintas;
- fissuras não separativas – fenômeno caracterizado pela ruptura superficial do corpo-de-prova, sem que ocorra divisão em duas ou mais partes distintas;
- depressões locais ou mossas – pequenas cavidades no corpo-de-prova provocadas por choque no material, sem contudo ocorrer ruptura ou fissura não separativa.

O ensaio ao impacto foi realizado utilizando-se uma esfera de aço com 63,5 mm de diâmetro e massa 1 kg, uma bandeja quadrada com 4 cm de altura e lado igual a 0,40 m, e um tubo cilíndrico metálico com 3” de diâmetro e altura 2,50 m, fixado na bandeja através de hastes metálicas que o mantinham em nível estável e aprumado. O tubo foi posicionado de maneira a ficar com sua base inferior a uma distância de 10 cm acima da face superior da placa ensaiada. A esfera foi liberada, em queda livre, de alturas variáveis em relação à placa, iniciando-se a 10 cm de altura, até 2,50 m, com intervalos de 10 cm.

Para a realização do ensaio, foram confeccionadas bases de concreto, quadradas, de lados iguais a 30 cm e altura de 4 cm, que serviram de apoio aos corpos-de-prova. Após

duas horas, a partir das moldagens das bases de concreto, os corpos-de-prova foram nelas assentados e convenientemente centralizados.

Decorridos oito dias, as bases de concreto foram desformadas, e assentadas sobre uma camada de areia depositada na bandeja, para o desenvolvimento do ensaio.

O conjunto foi nivelado, procedendo-se em seguida à determinação da resistência ao impacto, conforme prescrito na norma. Este ensaio foi conduzido com cinco repetições.

#### **4.2.16 Análise Estatística**

Foi aplicado a análise estatística para a verificação da variação das tensões de resistência à compressão simples, com variações de idades para 1, 3, 7, 14 e 28 dias relacionando-se os corpos-de-prova, tanto para a testemunha como para o tratamento. O método utilizado foi o Método de Tukey através do programa “Sistema para análise estatística – Star”. O nível de significância adotado para as análises foi 1%, e considerando-se 4 amostras, tanto para a testemunha como para o tratamento, para cada idade analisada.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DA ARGAMASSA**

Foram realizados vários ensaios, com pré-tratamentos diversos, com o objetivo de identificar a melhor forma de efetuar o preparo prévio do resíduo de couro visando à sua utilização direta como agregado da argamassa de cimento e areia.

O resíduo de couro apresenta características próprias que dificultam sua trabalhabilidade, aderência e homogeneidade com argamassas de cimento e areia.

Fixou-se, como índice tecnológico de aceitação do material, a resistência à compressão mínima para ensaios de pisos, o valor de 2,0 MPa, aos 7 dias de idade, por analogia com as normas técnicas pertinentes ao assunto.

Para o pré-tratamento do farelo de couro com água corrente, obteve-se resultado adequado, apenas, para um corpo-de-prova, porém, muito aquém do valor mínimo

estipulado. Os demais corpos-de-prova submetidos a este pré-tratamento desintegraram-se durante a operação de capeamento.

Para o pré-tratamento com água aquecida, verificou-se que o resíduo de couro transformou-se em um gel e que, após a secagem ao ar livre, o mesmo endureceu tornando-se um bloco compacto e inviabilizando seu aproveitamento.

Para os demais pré-tratamentos, observou-se uma ligeira melhoria nos resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão simples, com água sanitária, porém sem quaisquer perspectivas de utilização, por apresentar-se ainda com valores de resistência abaixo do valor de referência que é de 2 MPa.

Optou-se, então, pela alteração do tipo de cimento empregado e das taxas percentuais de incorporação do resíduo à argamassa, tomadas em relação ao peso do cimento.

Adotou-se, como padrão, a argamassa de cimento CP III-40 e areia média, no traço 1 : 2, com relação água/cimento igual a 0,5. Como o objetivo da pesquisa era utilizar a maior quantidade possível de resíduo de couro sem comprometer a qualidade tecnológica do material formado e a viabilização de sua utilização, fixou-se a porcentagem em peso do resíduo, em relação ao cimento, em 3%.

Os dados experimentais obtidos dos ensaios preliminares referentes aos pré-tratamentos aplicados ao resíduo de couro visando à escolha do traço da argamassa a ser utilizada, estão apresentados na Tabela 4. Os dados apresentados representam a média da resistência à compressão simples, aos 7 dias, de três corpos-de-prova confeccionados para cada pré-tratamento.

Tabela 4 – Resistência à compressão simples (em MPa) de corpos-de-prova submetidos a diferentes pré-tratamentos aplicados ao resíduo de couro.

Pré-Tratamentos	Cimento	Traço	% Resíduo	Resistência à Compressão Simples			
				1	2	3	Média
Água Corrente	CP II Z -32	01:03	8		0,43		
Água Aquecida							
Álcool	CP II Z -32	01:03	8	1,02	0,66	0,53	0,73
Soda Caústica							
Silicato de Sódio	CP II Z -32	01:03	8	1,12	1,68	1,10	1,30
Água Sanitária	CP II Z -32	01:03	8	1,88	1,12	1,91	1,64
Água Sanitária	CP II Z -32	01:03	5	1,78	1,96	1,53	1,76
Água Sanitária	CP III - 40	01:02	5	2,55	1,43	1,93	1,97
Água Sanitária	CP III - 40	01:02	4	4,63	2,85	4,17	3,88
Água Sanitária	CP III - 40	01:02	3	5,60	5,34	6,87	5,93
Água Sanitária	CP III - 40	01:02	2	7,39	9,27	8,91	8,52

Ocorreu que, ao se utilizar 4% do resíduo de couro na argamassa, a mesma apresentou difícil trabalhabilidade, chegando mesmo a se verificar, em alguns corpos-de-prova, que parte das fibras do resíduo de couro não aderiu à matriz, o que determinou a escolha de uma taxa percentual menor, de 3%, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Foi observado que, para os pré-tratamentos com água corrente, álcool e silicato de sódio e água sanitária com a argamassa com CP II Z 32, os valores de resistência ficaram abaixo de 2 MPa, valor estabelecido como mínimo aos 7 dias idade.

Quanto aos pré-tratamentos com água aquecida e soda cáustica, pôde-se constatar a inviabilidade dos mesmos, considerando-se a total alteração das características físicas do resíduo.

Quanto ao pré-tratamento com água sanitária, verificou-se que provocou uma ligeira melhoria nos resultados, tendo-se optado por esta forma de pré-tratamento base para todos os demais ensaios realizados, alterando-se o tipo de cimento utilizado, assim como o traço da argamassa, e mantendo-se a mesma porcentagem de resíduo anteriormente definida, para efeitos comparativos.

Três pré-tratamentos com água sanitária apresentaram valores de resistência à compressão simples superiores ao valor de referência – 2 MPa, ou seja, aqueles aplicados aos corpos-de-prova moldados com 2%, 3% e 4% de resíduo de couro em relação à massa de cimento.

Como o objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade de emprego do resíduo de couro, para fins de utilização como material de construção, procurou-se usar a maior quantidade possível do resíduo para a composição da argamassa, observando-se porém a trabalhabilidade do material.

## 5.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA SERRAGEM DE COURO

Foram realizadas dez determinações da massa específica aparente da serragem de couro, adotando-se, como valor característico, o valor médio indicado na Tabela 5.

Tabela 5 – Massa específica aparente da serragem de couro “in natura”.

Massa específica aparente da serragem de couro “in natura”										
Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,29	0,29	0,30	0,29	0,30	0,30	0,27	0,33	0,32	0,33
$\gamma_{\text{Médio}} = 0,30 \text{ g/cm}^3$										

Igual procedimento foi adotado para a serragem de couro tratada com água sanitária (Tabela 6)

Tabela 6 – Massa específica aparente da serragem de couro tratada com água sanitária

Massa específica aparente da serragem de couro “in natura”										
Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,34	0,35	0,33	0,30	0,31	0,30	0,34	0,34	0,32	0,35
$\gamma_{\text{Médio}} = 0,33 \text{ g/cm}^3$										

Como se pode depreender da análise das Tabelas 5 e 6, o valor da massa específica aparente da serragem de couro pré-tratada com água sanitária foi 10% maior do que o da massa específica aparente da serragem sem qualquer pré-tratamento. Isso pode ser atribuído ao fato de a água sanitária ter sido absorvida pelo resíduo de couro, durante o seu pré-tratamento, nele permanecendo adsorvida para garantir os efeitos relatados no subitem 5.4.

### 5.3 ENSAIO DE ULTRA-SOM

Os valores apresentados na Tabela 7 são resultados de leituras da velocidade da onda ultra-sônica para cada corpo-de-prova cilíndrico ensaiado.

Foram confeccionados 40 corpos-de-prova cilíndricos, sendo metade deles destinada ao tratamento com resíduo de couro e a outra metade para servir como testemunha. Foram divididos os corpos-de-prova em conjuntos de 4 unidades cada, para fins de verificação da relação entre os ensaios de ultra-som e compressão simples em diferentes idades.

Tabela 7 – Velocidade da onda ultra-sônica média registrada para cada corpo-de-prova ensaiado.

Média de Velocidades (m/s)					
Idade (dias)	Testemunho	CP	Idade (dias)	Testemunho	CP
1	2977,17	1924,91	15	3953,38	3417,11
2	3350,6	2509,17	16	4223,27	3417,11
3	3496,63	2869,4	17	4240,32	3417,11
4	3610,87	2976,8	18	4044,61	3408,63
5			19		
6			20		
7	3802	3214,39	21	4156,52	3433,41
8	3938,58	3293,22	22	3953,38	3237,23
9	3938,58	3185,89	23		
10	3938,58	3265,72	24	4029,12	3323,09
11	3938,58	3332	25	4044,62	3395,77
12			26		
13			27		
14	3953,38	3417,11	28	3953,38	3394,39

Através do ensaio de ultra-som determinou-se o tempo necessário para que a onda ultra-sônica caminhasse de uma extremidade à outra do corpo-de-prova. Relacionou-se o tempo gasto (em  $\mu\text{s}$ ) e o comprimento do corpo-de-prova (em mm), calculando-se a velocidade de propagação da onda dentro do material analisado.

Observou-se que a velocidade de propagação da onda ultra-sônica aumentou em função da idade, ou seja, o tempo de propagação da onda foi menor quanto mais completo foi o endurecimento do material.

Relacionando-se as velocidades com as resistências alcançadas no ensaio de compressão simples, para as diferentes idades adotadas no ensaio, será possível estimar as resistências dos demais corpos-de-prova sem necessidade de destruí-los.

Com os valores das velocidades individuais para cada corpo-de-prova, foram determinadas as velocidades médias cujos valores estão representados nas Figuras 13 a 16, respectivamente.

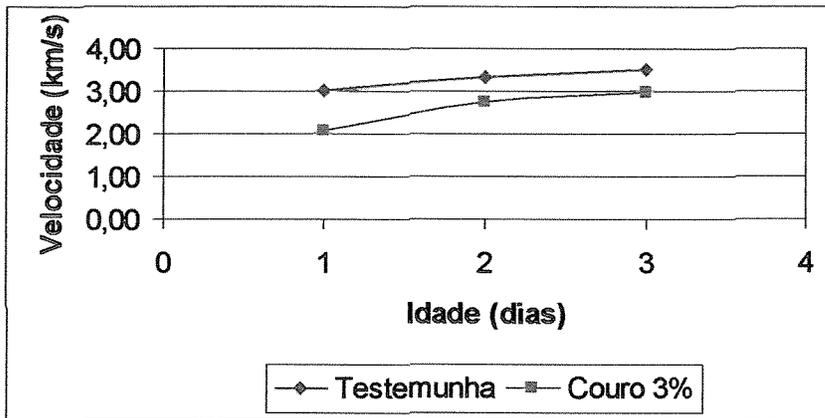


Figura 13 – velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 3 dias

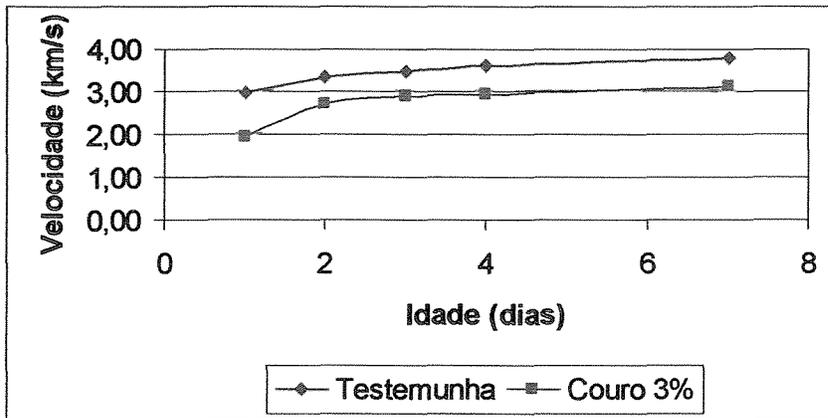


Figura 14 – velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 7 dias

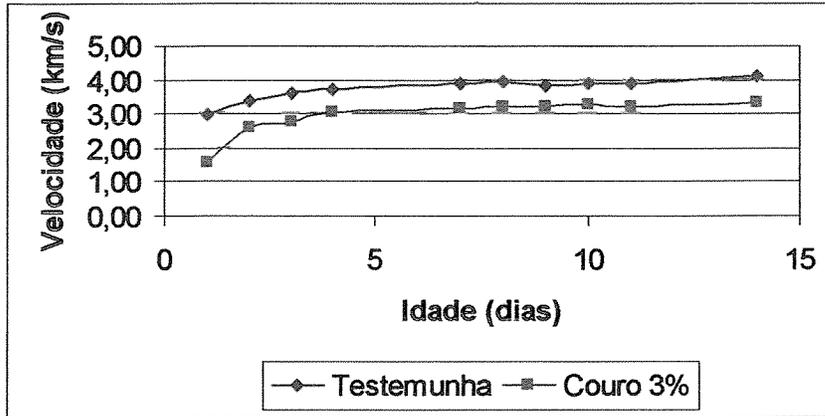


Figura 15 – velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 14 dias

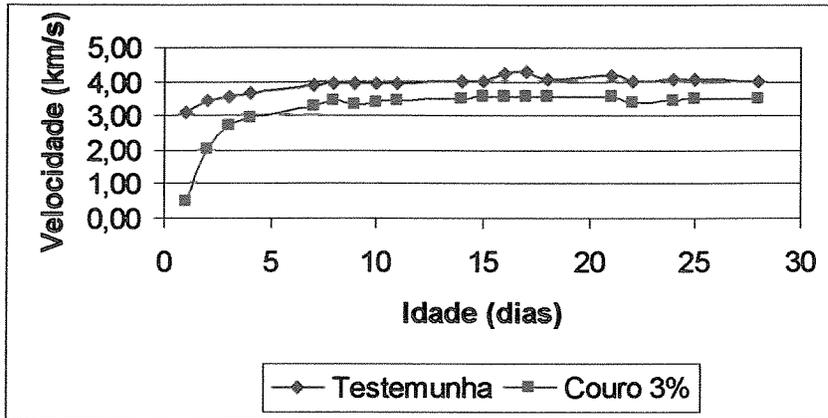


Figura 16 – velocidade de propagação da onda ultra-sônica para um período de 28 dias

Através da análise dos resultados, pode ser observado, através das figuras 13 a 16, que houve uma estabilização das velocidades de propagação ultra-sônica média à partir do 14º dia, apresentando variações mínimas até o 28º dia. de ensaio Verificou-se, também, que para 1 dia de ensaio pode ser considerado desprezível a verificação das velocidades ultra-sônicas, para este tipo de material, uma vez que apresenta resultados muito baixos e não confiáveis. Com o acréscimo da idade, pode-se prever o acréscimo da resistência no material denotado pela maior velocidade de propagação da onda ultra-sônica através do mesmo.

#### **5.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES**

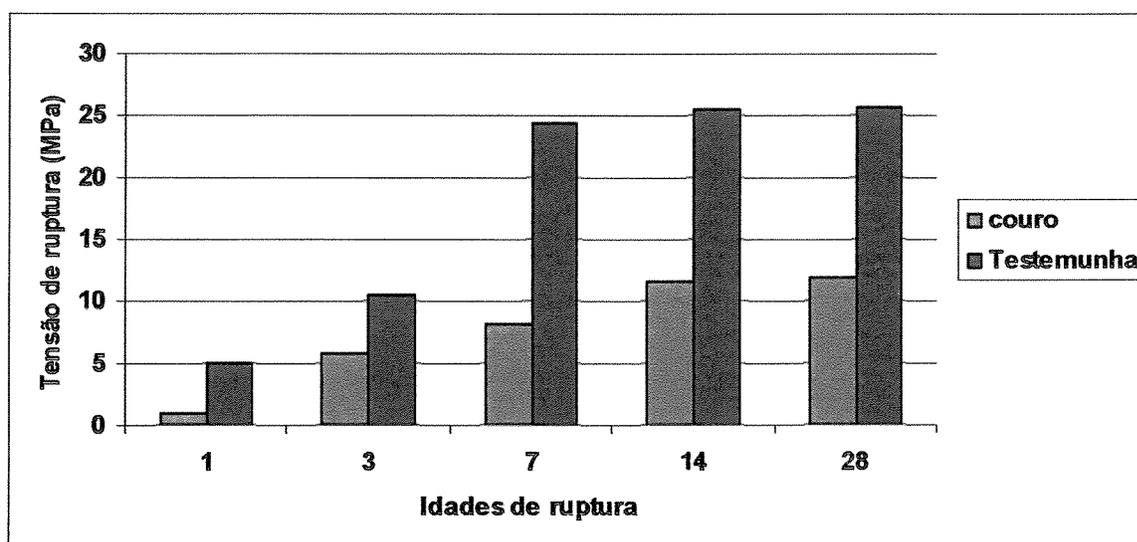
Após a aplicação do ensaio de ultra-som nos corpos cilíndricos, foram os mesmos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de compressão simples, em várias idades, estando os resultados obtidos relacionados na Tabela 08. Com os valores de resistência à compressão simples, determinou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada tratamento estudado.

abela 08 - Determinação da Resistência à Compressão Simples (MPa)

Tratamentos	Repetições	Resistência à Compressão Simples (MPa)				
		1º Dia	3º Dia	7º Dia	14º Dia	28º Dia
Testemunha	A	5,87	11,64	27,82	23,89	22,10
	B	4,23	9,15	25,67	26,23	28,80
	C	5,73	8,94	23,47	27,80	27,30
	D	4,08	11,96	20,83	23,66	24,15
	Média	4,98	10,42	24,45	25,40	25,59
	DP	0,95	1,60	3,00	1,98	3,03
	CV	19,08	15,36	12,27	7,80	11,84
Compósito	A	0,89	7,08	7,50	12,60	10,73
	B	0,77	5,31	8,50	12,00	15,50
	C	1,08	5,00	8,30	10,00	12,29
	D	1,02	6,00	8,10	11,53	9,19
	Média	0,94	5,85	8,10	11,53	11,93
	DP	0,13	0,92	0,43	1,11	2,70
	CV	13,83	15,73	5,31	9,63	22,63

Na figura 17 é mostrado a variação das tensões de ruptura em função das idades conforme a tabela 08.

Figura 17 – Gráfico representativo da tensão de ruptura (MPa) x Idades de Ruptura (dias)



Com os valores médios obtidos para os corpos-de-prova do compósito e testemunha, tanto para velocidades como para tensões de compressão simples, correlacionou-se os resultados elaborando-se a Tabela 09 e a Figura 18.

Correlação entre Tensão (MPa) x Velocidade Média (km/s)				
Idade	Tensão Tratamento	Veloc. Tratamento	Tensão Testem.	Veloc. Testem.
1	0,94 (c)	0,45	4,98 (c)	3,07
3	5,85 (b)	2,65	10,42 (b)	3,51
7	8,10 (ab)	3,24	24,45 (a)	3,84
14	11,53 (a)	3,47	25,40 (a)	3,95
28	11,93 (a)	3,49	25,59 (a)	3,95

Tabela 09 – Correlação entre Tensão (MPa) e Velocidade Média (km/s) dos Corpos-de-prova e Testemunha

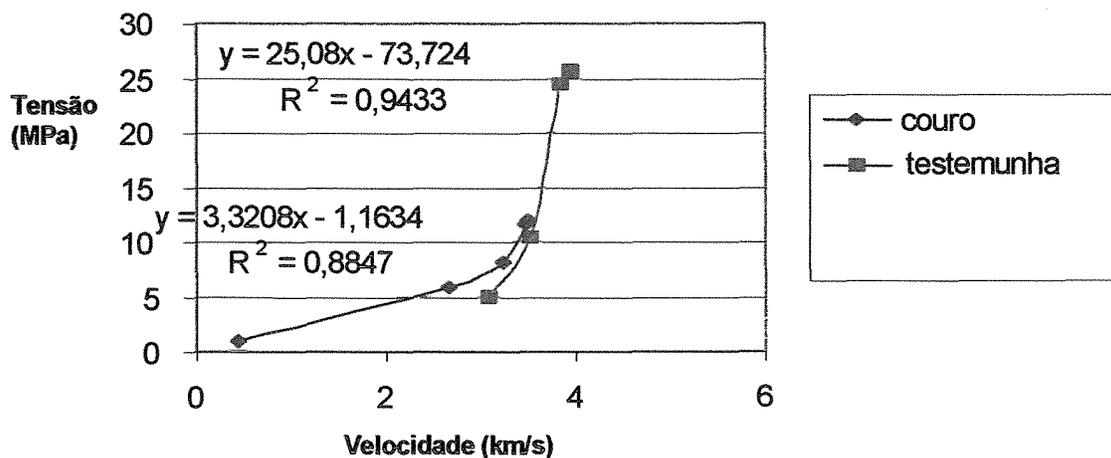


Figura 18 – Correlação entre tensão de compressão simples (MPa) e velocidade ultra-sônica (km/s).

Para análise estatística, efetuou-se o teste de Tukey, comparando-se as médias ocorridas para a testemunha e o tratamento com as variações de idades para os corpos-de-

prova, com grau de significância de 1%, verificou-se que, para a testemunha, não houve variação significativa dos resultados a partir do 7º dia (a); sendo que ocorreu variação para os resultados apontados entre o 7º e o 3º dia (b); e maior ainda em relação ao 1º dia (c).

Para o tratamento verificou-se que não houve variação significativa dos resultados a partir do 14º dia (a); com pequena variação tanto do 14º dia em relação ao 7º dia bem como do 7º dia em relação ao 3º dia (ab); com variação significativa para o 3º dia (b); e, maior variação em relação ao 1º dia (c).

Com os resultados obtidos, podemos considerar que para análise de resultados referentes à compressão simples, poderemos tomar como base os valores alcançados para o 14º dia, diminuindo desta forma o tempo necessário para verificações e comparações entre testemunhas e tratamentos.

## **5.5 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES**

Através de leituras diretas com a utilização de paquímetro digital, foram obtidas as dimensões de todas as faces dos corpos-de-prova analisados, calculando-se suas médias e elaborando-se a Tabela 10. Para a determinação das espessuras individualizadas, as medidas foram realizadas em dois locais de cada face.

Conforme orientação da norma brasileira NBR 6482 (ABNT, 1986), referente à determinação das dimensões das peças, calculou-se a média de todas as médias de comprimento, largura e espessuras, e adotou-se, como valor característico de cada corpo-de-prova, o comprimento e largura total médios, e, para as espessuras, definiu-se a espessura total média (a média entre as maiores espessuras obtidas para cada face) e a

Tabela 10 – Dimensões dos corpos-de-prova analisados (mm)

	CP 1	CP 4	CP 5	CP 7	CP 10	CP 3	CP 16	CP 8	CP 9	CP 18	Média
<b>Faces</b>											
A	102,37	101,75	102,75	102,50	102,24	101,71	102,55	102,41	100,74	102,21	102,12
A'	101,79	101,34	102,80	102,71	102,34	101,48	102,16	102,34	100,41	101,93	101,93
B	102,25	102,42	102,87	101,72	102,58	102,42	102,15	101,72	101,69	100,69	102,05
B'	102,89	102,62	102,90	101,77	102,16	102,02	102,44	102,01	101,74	100,71	102,13
<b>Média Geral</b>	102,06										
<b>Espes.</b>											
e <sub>A</sub>	18,52	19,27	18,31	17,96	22,75	17,93	19,35	18,97	18,80	19,54	19,14
e <sub>A1</sub>	18,42	19,16	18,40	18,71	23,29	17,89	19,38	19,05	18,63	19,58	19,25
e <sub>A'</sub>	17,89	19,38	19,72	18,62	22,71	18,84	19,24	18,94	18,67	20,47	19,45
e <sub>A'1</sub>	18,18	19,28	19,01	19,04	23,22	18,94	19,25	19,02	18,66	20,09	19,47
e <sub>B</sub>	18,25	18,91	19,27	19,00	22,68	19,64	19,22	19,90	18,53	19,70	19,51
e <sub>B1</sub>	18,54	20,69	18,39	18,27	22,65	18,47	19,52	19,43	19,39	19,00	19,44
e <sub>B'</sub>	18,22	19,37	18,59	18,22	23,15	18,18	20,27	18,93	18,71	19,18	19,28
e <sub>B'1</sub>	17,77	19,60	19,34	18,69	22,75	18,80	19,68	18,90	18,06	19,97	19,38
<b>Média Geral</b>	19,37										

A = comprimento da face A do corpo de prova, em mm;

A' = comprimento da face A' do corpo-de-prova, oposta à face A, em mm

B = comprimento da face B do corpo-de-prova, em mm;

B' = comprimento da face B' do corpo-de-prova, oposta à face B, em mm;

e<sub>A</sub> e e<sub>A1</sub> = espessuras da face A do corpo-de-prova, em mm; e<sub>A'</sub> e e<sub>A'1</sub> = espessuras da face A' do corpo-de-prova, em mm

e<sub>B</sub> e e<sub>B1</sub> = espessuras da face B do corpo-de-prova, em mm; e<sub>B'</sub> e e<sub>B'1</sub> = espessuras da face B' do corpo-de-prova, em mm.

espessura parcial média (a média entre as menores espessuras de cada face), tal como apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Dimensões médias dos corpos-de-prova analisados.

Comprimento Médio (mm)	Largura Média (mm)	Espessura Total Média (mm)	Espessura Parcial Média (mm)
102,06	102,06	19,58	19,15

Analisando-se os valores médios e a média geral obtidos para cada dimensão dos corpos-de-prova, determinou-se a dispersão da média cujos dados estão expressos em mm e em porcentagens.

Para a dispersão das dimensões de comprimento e largura (peça quadrada) obteve-se a seguinte variação:

$$X_{\text{Médio}} \pm 0,13$$

$$X_{\text{Médio}} \pm 0,13 \%$$

Para a dispersão das dimensões de espessura, obteve-se a seguinte variação:

$$X_{\text{Médio}} \pm 0,23$$

$$X_{\text{Médio}} \pm 1,20 \%$$

## 5.6 DETERMINAÇÃO DA DIFERENÇA ENTRE LADOS OPOSTOS E LADOS ADJACENTES

Com os resultados registrados na Tabela 10, elaborou-se as tabelas 12 a 15, com o objetivo de definir as maiores variações percentuais resultantes da ortogonalidade das peças, tanto para lados opostos como para lados adjacentes. Para a elaboração da tabelas 12 a 15 seguiu-se orientação da norma NBR 9447 (ABNT, 1986), que estabelece os cálculos através das equações 01 a 06.

Tabela 12 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade das peças CP 01, CP 03 e CP 04.

FACES	CP 01				CP 03				CP 04			
	(mm)	$O_{A1}$	$O_{B1}$	$O_{A1/B1}$	(mm)	$O_{A3}$	$O_{B3}$	$O_{A3/B3}$	(mm)	$O_{A4}$	$O_{B4}$	$O_{A4/B4}$
A – A'	0,58	0,57			0,23	0,23			0,41	<b>0,40</b>		
B – B'	0,64		<b>0,62</b>		0,40		<b>0,39</b>		0,20		0,19	
A – B	0,12			0,12	0,71			0,69	0,12			0,12
A' – B	0,46			0,45	0,94			<b>0,92</b>	1,08			1,05
A – B'	0,52			0,51	0,31			0,30	0,87			0,85
A' – B'	1,10			<b>1,06</b>	0,54			0,53	1,28			<b>1,25</b>

A – A' = diferença entre os comprimentos das faces dos Lado A e Lado A' da peça considerada, em mm;

B – B' = diferença entre os comprimentos das faces dos Lado B e Lado B' da peça considerada, em mm;

A – B = diferença entre os comprimentos das faces dos Lado A e Lado B da peça considerada, em mm;

A' – B = diferença entre os comprimentos das faces dos Lado A' e Lado B, da peça considerada, em mm;

A – B' = diferença entre os comprimentos das faces dos Lado A e Lado B', da peça considerada, em mm;

A' – B' = diferença entre os comprimentos das faces dos Lado A' e Lado B, da peça considerada, em mm;

$O_{Ai}$  = ortogonalidade referente aos lados correspondentes A e A' da peça da amostra considerada de ordem i;

$O_{Bi}$  = ortogonalidade referente aos lados correspondentes B e B' da peça da amostra considerada de ordem i;

$O_{A/Bi}$  = ortogonalidade referente aos lados adjacentes da peça da amostra considerada de ordem i.

Tabela 13 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade das peças CP 05, CP 07 e CP 08.

	CP 05				CP 07				CP 08			
	(mm)	O <sub>A1</sub>	O <sub>B1</sub>	O <sub>A1/B1</sub>	(mm)	O <sub>A3</sub>	O <sub>B3</sub>	O <sub>A3/B3</sub>	(mm)	O <sub>A4</sub>	O <sub>B4</sub>	O <sub>A4/B4</sub>
A	0,05	<b>0,05</b>			0,21	<b>0,20</b>			0,07	0,07		
B	0,03		0,03		0,05		0,05		0,29		<b>0,28</b>	
A	0,12			0,12	0,78			0,76	0,69			<b>0,67</b>
A'	0,07			0,07	0,99			<b>0,96</b>	0,62			0,61
A	0,15			<b>0,15</b>	0,73			0,71	0,40			0,39
A'	0,10			0,10	0,94			0,92	0,33			0,32

Tabela 14 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade das peças CP 09, CP 10 e CP 16.

	CP 09				CP 10				CP 16			
	(mm)	O <sub>A1</sub>	O <sub>B1</sub>	O <sub>A1/B1</sub>	(mm)	O <sub>A3</sub>	O <sub>B3</sub>	O <sub>A3/B3</sub>	(mm)	O <sub>A4</sub>	O <sub>B4</sub>	O <sub>A4/B4</sub>
A -	0,33	<b>0,33</b>			0,10	0,10			0,39	<b>0,38</b>		
B -	0,05		0,05		0,42		<b>0,41</b>		0,29		0,28	
A -	0,95			0,93	0,34			0,33	0,40			<b>0,39</b>
A'	1,28			1,26	0,24			0,23	0,01			0,01
A -	1,00			0,98	0,08			0,08	0,11			0,11
A'	1,33			<b>1,31</b>	0,55			<b>0,54</b>	0,28			0,27

Tabela 15 – Maiores diferenças percentuais resultantes da ortogonalidade da peça CP 18.

	CP 18			
	(mm)	O <sub>A1</sub>	O <sub>B1</sub>	O <sub>A1/B1</sub>
A - A'	0,28	<b>0,27</b>		
B - B'	0,02		0,02	
A - B	1,52			<b>1,49</b>
A' - B	1,24			1,22
A - B'	1,50			1,47
A' - B'	1,22			1,19

Para o resultado final de caracterização da amostra determinou-se os maiores valores individuais de  $O_{Ai}$  ou  $O_{Bi}$  para cada peça da amostra, assim como também os maiores valores individuais  $O_{Ai/Bi}$  para cada peça analisada (Tabela 16).

Tabela 16 – Diferença percentual entre lados opostos e adjacentes.

Variações Máximas de Ortogonalidade (%)										
	CP 01	CP 03	CP 04	CP 05	CP 07	CP 08	CP 09	CP 10	CP 16	CP 18
$O_{Ai}$			0,40	0,05	0,20		0,33		0,38	0,27
$O_{Bi}$	0,62	0,39				0,28		0,41		
$O_{Ai/Bi}$	1,06	0,92	1,25	0,15	0,96	0,67	1,31	0,54	0,39	1,49

Com os valores resultantes resumidos na Tabela 16, verificou-se que a maior variação existente ocorreu para o CP 18 para ortogonalidade para lados adjacentes e para o CP 01 para a ortogonalidade para lados opostos. Segundo a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), o valor limite de variação admissível para peças artesanalmente confeccionadas é de  $\pm 1,00\%$ , onde observa-se que quanto à ortogonalidade para lados adjacentes, as peças não se classificaram, o que se pode caracterizar como falha na desmoldagem das peças.

## 5.7 DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES COM DATAPLUCRÔMETRO

Os corpos-de-prova foram ensaiados no aparelho dataplucrômetro, sendo as leituras obtidas através de relógios comparadores caibrados através da placa referencial.

Determinou-se o comprimento das quatro faces para os dez corpos-de-prova e suas médias individuais e adotou-se como comprimento final a média entre todas as leituras.

Determinou-se, então, o desvio individual de cada peça, tomando-se como referência a placa de calibração, e, também, o desvio ocorrido com o valor médio dos corpos-de-prova cujos valores estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Determinação das dimensões das peças estudadas, com dataplucrômetro.

Peça	Medidas Individuais de Comprimento (r, em mm)				Méd.Comp. Cr (mm)	Desvio Er/Ew	Desvio Er/ER
	L1	L2	L3	L4			
1	195,26	200,44	197,84	199,95	198,37	-0,81	-0,11
2	198,73	200,27	195,81	199,94	198,69	-0,66	-0,06
3	197,98	199,84	201,86	197,98	199,42	-0,29	-0,42
4	197,25	197,04	195,25	198,28	196,96	-1,52	-0,82
5	198,62	200,87	199,02	198,19	199,18	-0,41	-0,30
6	198,67	197,89	197,87	197,72	198,04	-0,98	-0,27
7	198,17	199,27	199,05	198,95	198,86	-0,57	-0,14
8	199,55	200,14	199,19	198,38	199,32	-0,34	-0,37
9	199,12	199,11	197,64	198,87	198,71	-0,64	-0,07
10	198,15	198,17	197,56	199,27	198,29	-0,86	-0,15

Comprimento médio da amostra R = 198,58 mm

Desvio máximo (r) em relação ao comprimento W = -1,52%

Desvio máximo (r) em relação ao comprimento médio R = -0,82%

sendo:

L1, L2, L3 e L4 = comprimentos individuais de cada face das peças analisadas, em mm;

Cr = comprimento médio da peça analisada, em mm;

r = comprimento referente à placa analisada;

W = comprimento referente à placa padrão;

R = comprimento referente à média entre todas as peças analisadas;

Er/Ew = desvio máximo da peça em relação à placa padrão;

Er/ER = desvio máximo da peça em relação à média geral.

Analisando-se os dados obtidos e levando-se em consideração que, de acordo com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997) para amostras com absorção de água  $\geq 10\%$ , a variação limite permitida para o desvio do comprimento das peças individualizadas, em relação à peça padrão, é de  $\pm 4,00$  mm e que a variação limite permitida para o desvio do comprimento das peças individualizadas, em relação à média de todas as amostras é  $\pm 1,5\%$ , observa-se que todas as amostras se enquadram dentro do limite imposto pela referida norma.

## 5.8 DETERMINAÇÃO DA RETITUDE LATERAL

Quando da leitura das dimensões dos corpos-de-prova analisados, determinou-se, também, a variação individualizada das quatro faces de cada peça, relacionando-as com as dimensões padronizadas da placa padrão.

Para se determinar o desvio percentual da retitude dos lados (Tabela 18) utilizou-se a equação nº 07:

Tabela 18 – Determinação da retitude de peças analisadas em mm e variação porcentual em relação à placa padrão.

PEÇA	Retitude Individual RLr (mm)				Retitude em relação a W (%)			
	RL1	RL2	RL3	RL4	a1	a2	a3	a4
1	-0,44	3,16	-0,61	0,51	-0,22	1,58	-0,31	0,26
2	-0,46	3,00	-0,22	-1,15	-0,23	1,50	-0,11	-0,58
3	-0,17	-0,20	0,91	1,72	-0,09	-0,10	0,46	0,86
4	-0,10	-0,14	-0,19	-0,10	-0,05	-0,07	-0,10	-0,05
5	0,99	0,32	0,92	-0,25	0,50	0,16	0,46	-0,13
6	1,84	-0,56	-0,32	-0,17	0,92	-0,28	-0,16	0,09
7	0,93	0,49	0,51	0,30	0,47	0,25	0,26	0,15
8	2,55	-0,17	1,23	0,29	1,28	-0,09	0,62	0,15
9	-0,94	2,67	-1,11	-1,20	-0,47	1,34	-0,56	-0,60
10	0,48	1,58	0,69	2,60	0,24	0,79	0,35	1,30

Desvio máximo da retitude lateral em relação ao comprimento  $RLr = 3,16$  mm

Desvio máximo da retitude lateral em relação ao comprimento (CW)  $RLr/CW = 1,58\%$

onde:

$RLr$  = variação do alinhamento da peça individualizada em relação à placa padrão, em mm;

$a$  = variação do alinhamento da peça individualizada em relação à placa padrão, em %;

$CR$  = comprimento médio das amostras, em mm;

$CW$  = comprimento da placa padrão, em mm.

De acordo com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), a variação máxima de retitude admitida para peças com absorção de água  $\geq 10\%$ , é  $\pm 1\%$ . Considerando-se que a dimensão da placa padrão é 200 mm conclui-se que a máxima variação da retitude admitida é de 2 mm.

Levando-se em conta que as peças foram confeccionadas de forma artesanal, e analisando-se os dados registrados na Tabela 18, verifica-se que apenas 5 peças ultrapassaram os limites significando que 87,50% são tecnicamente aceitáveis.

## **5.9 DETERMINAÇÃO DA ORTOGONALIDADE**

Foram empregados dez corpos-de-prova para leitura da variação da ortogonalidade medida através de relógios comparadores. Tomou-se como referência a placa padrão de 200 x 200 x 20 mm<sup>3</sup> determinou-se, para cada face dos corpos-de-prova, as variações correspondentes, tanto positivas como negativas (Tabela 19), baseado nos cálculos efetuados pela equação nº 08, adotando-se a maior variação para sua caracterização.

Tabela 19 – Determinação do desvio máximo da ortogonalidade em relação à placa padrão

PEÇA	Ortogonalidade Individual Ocr (mm)				Ortogonalidade em relação a W (%)			
	OC1	OC2	OC3	OC4	a1	a2	a3	a4
1	3,17	-0,79	0,5	0,62	1,59	-0,40	0,25	0,31
2	-0,33	-1,65	1,95	0,63	-0,17	-0,83	0,98	0,32
3	-1,16	-0,55	-1,08	-0,47	-0,58	-0,28	-0,54	-0,24
4	-3,34	1,00	-0,54	1,09	-1,67	0,50	-0,27	0,55
5	-0,28	-0,99	-2,3	2,13	-0,14	-0,50	-1,15	1,07
6	0,68	-1,26	0,1	-1,26	0,34	-0,63	0,05	-0,63
7	0,42	-0,21	-1,06	-0,73	0,21	-0,11	-0,53	-0,37
8	-1,19	0,97	-3,68	2,66	-0,60	0,49	-1,84	1,33
9	0,20	-1,82	1,61	0,18	0,10	-0,91	0,81	0,09
10	-0,80	0,20	0,98	-0,42	-0,40	0,10	0,49	-0,21

Desvio máximo da ortogonalidade em relação ao comprimento Ocr = -3,68 mm

Desvio máximo da ortogonalidade em relação ao comprimento (CW) Ocr/CW = -1,84%

onde:

Ocr = ortogonalidade individual em relação ao comprimento, em mm;

a = desvio máximo da ortogonalidade das peças individualizadas em relação à placa padrão, em %

De acordo com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), a variação máxima de ortogonalidade permitida para peças que apresentam absorção de água  $\geq 10\%$  é de 1%, o que corresponde a 2 mm. A variação máxima observada foi de 3,68 mm correspondente a um desvio de 1,84%, indicando que, 15% dos desvios de ortogonalidade em relação à placa padrão não se enquadram dentro dos limites estabelecidos pela norma, exigência esta que poderá ser atenuada se for levado em consideração que as peças foram confeccionadas artesanalmente.

## 5.10 DETERMINAÇÃO DA CURVATURA CENTRAL

Com os valores obtidos através das leituras dos relógios comparadores, elaborou-se a tabela 20, utilizando-se, para efeito comparativo, a placa padrão de calibração e determinando-se o percentual de variação para cada leitura, conforme orientação da NBR 13818 (ABNT, 1997), através das equações n<sup>o</sup>s 09 e 10.

Tabela 20 – Determinação do desvio máximo da curvatura central em relação à placa padrão

PEÇA	Curvatura Individual CCr (mm)				Curvatura Central em Relação à Diagonal W (%)			
	CC1	CC2	CC3	CC4	a1	a2	a3	a4
1	1,65	1,62	1,44	3,2	0,58	0,57	0,51	1,13
2	2,98	3,38	2,92	3,59	1,05	1,20	1,03	1,27
3	0,66	2,43	2,16	0,59	0,23	0,86	0,76	0,21
4	-0,12	-0,06	-0,11	-0,31	-0,04	-0,02	-0,04	-0,11
5	2,03	1,63	2,43	1,58	0,72	0,58	0,86	0,56
6	1,93	1,64	1,22	1,07	0,68	0,58	0,43	0,38
7	0,74	0,65	0,73	0,45	0,26	0,23	0,26	0,16
8	2,25	1,54	1,70	1,64	0,80	0,54	0,60	0,58
9	0,07	1,29	1,57	1,77	0,02	0,46	0,56	0,36
10	2,14	1,35	2,32	2,45	0,76	0,48	0,82	0,87

Desvio máximo da curvatura central CCr = 3,59 mm

Desvio máximo da curvatura central em relação a (CW) CCr/DeW = 1,27%

onde:

CCr = comprimento de curvatura central da peça, em mm;

a = desvio da curvatura central da peça em relação à diagonal da peça padrão, em %.

De acordo com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), verifica-se que, para peças artesanalmente confeccionadas e que apresentem absorção de água  $\geq 10\%$ , o valor máximo

admitido para curvatura central das peças analisadas será de 1,5%, conforme é de critério, todas as peças foram enquadradas dentro dos requisitos da norma.

### 5.11 DETERMINAÇÃO DA CURVATURA LATERAL

Com as leituras feitas pelos relógios comparadores, e usando-se como referência a placa padrão de calibração, elaborou-se a Tabela 21 para a curvatura lateral, determinando-se, também, o desvio máximo ocorrido em relação à mesma.

Tal como o ocorrido no caso do desvio máximo de curvatura central em relação à placa padrão, todas as peças usadas para a determinação do desvio máximo de curvatura lateral, também foram enquadradas dentro dos critérios normativos.

Tabela 21 – Determinação do desvio máximo de curvatura lateral em relação à placa padrão

PEÇA	Curvatura Individual CLr (mm)				Curvatura Lateral em relação a W (%)			
	CL1	CL2	CL3	CL4	a1	a2	a3	a4
1	-0,87	0,86	-0,55	-0,79	-0,44	0,43	-0,28	-0,40
2	-0,64	-0,38	-0,59	-0,04	-0,32	-0,19	-0,30	-0,02
3	0,52	-0,35	0,49	0,47	0,26	-0,18	0,25	0,24
4	0,20	-0,70	0,42	-0,32	0,10	-0,35	0,21	-0,16
5	-0,26	-0,92	-0,54	0,48	-0,13	-0,46	-0,27	0,24
6	-0,97	-0,76	-0,02	0,23	-0,49	-0,38	-0,01	0,12
7	-0,74	-1,03	-0,56	-0,23	-0,37	-0,52	-0,28	-0,12
8	-0,57	0,13	-0,02	-0,95	-0,29	0,07	-0,01	-0,48
9	0,02	0,27	-0,42	-0,08	0,01	0,14	-0,21	-0,04
10	0,05	-0,42	-0,07	-0,10	0,03	-0,21	-0,04	-0,05

Desvio máximo da curvatura lateral em relação ao comprimento CLr = -1,03 mm

Desvio máximo da curvatura lateral em relação ao comprimento (CW) CLr/CW = -0,52%

onde:

CLr = comprimento de curvatura lateral da peça analisada;

A = desvio máximo da curvatura lateral em relação à placa padrão.

## 5.12 DETERMINAÇÃO DO EMPENO

Com os resultados obtidos através das leituras efetuadas pelos relógios comparadores referenciado pela placa padrão, elaborou-se a Tabela 22 para a caracterização do empeno em cada face das peças analisadas e determinou-se o desvio máximo resultante em função do comprimento padrão, utilizando-se as equações nºs 11 e 12, conforme determinação da NBR 13818 (ABNT, 1997).

Tabela 22 - Caracterização do empeno individual para cada face das peças analisadas.

PEÇA	Empenamento Individual Er (mm)				Empeno em Relação à diagonal W em %			
	lado 1-2 E1	lado 2-3 E2	lado 3-4 E3	lado 4-1 E4	a1	a2	a3	a4
1	0,14	-0,10	-0,33	-0,39	0,05	-0,04	-0,12	-0,14
2	0,93	-1,53	0,36	-0,87	0,33	-0,54	0,13	-0,31
3	-2,49	-3,12	1,58	2,90	-0,88	-1,10	0,56	1,03
4	-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
5	-1,79	-0,48	-1,71	-0,26	-0,63	-0,17	-0,60	-0,09
6	-0,47	-0,38	1,32	-2,73	-0,17	-0,13	0,47	-0,97
7	-0,45	0,17	-0,17	0,17	-0,16	-0,06	-0,06	0,06
8	-0,99	-0,11	-0,70	-1,31	-0,35	-0,04	-0,25	-0,46
9	-0,98	-1,50	1,06	0,14	0,35	-0,53	0,37	0,05
10	-0,06	-1,97	-3,28	-0,98	-0,02	-0,70	-1,16	-0,35

Desvio máximo do empeno  $E_r = -3,28$  mm

Desvio máximo do empeno em relação à diagonal W ( $E_r/Dew$ ) = -1,16%

Conforme disposição da norma NBR 13818 (ABNT, 1997), para peças confeccionadas artesanalmente e que apresentem índice de absorção de água  $\geq 10\%$ , a variação máxima admitida para o empeno das peças é de 1,5%, de onde se conclui que tendo em vista os resultados apresentados na Tabela 22, todas as amostras foram enquadradas dentro dos critérios normativos.

### 5.13 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Após secagem dos corpos-de-prova em estufa e resfriamento dos mesmos em temperatura ambiente, foram eles colocados em recipiente com água, determinando-se suas massas úmidas para períodos que variavam até 72 horas, conforme caracterizado na Tabela 23.

Tabela 23 – Massas dos corpos-de-prova após diferentes períodos de tempo a partir de sua imersão em água

Idade	Massa (g)						% de	% de
	0 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	variação	variação
CP 14	356,62	381,26	384,36	387,75	388,35	388,40	8,91	8,18
CP 17	366,63	392,45	395,62	400,65	401,77	402,10	9,67	
CP 19	384,92	396,33	400,62	406,61	407,31	407,81	5,95	

onde:

% variação = porcentagem de variação da massa verificada ao final de 72 horas em relação ao início do ensaio;

% média = porcentagem média de variação da massa durante o período de ensaio considerando-se as três amostras analisadas.

Após a última pesagem, as peças foram cortadas ao meio, utilizando-se uma serra circular, com a finalidade de se observar o avanço da frente de molhamento através dos materiais em estudo. Os resultados, colhidos por meio de leitura visual direta, foram anotados (Tabela 24), tomando-se a precaução de se fazer pelo menos três medições para cada peça.

Tabela 24 – Altura de molhamento das peças submetidas a ensaio de absorção de água por capilaridade.

Altura de Molhamento H (mm)			
Alturas	A	B	C
CP 14	13,66	10,88	15,39
CP 17	15,45	16,13	13,93
CP 19	15,83	9,06	13,45

A absorção de água é, também, caracterizada pela razão entre a variação de massa final e massa inicial para o período de ensaio, em função da área molhada (Tabela 25), definida em  $g/cm^2$  e determinada através da equação 13, conforme determina a NBR 9779 (ABNT, 1995).

Tabela 25 – Absorção de água por capilaridade relacionada à variação de massas em função da área molhada.

Absorção de Água ( C = $g/cm^2$ )					
Idade	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas
CP 14	0,24	0,27	0,30	0,31	0,31
CP 17	0,25	0,28	0,33	0,34	0,34
CP 19	0,11	0,15	0,21	0,21	0,22

As alturas de molhamento ocorridas para as peças analisadas não chegaram a ultrapassar 75% da altura total das mesmas, o que, de acordo com a norma NBR 9779 (ABNT, 1995), somente desconsideraria os corpos-de-prova se as alturas tivessem atingido sua totalidade. Verificando-se os dados constantes da Tabela 25, observa-se que, praticamente, não ocorreram variações significativas quanto à absorção de água após 24 horas do início do ensaio, o que poderia ser definido como período máximo para análise dos corpos-de-prova ensaiados.

#### 5.14 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO – ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Após os procedimentos determinados pela norma NBR 9778 (ABNT, 1987), elaborou-se a Tabela 26, na qual são apresentadas as respectivas massas correspondentes a cada corpo-de-prova analisado e que serviram de referencial para a determinação do índice de absorção de água, índice de vazios e massa específica aparente do material obtido.

Tabela 26 – Massa dos corpos-de-prova, após decorridos diferentes períodos de tempo a partir de sua imersão em água.

Massa (g)						
Idade	0 hora	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas
CP 10	363,44	390,63	397,78	402,87	403,83	403,95
CP 11	394,06	420,01	428,58	435,88	437,02	437,59
CP 13	421,42	446,92	453,91	464,98	466,48	466,78

Após a determinação das massas dos corpos-de-prova por períodos variados, conforme descrito na tabela 26, obteve-se a massa dos mesmos corpos-de-prova submersos em água, com a utilização de balança hidrostática, e elaborou-se a tabela de caracterização das mesmas (Tabela 27).

Tabela 27 – Massa dos corpos-de-prova submersos, após decorridas 72 horas de imersão em água

Massa dos corpos-de-prova submersos (g)	
CP 10	211,82
CP 11	230,60
CP 13	245,54

Com os resultados obtidos nos cálculos efetuados através das equações de nºs 14 a 16, elaborou-se a Tabela 28, na qual estão apresentados as características físicas dos corpos-de-prova.

Tabela 28 – Características físicas dos corpos-de-prova estudados.

	CP 10	CP 11	CP 13
Absorção de Água por Imersão (%)	11,15	11,05	10,76
Índice de Vazios (%)	21,08	21,03	20,51
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,39	2,41	2,39

A determinação da absorção de água por imersão, para os corpos-de-prova ensaiados, caracterizou-se pela variação entre 10,76% e 11,50%. Segundo a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), o material analisado apresenta índice de absorção de água por imersão acima de 10%, classificando-o como classe A III.

### **5.15 DETERMINAÇÃO DA CARGA DE RUPTURA E MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO**

Posicionada a placa a ser ensaiada sobre os apoios, aplicou-se, através do cutelo de transmissão de carga da máquina de ensaios, uma força gradativa conforme determinado pela norma NBR 13818 (ABNT, 1997), até a ruptura da peça.

Com o emprego do paquímetro, mediu-se o comprimento da linha de ruptura ao longo da extensão do corpo-de-prova, expressa em milímetros, e com os resultados obtidos nas equações nº 17 e 18, elaborou-se a Tabela 29.

Tabela 29 – Carga de ruptura e módulo de resistência à flexão dos corpos-de-prova ensaiados.

CP	L (mm)	b (mm)	e (mm)	F (kgf)	F (N)	CR (N)	MRF (N/mm <sup>2</sup> )
1	180	197,83	21,46	122,20	1199	1091	3,55
2	180	199,16	21,90	122,70	1204	1088	3,40
3	180	199,03	21,02	97,40	955	864	2,93
4	180	197,88	20,7	70,83	685	632	2,21
5	180	197,62	21,37	90,30	886	807	2,65
Média			21,90	100,68	988	896	2,95
Mínimo						632	2,21

sendo

L = distância entre as barras de apoio, em mm;

b = largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após o ensaio, em mm;

e = espessura do corpo-de-prova, em mm;

F = força aplicada, em kgf ou N, conforme o caso;

CR = carga de ruptura, em N;

MRF = módulo de resistência à flexão, em MPa.

A norma NBR 13818 (ABNT, 1997) fixa, para peças confeccionadas artesanalmente e com índice de absorção de água  $\geq 10\%$  o valor limite para a carga de ruptura com sendo  $\geq 600$  N, o que enquadra todos os valores da amostra apresentados na Tabela 29. Ocorre que, com a possibilidade de variações de espessura, a própria norma fixa, como Módulo de Resistência à Flexão Mínimo, o valor de 8 MPa, bem superior ao resultado médio obtido, o que, por este critério, desclassificaria todas as amostras quanto à resistência à flexão.

## 5.16 DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

Após a realização dos ensaios com corpos-de-prova, os resultados obtidos foram analisados e relacionados os valores entre o comprimento da cavidade escavada e o volume resultante. Os comprimentos das cordas das cavidades escavadas foram determinados em cada corpo-de-prova, cada um deles tomado com uma repetição, e relacionados às duas posições ortogonais entre si. Determinou-se, também, o volume médio escavado para cada peça, através das equações n°s 18 e 19, a média entre as médias alcançadas e o valor máximo obtido entre todos os corpos-de-prova analisados ( Tabela 30 ).

Tabela 30 – Determinação da Resistência à Abrasão Profunda (mm<sup>3</sup>).

CP	Posição 1				Posição 2				Média	
	C <sub>cav</sub>	Sen α	A	V(mm <sup>3</sup> )	C <sub>cav</sub>	Sen α	α	V(mm <sup>3</sup> )	C <sub>cav</sub>	V(mm <sup>3</sup> )
1	33,47	0,33	19,55	329,34	41,83	0,42	24,73	663,65	37,65	496,50
2	32,05	0,32	18,69	287,87	25,66	0,26	14,87	145,14	28,86	216,50
3	39,70	0,40	23,39	562,30	31,38	0,31	18,29	269,33	35,54	415,96
4	38,12	0,38	22,41	494,70	45,04	0,45	26,77	840,67	41,58	667,68
5	40,78	0,41	24,07	612,17	40,23	0,40	23,72	586,39	40,51	599,28
Valor Média									36,83	479,19
Valor Máximo									41,58	667,68

A resistência à abrasão profunda é expressa em volume do material removido, em milímetros cúbicos, calculado pelo comprimento da cavidade C<sub>Cav</sub>, através da equação 19.

Com os valores obtidos, foi determinados os volumes médios entre as medições efetuadas nos dois sentidos de cada peça analisada; com esses volumes médios, calculou-se

a média final para os cinco corpos-de-prova, identificando-se o maior valor individual médio, para fins de comparação com o valor limite imposto pela norma NBR 13818 (ABNT, 1997), que é  $\leq 2365 \text{ mm}^3$  para a resistência de abrasão profunda. Conforme estes critérios, todos os resultados apresentados na Tabela 30 estão perfeitamente enquadrados dentro dos limites preconizados pela norma.

### 5.17 RESISTÊNCIA AO IMPACTO

A determinação da resistência ao impacto foi feita de acordo com os procedimentos da norma NBR 9454 (ABNT, 1986), sendo efetuada com cinco repetições de corpos retirados aleatoriamente de um lote existente.

Os corpos-de-prova apresentaram as dimensões caracterizadas na Tabela 31.

Tabela 31 – Dimensões médias dos corpos-de-prova

Dimensões médias dos corpos-de-prova (mm)					
CP	18	20	22	24	26
Lado A	99,50	101,50	101,50	103,00	101,50
Lado B	100,00	100,50	101,00	103,00	100,50
Espessura	19,48	17,75	19,88	20,50	17,78

Durante o ensaio não ocorreu a ruptura de nenhum corpo-de-prova.

O que se verificou foi o surgimento de pequenas cavidades superficiais que se acentuavam gradativamente à medida que se aumentava a altura de queda da esfera metálica, conforme caracterizado na Tabela 32.

Tabela 32 – Determinação das alturas em que ocorreram as deformações visíveis nos corpos-de-prova

Altura (m) em que ocorreram deformações nos corpos-de-prova					
CP	18	20	22	24	26
Cavidade Superficial	0,70	0,50	0,60	0,60	0,60
Cavidade Marcante	1,80	1,40	1,00	1,40	0,90
Estabilidade	1,80	1,40	1,00		
Fissura				2,30	2,50

Entende-se, por cavidade superficial, a deformação inicial; por cavidade marcante, uma deformação mais acentuada que a deformação superficial; por estabilidade, a não ocorrência de novas deformações visíveis após a deformação marcante e até ao final do ensaio e fissura, quando ocorrem leves aberturas no material analisado.

De acordo com a norma NBR 9454 (ABNT, 1986), para a caracterização das peças analisadas, determinam-se dois tópicos principais, ou seja, que se defina as alturas de queda, em metros, que produziram, em cada corpo-de-prova, as deformações visíveis, como indicado na Tabela 32, e a definição da altura que provocou a ruptura da peça ensaiada. Pelos resultados obtidos, pode ser observado que, em nenhuma peça, ocorreu a ruptura, o que enquadra o material com bom índice de resistência ao impacto.

## 5.18 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DE PEÇAS CONFECCIONADAS COM OU SEM A INCORPORAÇÃO DE SERRAGEM DE COURO

Foram analisados os custos para a confecção de placas quadradas de 10 cm de lado e espessura de 2 cm, tomados em relação ao consumo de materiais para a formação de 1 m<sup>2</sup> de piso, ou seja, 100 unidades.

TESTEMUNHA (matriz de cimento e areia, sem a incorporação de serragem de couro):

Areia (0,02 m <sup>3</sup> )	R\$ 0,50
Cimento (15,50 kg)	R\$ 6,20
Total	R\$ 6,70 / m <sup>2</sup>

TRATAMENTO (matriz de cimento e areia, com incorporação de serragem de couro):

Areia (0,015 m <sup>3</sup> )	R\$ 0,38
Cimento (13,35 kg)	R\$ 5,34
Couro (0,40 kg)	R\$ 0,00
Água Sanitária (6,00 litros)	R\$ 3,00
Total	R\$ 8,72 / m <sup>2</sup>

Analisando-se diretamente os custos calculados da maneira anteriormente descrita, verificou-se que a peça tratada com água sanitária apresenta valor orçamentário maior que a peça confeccionada da maneira convencional, ou seja, sem qualquer adição de resíduo.

Os seguintes aspectos, porém, devem ser analisados:

- o custo final da peça incorporada com resíduo de couro é 30% maior do que a peça moldada da maneira convencional;
- água sanitária utilizada para o tratamento do couro equivale a, aproximadamente, 34,4% do valor final da peça (não foi considerada a possível reutilização da água sanitária);
- para a confecção de 1 m<sup>2</sup> de placas são necessários 400 g de couro tratado com água sanitária, o que corresponde a 677,70 g de resíduo de couro se tratamento;
- como a massa específica do couro sem tratamento é igual a 0,30 g/cm<sup>3</sup>, para cada 442,38 m<sup>2</sup> de piso confeccionado com esse material, 1 m<sup>3</sup> de serragem de couro é aproveitado;
- para cada 2.210 m<sup>2</sup> de piso confeccionado, 1 caminhão de 5 m<sup>3</sup> de resíduo de couro deixa de ser lançado em aterros sanitários;
- não foram computados os valores de mão-de-obra para o tratamento do couro (lavagem) com água sanitária;
- não foram considerados os custos dos benefícios que poderiam ser minimizados com o não encaminhamento dos resíduos para tratamento em aterros sanitários, ou seja, custo da área, transporte, etc.

## 6 CONCLUSÕES

Dentro das condições em que este trabalho foi realizado, os resultados obtidos, analisados e interpretados estatisticamente permitiram que se fizesse uma avaliação técnica e econômica do compósito estudado, lembrando que nenhum aditivo, ou outro agregado qualquer, foi acrescentado à argamassa de cimento e areia, com a pura finalidade de se estudar unicamente o comportamento da serragem de couro incorporada, sem a influência de qualquer outra variável.

As seguintes conclusões podem ser tiradas:

1. a serragem de couro é um material de difícil homogeneização e trabalhabilidade quando incorporada a matrizes cimentantes, em dosagens acima de 4% de resíduo em relação ao aglomerante;
2. entre os diversos pré-tratamentos aplicados à serragem de couro, apenas aquele com água sanitária apresentou resultados satisfatórios;

3. a resistência à compressão simples aumento até a idade de 14 dias, estabilizando-se a partir de então, quer fosse avaliada através do ensaio destrutível quer do ensaio não destrutível;
4. as variações dimensionais das peças confeccionadas se enquadram perfeitamente dentro das determinações da norma, definidas sob critérios de índice de absorção de água e da confecção artesanal do material;
5. o índice de absorção de água por imersão apresentou uma variação de massa em torno de 11%, valor este que classifica o material na classe A III, de acordo com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997);
6. o módulo de resistência à flexão apresentou resultados bem aquém dos limites estipulados pela norma brasileira, valores estes que desclassificariam o material quanto à sua aceitação;
7. a resistência à abrasão profunda apresentou resultados bastante favoráveis, obtendo-se, como valor máximo, um volume escavado de 667,68 mm<sup>3</sup>, praticamente 2/3 abaixo do valor limite permitido pela norma;
8. a resistência ao impacto mostrou que o material apresenta grande resistência, uma vez que em nenhum corpo-de-prova analisado ocorreu ruptura; por outro lado, apenas duas peças apresentaram pequenas fissuras para alturas de queda superiores a 2,30 m;
9. o custo do material obtido pela incorporação de serragem de couro à matriz de cimento e areia, foi aproximadamente 30% maior do que aquele verificado para o material sem adição de resíduo, valor este sem se levar em consideração as despesas indiretas;

10. o material pesquisado, apesar de não corresponder totalmente à sua utilização imediata, merece estudos continuados visando à superação de algumas de suas características desfavoráveis de modo a torná-lo viável técnica e economicamente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 5738*.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos. Rio de Janeiro, 1994, 10 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. *NBR 6482*. Piso Cerâmico – determinação das dimensões, Rio de Janeiro, 1986, 07 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. *NBR 9447*. Piso Cerâmico – determinação das diferenças entre lados opostos e adjacentes. Rio de Janeiro, 1986, 08 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. *NBR 9448*. Piso Cerâmico – determinação das curvaturas. Rio de Janeiro, 1986, 06 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. *NBR 9449*. Piso Cerâmico – determinação do empeno. Rio de Janeiro, 1986, 05 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. *NBR 9451*. Piso Cerâmico – determinação da tensão de ruptura e flexão. Rio de Janeiro, 1986, 04 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. **NBR 9454**. Piso Cerâmico – determinação da resistência ao impacto. Rio de Janeiro, 1986, 05 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. **NBR 7215**. Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996, 08 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecido. Determinação de absorção de água por imersão – Índice de vazios e Massa específica. Rio de Janeiro, 1987, 03 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. **NBR 13818**. Determinação da resistência à abrasão profunda (anexo E). Rio de Janeiro, 1997 a, 05 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13818**. Determinação das dimensões, da retitude dos lados, da ortogonalidade dos lados, da curvatura central, da curvatura lateral e do empeno (anexo S). Rio de Janeiro, 1997 b, 05 p.

\_\_\_\_\_. Rio de Janeiro. **NBR 13818**. determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. (anexo C) Rio de Janeiro, 1997 c, 03 p.

AGOPYAN, V e DELLORE, A – Materiais de construção reforçados com fibras: uso do papel imprensa, In: **Tecnologia de Edificações/ Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha** – São Paulo: Pini Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações, 1988. 1ª Ed. p. 35 a 38.

AGOPYAN, V – Estudo dos materiais de construção civil – materiais alternativos. In: **Tecnologia de Edificações/ Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha** – São Paulo: Pini Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações, 1988. 1ª Ed. p. 75 a 78.

BERALDO, A L.; NÄÄS, I. A. e FREIRE, W. J. – **Materiais para construção rurais**. LTC Livros Técnicos e Científicos Ed., Rio de Janeiro, 167 p., 1991.

- CINCOTTO, M. A. – Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil, In: *Tecnologia das Edificações/ Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha* – São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações, 1988. 1ª Ed.. p. 71 a 74.
- FLAUZINO, W. D. – Durabilidade de materiais e componentes das edificações. In: *Tecnologia de Edificações/ Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha* – São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações, 1988. 1ª Ed.. p. 79 a 84.
- FREIRE, W. J. – Materiais de Construção. In: **Introdução à Engenharia Agrícola** – (Luiz A. B. Cortez e Paulo S. G. Magalhães, coordenadores), 2ª ed., Campinas, S.P.: Editora da UNICAMP, p. 137 a 144, 1993.
- GARLET, G e GREVEN, H. A - Aproveitamento de resíduos de E.V.A da indústria calçadista na construção civil. In: *Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil* – São Paulo, 1996 – PCC – USP, Anais, 08 p.
- HOINACKI, E. – **Peles e Couros, Origens, Defeitos e Industrialização**. 2ª ed., revisão ampla, Porto Alegre, R.S. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 319 p., 1989.
- MASUERO, A B.; MOLIN, D. C. C. e VILELA, A – Resíduos da Indústria Coureira: Caracterização e Potencialidade de Uso de Cinza de Serragem Cromada. In: *Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil* – São Paulo, 1996 – PCC – USP, Anais.
- MUCCILOLO, P. – **Produção e Preparo de Couros e Peles** – Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, Rio de Janeiro. 1948, 163 p.

NÄÄS, I.A. – **Princípios do conforto térmico na produção animal**. São Paulo, S.P.

Ícone, 183 p. 1989.

PALOMBO, T. – Matéria-prima Renovável. Resíduos Industriais, In: *Notícias*

*FIESP/CIESP*. São Paulo, S.P. p. 8 a13. 2003

## **ANEXOS**

- A. Relatório de Ensaios: CITEC-CCB, Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica – Centro Cerâmico do Brasil.
- B. Determinação de Resistência à Abrasão Profunda: CITEC-CCB, Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica – Centro Cerâmico do Brasil.
- C. Determinação da Retitude Lateral, da Ortogonalidade, da Curvatura, do Empeno e das Dimensões: CITEC-CCB, Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica – Centro Cerâmico do Brasil.
- D. Determinação da Carga de Ruptura e Módulo de Resistência à Flexão: CITEC-CCB, Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica – Centro Cerâmico do Brasil.
- E. Relatório de Ensaios: CITEC-CCB, Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica – Centro Cerâmico do Brasil.



Número do Registro: 03617/03

Página: 1 de 5

Produto: Matéria-Prima Natural

Entrada: 24/11/03

Referência: Compósito de argamassa, cimento, areia e couro

Início: 25/11/03

Empresa: João Geraldo Molinari Peres

Conclusão: 25/11/03

Endereço:

Saída: 25/11/03

## RELATÓRIO DE ENSAIOS

### Ensaio Realizados

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Análise Visual do Aspecto Superficial - Anexo A  | <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência ao Congelamento - Anexo M   |
| <input type="checkbox"/> Determinação de Absorção de Água - Anexo B   | <input type="checkbox"/> Determinação do Coeficiente de Atrito - Anexo N   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Determinação da Carga de Ruptura e Módulo de Resistência à Flexão - Anexo C | <input type="checkbox"/> Determinação de Chumbo e Cádmio - Anexo P   |
| <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência à Abrasão Superficial - Anexo D                            | <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência ao Impacto - Anexo Q  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Determinação da Resistência à Abrasão Profunda - Anexo E                    | <input type="checkbox"/> Determinação da Diferença de Tonalidade - Anexo R   |
| <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência ao Gretamento - Anexo F                                    | <input checked="" type="checkbox"/> Determinação das Dimensões, da Retitude dos Lados, da Ortogonalidade dos Lados, da Curvatura Central, da Curvatura Lateral e do Empeno - Anexo S |
| <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência ao Manchamento - Anexo G                                   | <input type="checkbox"/> Determinação da Dureza Segundo à Escala Mohs - Anexo V  |
| <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência ao Ataque Químico - Anexo H                                | <input type="checkbox"/> Determinação da Mancha D'água - Procedimento Interno  |
| <input type="checkbox"/> Determinação da Expansão por Umidade - Anexo J   | <input type="checkbox"/> Det. da Expansão por Umidade (autoclave) - Procedimento Interno   |
| <input type="checkbox"/> Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica - Anexo K                             | <input type="checkbox"/> Análise Microscópica - Procedimento Interno   |
| <input type="checkbox"/> Determinação da Resistência ao Choque Térmico - Anexo L                                |  |

### Declarações e Observações

Tamanho Nominal		Data de Fabricação	
Tamanho de Fabricação		Grupo de absorção de água	
Número de Lote		Classe de resistência de abrasão	
Tonalidade		Número de Requisição Serviço	
Nº Bitola ou Tamanho		Avaliação Tratativa de NC	

Observações: Não há.



Determinação da Resistência à Abrasão Profunda

2 / 5

EMPRESA : João Geraldo Molinari Peres  
 MATERIAL: Matéria prima natural  
 AMOSTRA: Compósito de argamassa, cimento, areia e couro.  
 Relatório de Ensaio n °: 3011/03  
 Norma: ABNT - NBR 13818/97 - ANEXO F

**QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA:**  
 - REVESTIMENTOS (NÃO ESMALTADOS) = 5 PEÇAS.

CORPO DE PROVA	POSIÇÃO A		POSIÇÃO B		MÉDIA	
	Comprimento da cavidade = Ccav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm³)	Comprimento da cavidade = Ccav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm³)	Comprimento da cavidade = Ccav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm³)
1	33,47	329,34	41,83	663,65	37,65	496,50
2	32,05	287,87	25,66	145,14	28,86	216,50
3	39,70	562,30	31,38	269,63	35,54	415,96
4	38,12	494,70	45,04	840,67	41,58	667,68
5	40,78	612,17	40,23	586,39	40,51	599,28
<b>VALOR MÉDIO</b>					36,83	479,19
<b>VALOR MÁXIMO</b>					41,58	667,68

**FÓRMULA DE CÁLCULO:**

$$\text{VOLUME DE MATERIAL REMOVIDO} = V = \left( \frac{3,14 \times \alpha}{180} - \text{sen } \alpha \right) \times \left( \frac{h \times d^2}{8} \right)$$

d= diâmetro do disco rotativo

h= espessura do disco rotativo

α= ângulo (em graus) correspondente ao centro do disco até a cavidade

sen α/2 = Ccav/d

(Ao invés de calcular, pode-se utilizar a tabela E.1 pág. 25 da NBR 13818/97 - ANEXO F)

OBS.: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Ensaio: Determinação da Retitude Lateral, da Ortogonalidade, da Curvatura, do Empeno e das Dimensões 3 / 5

EMPRESA : João Geraldo Molinari Peres

MATERIAL: Revestimento Cerâmico Prensado e Esmaltado 20 x 20 cm

AMOSTRA: Compósito de argamassa, cimento, areia e couro.

Relatório de Ensaio n °: 3011/03

Norma: ABNT - NBR - 13818/97 Anexo S

Dimensão nominal (N): 200 x 200 mm

Dimensão de Fabricação (W): 200 x 200 mm

Espessura nominal (e): ND mm

CARACTERÍSTICAS DAS PLACAS QUADRADAS		Variações Permitidas	Resumo dos Valores
DIMENSÃO NOMINAL (N)	cm	---	20 x 20
DIMENSÃO DE FABRICAÇÃO (W)	mm	---	200 x 200 x ND
ESPESSURA DE FABRICAÇÃO (eW)	mm	---	ND
DESVIO DE W EM RELAÇÃO A N MODULARES	mm	2 a 5	Placa não modular
DESVIO DE W EM RELAÇÃO A N NÃO MODULARES	%	± 2	0,0
DESVIO DE W EM RELAÇÃO A N NÃO MODULARES	mm	5	0,0
DESVIO DO COMPRIMENTO DE (r) EM RELAÇÃO A (W)	%	± 0,6	-1,5
DESVIO DO COMPRIMENTO DE (r) EM RELAÇÃO A (R)	%	± 0,5	-0,8
DESVIO MÁXIMO DA ESPESSURA (e) EM RELAÇÃO A (eW)	%	± 5	ND
DESVIO MÁXIMO DA ESPESSURA (e) EM RELAÇÃO A (eR)	%	± 5	ND
DESVIO MÁXIMO DA RETITUDE LATERAL (r) EM RELAÇÃO A (W)	%	± 0,5	1,6
DESVIO MÁXIMO DA RETITUDE LATERAL (r) EM RELAÇÃO A (R)	%	± 0,5	1,6
DESVIO MÁXIMO DA ORTOGONALIDADE (r) EM RELAÇÃO A (W)	%	± 0,6	-1,8
DESVIO MÁXIMO DA ORTOGONALIDADE (r) EM RELAÇÃO A (R)	%	± 0,6	-1,8
DESVIO MÁXIMO DA CURVATURA CENTRAL (r) EM RELAÇÃO A (W)	%	± 0,5	1,3
DESVIO MÁXIMO DA CURVATURA CENTRAL (r) EM RELAÇÃO A (R)	%	± 0,5	1,3
DESVIO MÁXIMO DA CURVATURA LATERAL (r) EM RELAÇÃO A (W)	%	± 0,5	-0,5
DESVIO MÁXIMO DA CURVATURA LATERAL (r) EM RELAÇÃO A (R)	%	± 0,5	-0,5
DESVIO MÁXIMO DE EMPENO (r) EM RELAÇÃO A DIAGONAL DE (W)	%	± 0,5	-1,2
DESVIO MÁXIMO DE EMPENO (r) EM RELAÇÃO A DIAGONAL (R)	%	± 0,5	-1,2

**OBSERVAÇÃO IMPORTANTE** : Os resultados aqui apresentados são válidos somente para a amostra em questão. É expressamente proibida a reprodução total ou parcial deste documento sem autorização por expresso deste laboratório

Santa Gertrudes, SP 25 de Novembro de 2003.

  
 Laboratório de Ensaios Cerâmicos do  
 Centro de Inovação Tecnológica em Cerâmica



Número do Registro: 03617/03

Página: 4 de

Produto: Matéria-Prima Natural

Entrada: 24/11/

Referência: Compósito de argamassa, cimento, areia e couro

Início: 25/11/

Empresa: João Geraldo Molinari Peres

Conclusão: 25/11/

Endereço:

Saída: 25/11/

**DETERMINAÇÃO DA CARGA DE RUPTURA E MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO**

ENSAIO REALIZADO CONFORME NBR 13818/97 - ANEXO C

DATA DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: 24/11/03

RESULTADOS:

Peça Inteira / Dimensã

Corpo de Prova	Espessura (mm)	Força de Ruptura (N)	Carga de Ruptura (N)	Módulo de Resistência à Flexão MPa (N/mm <sup>2</sup> )
1	21,46	1199	1091	3,55
2	21,90	1204	1088	3,40
3	21,02	955	864	2,93
4	20,70	695	632	2,21
5	21,37	886	807	2,65
<b>Média</b>	21,29	988	896	2,95
		<b>Mínimo</b>	632	2,21

Variáveis do Ensaio: Diâmetro da barra de apoio (d) = 20 mm

Espessura da borracha (t): 5 mm

Distância entre os pontos de apoio (L): 180 mm

Distância entre os pontos de apoio e o extremo da amostra = 10 mm

OBSERVAÇÕES: Não há.



## RELATÓRIO DE ENSAIOS

O Laboratório de Ensaaios Cerâmicos, não se torna responsável, em nenhum caso de interpretação ou uso indevido que se possa fazer deste documento, cuja reprodução parcial ou total, sem autorização expressa deste laboratório, está totalmente proibida.

O presente documento de nº 03617/03 corresponde à(s) amostra(s) Compósito de argamassa, cimento, areia e cimento, por solicitação da empresa João Geraldo Molinari Peres, que consta de 5 páginas.

Santa Gertrudes, 25 de novembro de 2003.

**Thiago Alexandre Deyuri**  
Coordenador Técnico

### CLÁUSULAS DE RESPONSABILIDADE

- \* Os resultados obtidos somente se referem à amostra do material submetido ao(s) ensaio(s).
- \* Não se admite qualquer responsabilidade à representatividade da amostragem, a menos que esta tenha sido efetuada mediante nossa própria supervisão. Salvo menção expressa, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.
- \* O Laboratório de Ensaaios Cerâmicos não se torna responsável pela divulgação ou o uso que o solicitante, outra pessoa ou entidade venha a fazer dos resultados apresentados no presente relatório, em prejuízo ou benefício das marcas comerciais que o solicitante tenha podido citar como identificação das amostras submetidas a estudo.
- \* O Laboratório de Ensaaios Cerâmicos poderá incluir em seus relatório, análises, resultados, etc., qualquer outra avaliação que julgar necessária, ainda que essa não houvesse sido expressamente solicitada.
- \* O Laboratório de Ensaaios Cerâmicos garante a confiabilidade dos resultados contidos no presente relatório de ensaio e é aplicável o desvio ocorrido nos métodos e equipamentos utilizados.
- \* Os resultados que são obtidos por meio de cálculos matemáticos são apresentados com valores arredondados.
- \* A reprodução deste relatório só está autorizada na forma de uma reprodução integral.
- \* Qualquer parecer expresso neste relatório não faz parte do escopo do credenciamento.