



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Lanna Jéssica Lima Araújo Figueiredo

**ESTUDO DE MATERIAIS ARGILOSOS COM ADIÇÃO DE BORRACHA
PROVENIENTE DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE TELHAS**

Palmas – TO

2016

Lanna Jéssica Lima Araújo Figueiredo

**ESTUDO DE MATERIAIS ARGILOSOS COM ADIÇÃO DE BORRACHA
PROVENIENTE DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE TELHAS**

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr^a Angela Ruriko Sakamoto

Palmas – TO

2016

Lanna Jéssica Lima Araújo Figueiredo

ESTUDO DE MATERIAIS ARGILOSOS COM ADIÇÃO DE BORRACHA
PROVENIENTE DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE TELHAS

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr^a. Angela Ruriko Sakamoto

Aprovada em 23 / Nov / 2016

BANCA EXAMINADORA



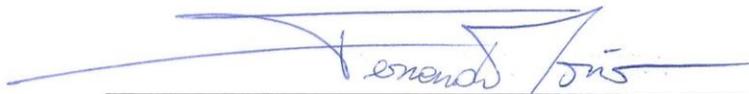
Prof. Dr^a Angela Ruriko Sakamoto

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc. Maria Carolina D'Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2016

DEDICATÓRIA

A minha mãe Leoneide,
E aos meus avós Francisco e M^a Neusote.

AGRADECIMENTOS

Nesta etapa vitoriosa que estou finalizando em minha vida, só tenho a agradecer primeiramente a Deus pelas bênçãos concedidas ao longo dessa jornada.

A minha mãe Leoneide, minha razão de viver, minha inspiração, em que eu nada seria se não fosse por ela, pelo seus esforços, pela sua garra e dedicação, por cada palavra de motivação e orações. Te amo!

A minha segunda mãe, minha vó M^a Neusote, a quem amo tanto, pelos seus cuidados e preocupações.

Ao meu vô Francisco (in memoriam), que exerceu o papel de pai em minha vida, o seu abraço apertado fará falta mais uma vez.

Vocês são os meus verdadeiros exemplos de humildade e caráter.

Ao meu esposo Robson, pelo companheirismo, compreensão e incentivo.

Aos meus irmãos William e Francisco Neto, pelo carinho.

A todos os familiares que torceram por mim, em especial Klenia Shirley que tenho como irmã mais velha, sempre me aconselhando.

E aqueles que também acreditaram em meu potencial, padrinhos, madrinhas, sogro, sogra, cunhada e amigos.

Aos meus amigos que me auxiliaram no laboratório Fábio e Mariana.

À minha amiga Débora, que fiz repetidas vezes ler este TCC para me ajudar a corrigir e que cedeu seu ombro amigo mediante meus desesperos.

À professora Angela Ruriko, orientadora deste trabalho, pelo incentivo, pelos conhecimentos transmitidos, por me guiar em meios às dúvidas.

Obrigada a todos, vocês também fazem parte dessa vitória!

RESUMO

FIGUEIREDO, L. J. L. A. **Estudo de Materiais Argilosos com Adição de Borracha Proveniente dos Pneus Inservíveis na Produção de Telhas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, Palmas, 2016.

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento do material argiloso com adição dos farelos de borracha em diferentes proporções, com a finalidade de determinar qual será a melhor composição, para que seja realizado a produção de telhas. Foi realizada a caracterização física dos materiais argilosos e da borracha pela análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade. Na preparação dos corpos de provas, foram adicionados na argila percentuais de 0; 2,5; 5; 10; 20 e 40% do farelo de borracha. Os corpos de provas foram preparados por prensagem uniaxial de 16 MPa e posteriormente submetidos ao processo de queima em temperaturas de 900, 950 e 1000°C. Na caracterização dos corpos de provas foram avaliados as propriedades físicas e mecânicas, como retração linear, absorção de água e resistência à flexão dos corpos de provas queimados. Com base nos resultados, verificou-se que o farelo de borracha adicionado influenciou negativamente nas propriedades da argila, inviabilizando seu reaproveitamento na indústria de cerâmica vermelha. A partir do referencial teórico deste trabalho identificou-se o potencial da adição da borracha no concreto para a produção da telha de cimento, cujos experimentos ficam como sugestão de estudos futuros. Pois, investimentos e esforços de pesquisa se fazem necessários para uma destinação adequada a quantidade crescente de pneus descartados pós uso, minimizando os danos gerados à sociedade.

Palavras Chave: Argila; Borracha dos pneus; Telhas;

ABSTRACT

FIGUEIREDO, L. J. L. A. **Clayey Study Materials Rubber Adding Originating of Scrap Tires in Tiles Production.** 2016. Work of Civil Engineering Course Completion, Lutheran University Center Palmas - CEULP / ULBRA, Palmas, 2016.

This work aims to analyze the behavior of the clay material with the addition of rubber crumbs in different proportions, in order to determine what is the best composition to be performed the production of tiles. Physical characterization of clay materials and rubber by size analysis, liquid limit and plastic limit was performed. In the preparation of test bodies, they were added in percentages clay 0; 2.5; 5; 10; 20 and 40% of the rubber meal. The test samples were prepared by uniaxial pressure of 16 MPa and subsequently subjected to a firing process at temperatures of 900, 950 and 1000 ° C. In the characterization of the test bodies were evaluated the physical and mechanical properties, such as linear shrinkage, water absorption and flexural strength tests of bodies burned. Based on the results, it was found that the rubber meal added influenced negatively on clay properties, preventing its reuse in the clay industry. From the theoretical framework of this study identified the potential addition of rubber in concrete for the production of cement tile, whose experiments are as suggestions for future studies. For investments and research efforts are needed for a proper disposal the increasing amount of discarded tires after use, minimizing the damage caused to society.

Keywords: Clay; Rubber tires; Roof tiles;

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Etapas principais do processo de fabricação.....	21
Figura 2 - Estrutura de um pneu radial (veículo passeio).....	25
Figura 3 - Classificação granulométrica da argila.....	34
Figura 4 - Classificação granulométrica da borracha	34
Figura 5 - Gráfico Limite de liquidez.....	35
Figura 6 - Corpo de prova F5	36
Figura 7 - Corpos de prova F4	37
Figura 8 - Corpos de prova F3	37
Figura 9 - Corpos de prova F3	38
Figura 10 - Gráfico de retração linear.....	38
Figura 11 - Gráfico de perda de massa ao fogo	39
Figura 12 - Corpos de provas submersos na água	40
Figura 13 - Gráfico de absorção de água.....	41
Figura 14 - Ensaio de resistência a flexão	42
Figura 15 - Gráfico de resistência a flexão.....	42
Figura 16 - Corpos de provas antes da sinterização	44
Figura 17 - Corpos de provas após sinterização.....	44
Figura 18 - Copos de provas após ensaio de resistência a flexão	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição das massas argilosas com adição do farelo de borracha.....	31
Tabela 2 - Limite de liquidez.....	35
Tabela 3 - Limite de plasticidade.....	35
Tabela 4 - Índice de plasticidade.....	36
Tabela 5 - Margem de erro retração linear.....	39
Tabela 6 - Margem de erro perda de massa.....	40
Tabela 7 - Margem de erro absorção de água.....	41
Tabela 8 - Margem de erro resistência a flexão.....	43

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Índice de plasticidade.....	30
Equação 3 - Retração linear de queima	32
Equação 2 - Absorção de água.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpos de prova
IP	Índice de plasticidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
NBR	Norma Brasileira
µm	Micrômetro
UNCHE	United Nations Conference on the Human Environment
RL	Retração linear

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problema de Pesquisa	11
1.2	Hipótese	11
1.3	Objetivos	11
1.3.1	Objetivo Geral.....	11
1.3.2	Objetivos Específicos	11
1.4	JUSTIFICATIVA	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	SUSTENTABILIDADE	13
2.1.1	Resíduos da construção civil.....	13
2.1.2	Resíduos dos pneus.....	15
2.1.3	Social.....	16
2.1.4	Cultural.....	16
2.2	RESÍDUOS DOS PNEUS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.3	ARGILA	19
2.3.1	Composição química e propriedades das argilas	20
2.4	TELHA.....	21
2.4.1	Processo de fabricação	21
2.4.1	Extração da argila.....	22
2.4.2	Preparação da massa	22
2.4.3	Conformação da peça	22
2.4.4	Secagem	23
2.4.5	Queima.....	23
2.5	PNEU	24
2.5.1	Composição do pneu.....	24
2.5.2	Recauchutagem	26
2.5.3	Processos de trituração da borracha de pneus	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	Desenhos do Estudo	29
3.2	Objetos de Estudo	29
3.3	Localizações da execução do processo metodológico.....	29
3.4	Materiais.....	30

3.5	Beneficiamento da argila	30
3.6	Caracterização física dos materiais argilosos	30
3.6.1	Análise granulométrica	30
3.6.2	Limite de Liquidez.....	30
3.6.3	Limite de Plasticidade.....	30
3.7	Formulação e preparação dos corpos de prova	31
3.7.1	Sinterização.....	32
3.8	Caracterização dos copos de provas	32
3.8.1	Retração linear de queima	32
3.8.2	Absorção de água	32
3.8.3	Resistência a flexão	33
3.9	Tratamentos de dados.....	33
4	EXPERIMENTO E ANÁLISE	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
	APÊNDICES	53

1 INTRODUÇÃO

Na indústria automobilística, a invenção do pneu proporcionou, desde sua criação, a possibilidade de avanços tecnológicos e também de desempenho, economia e conforto à rodagem de veículos automotores, aviões, dentre outros. Mas, na contramão dessa solução vem à geração de resíduos, que tem trazido profundas preocupações ambientais (NAIME, SILVA 2010).

É notório que houve um aumento do uso da borracha para fabricação de pneus, que cresce em ritmo acelerado, devido as facilidades das pessoas adquirirem seu próprio meio de transporte. Assim aumentando a quantidade de resíduos quando descartados, no qual seu tempo de decomposição é indeterminado. Além de trazer danos à saúde da população e ao meio ambiente quando estes não têm destinação apropriadas.

Vem sendo estimulado o desenvolvimento de novos produtos para serem utilizados na área da construção verde, um meio importante para a reciclagem e sustentabilidade. Este projeto propõe o desenvolvimento de telhas de materiais argilosos com a adição da borracha proveniente dos pneus inservíveis, analisando a resistência mecânica e a absorção de água, visando o uso de recursos naturais disponíveis e reaproveitando a borracha.

As argilas são compostas normalmente por diferentes espécies mineralógicas que se misturaram durante o processo de formação. Devido a este fator, suas propriedades dependem da natureza dos minerais presentes, do seu estado de degradação e de suas proporções. Assim, caracterizar uma argila é conhecer a variabilidade de suas propriedades, utilizando-se de técnicas comuns, como as usadas para medir propriedades físicas e mecânicas (CUNHA, 2016).

A caracterização físico-química das matérias-primas é fundamental para a obtenção de peças com propriedades finais desejadas, que juntamente ao conhecimento e controle de todas as etapas do processo industrial, podem eliminar ou reduzir defeitos de fabricação, tais como: retração, compactação, absorção de água e resistência mecânica (CUNHA, 2016).

Neste contexto este estudo investiga qual proporção que deverá ser usada entre argila e a borracha, que irá oferecer melhor resistência, índice de absorção de água e tempo de queima ideal para a produção das telhas.

1.1 Problema de Pesquisa

Qual a composição ideal para possibilitar melhor desempenho de resistência e absorção de água da argila com adição de borracha para fabricação de telhas?

1.2 Hipótese

As hipóteses que norteiam este projeto de pesquisa são:

- A borracha irá aumentar a resistência da telha de argila.
- A absorção de água será menor, pois a borracha tende a preencher os vazios garantindo maior tenacidade na composição da argila.
- Uso do resíduo sólido derivado da borracha na fabricação da telha não compromete o processo de produção.

1.3 Objetivos

Para abordar o problema e testar as hipóteses estabelecidas foram traçados os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar experimentos laboratoriais para identificar a melhor composição de argila e farelo de borracha de pneus inservíveis que promova melhor resistência e absorção de água.

1.3.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar a destinação dada ao pneu usado em Palmas – TO;
- Determinar a proporção da composição entre a argila e o farelo da borracha para a produção do corpo de prova;
- Analisar os percentuais de cada material após a sinterização dos corpos de prova para avaliar a absorção de água neles contidos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os pneus inservíveis são resíduos que prejudicam o meio ambiente, além de ser um dos materiais que quando descartado de maneira incorreta contribui para a

proliferação do mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor da dengue, zika vírus e chikungunya. Doenças essas que está causando milhares de vítimas no nosso país.

Na Resolução do CONAMA nº 416/09 determina aos fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, a coletarem e destinarem adequadamente os pneus inservíveis existentes no território nacional. Além disso, estabelece a implementação de pontos de coleta de pneus inservíveis em todos os municípios com população superior a cem mil habitantes.

Já existem várias formas de reutilização no setor da construção civil desses pneus que não são mais úteis para serem utilizados nos meios de transporte. São usados em galerias de águas pluviais, como agregado em asfaltos, matéria prima para o concreto, como paredes e fabricação de telhas.

No estado do Tocantins (TO) a argila é uma matéria-prima abundante, tem um custo relativamente baixo, podendo encarecer devido o beneficiamento e processamento (CUNHA, 2016). Algumas tem ótima plasticidade, que contribui para a fabricação de telhas cerâmicas, permitindo com que estas adotem formas variadas, uma cobertura eficaz e agradável conforto térmico.

Do ponto de vista pessoal possibilita aplicar de forma prática os conceitos vistos em sala, comprovando-os em laboratório. Além disso, gera a satisfação de que o produto pode contribuir para reduzir os impactos ambientais e ainda ser um material a ser aplicado em construções sociais.

Afim de estabelecer mais uma destinação para os pneus velhos, este estudo propõe unir ambos materiais, argila e pneu, visando a alta resistência e o baixo índice de absorção de água. A produção da telha com a adição da borracha provenientes dos pneus descartados, ao ser usado nas construções verdes, oferecerá uma alternativa econômica e ecologicamente correta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE

A palavra sustentabilidade começou a ser propagada mundialmente a partir de junho de 1972, em Estocolmo, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano – UNCHE. Este primeiro encontro mundial foi promovido com o objetivo de discutir assuntos relacionados ao meio ambiente e soluções para a preservação da humanidade, onde o conceito de sustentabilidade passou a ganhar uma maior importância. A expressão sustentabilidade no Brasil, ganhou dimensões maiores no Rio de Janeiro, em 1992, após a realização da Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (BRASIL SUSTENTÁVEL, 2016).

Conforme o documento Agenda 21 (CNUMAD, 1996 apud RIBEIRO, SOUZA, 2012), sustentabilidade ambiental está relacionada a padrões de consumo e de produção sustentáveis e uma maior eficiência no uso de energia para reduzir, ao mínimo, as pressões ambientais, o esgotamento dos recursos naturais e a poluição. Os governos, em conjunto com setor privado e a sociedade, devem atuar para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados, por meio da reciclagem, nos processos industriais e na introdução de novos produtos ambientalmente saudáveis.

De acordo com a editora Abril Gráfica (2010) sustentabilidade é um conceito sistêmico, relacionado com a continuidade dos aspectos ambientais da sociedade humana, econômicos, sociais e culturais.

Xavier (2016) afirma que “a reciclagem de resíduos na construção civil se estabelece como algo importante para a sustentabilidade, podendo ter o propósito de diminuir o impacto ambiental e até mesmo o custo da construção”.

2.1.1 Resíduos da construção civil

Uma montanha diária de resíduos é produzida pelo entulho da construção, tornou-se um sério problema nas grandes cidades brasileiras. Desde de julho de 2004, de acordo com a resolução 307 do CONAMA, as prefeituras estão proibidas de receber os resíduos de construção e demolição no aterro sanitário. Cada

município dever ter um plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil (CORREA, 2009).

Conforme a Resolução 307 do CONAMA, resíduos da construção civil são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solo, rocha, madeira, forro, argamassa, gesso, telha, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulho de obra, caliça ou metralha.

As atividades desenvolvidas no setor da construção civil, praticamente todas são geradoras de entulho. A partir do processo construtivo, no qual o alto índice de perdas do setor é a principal causa para o aumento dos resíduos, incluindo as obras de reformas, em que a falta de uma cultura de redução, reutilização e reciclagem são as principais causas do entulho gerado pelas demolições durante o processo (CORREA, 2009).

Uma maneira para se tentar diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil é utilizar a construção sustentável.

“A construção sustentável tem objetivo de obter materiais renováveis, naturais e até mesmo disponíveis no local onde será executado, zelando o uso eficiente dos recursos e explorando todo seu potencial com isso garantindo melhor condições de vida para famílias futuras.” (XAVIER, 2016, p. 9)

A construção sustentável está ligada a um modelo onde soluciona os principais problemas ambientais, sem interferir nas tecnologias e nas necessidades dos moradores. Quanto mais sustentável maior a responsabilidade, pois o sistema construtivo antes de começar a ser executado deverá ser realizado um planejamento para prever todos os impactos que pode ser gerado antes, durante e depois do fim da vida útil da construção. O sistema deverá receber as necessidades de edificações, habitação e o uso moderno, preservando sempre o meio ambiente e os recursos naturais (ARAÚJO, 2008).

A importância da construção sustentável é “na prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso dos resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte. Portanto, devem ser tomadas medidas que transformem as correntes de resíduos em recursos reutilizáveis” (VÁQUEZ, 2001 *apud* XAVIER, 2016, p. 17)

2.1.2 Resíduos dos pneus

Specht (2004) afirma que o pneu possui papel importante e inquestionável na vida diária das pessoas, tanto no transporte de passageiros como no transporte de cargas. Esse papel torna-se ainda mais fundamental nos países em desenvolvimento, onde o transporte de bens é feito em sua grande maioria por caminhões e carretas.

O pneu tornou-se um artefato essencial e relevante na sociedade moderna, por agilizar, dar comodidade e segurança no transporte de cargas e passageiros, por isso nas últimas décadas a demanda mundial vem crescendo vertiginosamente (ANDRADE, 2007).

No mundo inteiro, os pneus estão sendo descartados formando verdadeiras montanhas de lixo, com iminente ameaça de combustão que pode liberar gases tóxicos para a atmosfera. No Brasil esse volume tem aumentado gerando um descarte ambiental que vem se tornando intolerável (NAIME, SILVA 2010).

O Brasil por se tratar de um país em que o transporte rodoviário é o modal predominante mais utilizado, contribui para o aumento na quantidade da produção dos pneus que futuramente serão descartados.

“A quantidade de resíduos sólidos provenientes da indústria de borracha e do descarte de pneumáticos têm incentivado vários estudos acerca da reutilização e reciclagem deste material, motivados, principalmente, pelo grande volume gerado e seu longo período de degradação (400 a 800 anos). Várias tentativas de reciclagem têm sido testadas: confecção de tapetes e artefatos de borracha, estabilização de encostas, controle de erosão com mantas de pneus, utilização como combustível etc. Entretanto, com o grande volume de material produzido, principalmente em países onde o transporte rodoviário é predominante, os pesquisadores têm vislumbrado como alternativa atrativa à utilização de pneu moído” (SPECHT, 2004, p. 27).

Os pneus inservíveis se tornaram um sério problema ambiental, devido à significativa quantidade gerada no mundo. Sendo assim, com a necessidade de reduzir o passivo ambiental representado pelo estoque de pneus descartados, medidas mitigadoras dos impactos ambientais negativos estão sendo avaliadas e incentivadas (BORTOLETTO, 2010).

As destinações finais dos pneus de forma incorreta causam problemas ambientais gravíssimas para o meio ambiente. Isso ocorre porque é produzida grande quantidade e quando chega o final da vida útil do material são depositados

em lugares inadequados correndo risco de incêndios, proliferação de mosquitos e roedores. (GUERRA, et al. 2010 *apoud* Xavier, 2016).

Morais e Günther (2002) reforçam que,

“Os pneus inservíveis quando descartados em pilhas, tornam-se locais ideais como criadouro de insetos, diversos vetores de transmissão de doenças, entre eles o *Aedes aegypti*, mosquito transmissor da dengue, doença que se encontra largamente disseminada no Brasil. Além disso, oferecem grande risco de incêndio, pois queimam com muita facilidade, produzindo fumaça negra, altamente poluidora pela diversidade de compostos que são liberados na combustão.”

Durante o primeiro trimestre do ano de 2015 foi coletado e destinado de forma ambientalmente correta mais de 114,5 mil toneladas de pneus inservíveis, um aumento de 10% em relação ao ano de 2014 quando o número foi de 109 mil toneladas. Esta quantia equivale a 22,9 milhões de unidades de pneus de carros de passeio retirados das ruas, estradas e rios das 27 capitais brasileiras (RECICLANIP, 2015).

2.1.3 Social

No estado do Tocantins a indústria cerâmica tem considerável importância na economia, atualmente há centenas indústrias cerâmicas no estado, da qual uma dezena incorpora níveis de tecnologia e gestão comparáveis às regiões mais desenvolvidas do país. Impulsiona tal cenário a abundância de argilas cerâmicas nas várzeas fluviais da Bacia Hidrográfica Araguaia-Tocantins. Seus produtos, quase a totalidade, são blocos de vedação e telhas, sendo incipientes, ainda, produtos mais elaborados e o emprego de matérias-primas alternativas (SETTI, et al., 2012).

Por outro lado, quase metade de seu território é coberto por rochas sedimentares brandas, algumas com características adequadas como material cerâmico e que, via de regra, demandam equipamentos convencionais para seu desmonte e processamento. Apesar disso, o setor cerâmico ainda não atingiu um nível de desenvolvimento compatível com a disponibilidade de matéria-prima devido essencialmente, ao baixo grau de conhecimento da mesma (SETTI, et al., 2012).

2.1.4 Cultural

Quando se fala de materiais para construção sustentável, logo imagina-se em resíduos. A uma grande diferença entre lixo e resíduos sólidos. O lixo é a mistura dos restos de alimentos, embalagem e objetos não utilizados, esses materiais

considerados como lixos tem o destino ambientalmente adequado que é chamado de aterro sanitário. Resíduos Sólidos são materiais que não são mais utilizados e disponibilizados separadamente para a coleta seletiva que se tornam materiais reaproveitados ou recicláveis. Não se pode chamar de lixo todos os materiais que sobram no processo de produção ou de consumo, segundo estudos realizados 90% dos resíduos urbanos são passíveis de aproveitamento (GRIMBERG; 2007).

De acordo com o CONAMA, resolução nº 307 (2002), os resíduos sólidos são classificados em classe A onde são resíduos reutilizáveis ou reciclados como agregados; classe B resíduos recicláveis para outras destinações como plásticos, papel, papelão, metais e gessos; classe D são resíduos perigosos, aqueles que são contaminantes, tais como: tintas, solventes, materiais oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, entre outros.

Os pneus descartados se classificam em classe A, portanto podem ser reaproveitados, e sua disposição final no mundo é uma questão preocupante, pois ela depende de um empenho muito grande por parte da sociedade para tentar solucioná-la, não deve ser considerada uma tarefa a ser resolvida apenas pelo poder público, deve haver uma conscientização com o engajamento de toda população (ANDRADE, 2007).

A falta de conhecimento do ser humano em relação à sustentabilidade e ao que isto implica, pode ter consequências catastróficas. Nos dias de hoje é preciso que cada indivíduo tenha a consciência de que é necessário se preocupar e cuidar do meio ambiente no qual se vive. E para isto, é preciso estar atento a cada atitude e repensar a forma como se vive dentro deste ambiente. A continuação e sobrevivência da raça humana está totalmente dependente da conservação dos recursos naturais de nossas matas, florestas, rios, lagos e oceanos (BRASIL SUSTENTÁVEL, 2016).

De acordo com Filho e Ferreira (1995 *apud* CALDAS, 2012), a reciclagem é uma forma muito atrativa de gerenciamento de resíduos, com diversas vantagens ambientais. Ajuda a poupar valioso espaço do aterro sanitário, reduz sensivelmente o consumo de energia e contribui para a economia aos recursos naturais e bem-estar da comunidade.

2.2 RESÍDUOS DOS PNEUS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A norma prática para o uso de pneus inservíveis em aplicações na engenharia civil foi aprovado em 1998 (ASTM D 6270-98), podem ser usados nas obras de construções civil pneus inteiros ou processados no lugar de materiais convencionais. Nos Estados Unidos, as aplicações na engenharia civil aumentou de 500 mil pneus/ano para 40 milhões pneus/ano nos últimos 10 anos (RMA, 2002 *apud* KAMIMURA,2002).

Conforme Kamimura (2002),

“A utilização de resíduos de pneus, como material de construção é uma maneira de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventualmente reduções de preço que gera benefícios sociais adicionais através da política habitacional. Esta situação pode ser favorecida pela adoção de medidas de incentivo específicas para a produção de habitações de baixa renda, com o intuito de resolver o problema de déficit habitacional.”

A borracha dos pneus moída vem sendo pesquisada e utilizada em materiais na construção civil com sucesso e a preços competitivos, quando comparado com fibras poliméricas de polipropileno e fibras de aço para aumentar resistência à flexão em matriz de cimento (SEGRE, 1999 *apud* KAMIMURA,2002).

Na Engenharia Civil, os pneus podem ser usados em sua forma inteira ou em partes, as aplicações mais usuais são como material de enchimento, pavimentação, drenagem, aterro, no controle de erosão, barragens, isolante térmico e acústico, concretos leves, entre outros (KAMIMURA, 2002).

Segundo pesquisa da Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo (USP) realizada recentemente a borracha moída de pneus descartados pode ser utilizada no concreto, garantindo um aumento de tenacidade e capacidade de deformação, podendo ser utilizada futuramente em locais que necessitem de maior absorção de impacto como na construção de calçadas, de pavimento para veículos pesados e em regiões arborizadas, evitando quebras ocasionadas pelas raízes das árvores.

O uso da borracha de pneus inservíveis é usado em larga escala em misturas asfálticas melhorando o desempenho e a durabilidade do pavimento. Fragmentos de pneus podem ser usados também para substituir as pedras britadas no sistema de drenagem dos aterros sanitários, garantindo a permeabilidade e capacidade de armazenagem, além de ter um peso menor, o que é uma vantagem em relação ao custo do transporte (Snyder, 1998).

Os pneus na sua forma inteira podem ser utilizados como muro de contenção, barragens e no controle da erosão do solo sendo uma alternativa técnica e economicamente viável.

A técnica de construção de casas sustentáveis, utilizando pneus e solos prensados na confecção das paredes que são assentados diretamente no solo (sem vegetação), apresenta importantes vantagens: evita a contaminação do ambiente, não afeta a saúde pública, apresenta baixa liberação de carbono, alta massa térmica, estruturalmente forte e flexível e baixo custo (KAMIMURA, 2002).

2.3 ARGILA

Segundo Grim (1953 *apud* CALDAS, 2012),

“A argila é um material terroso de granulometria fina que quando em contato com a água apresenta certa plasticidade. As argilas são constituídas essencialmente por pequenas partículas cristalinas conhecidas por argilominerais (silicatos hidratados de alumínio e ferro). Além dos argilominerais é possível encontrar nas argilas impurezas de grãos de quartzo, mica, feldspato e outros minerais, sais solúveis e matéria orgânica. Os argilominerais são compostos quimicamente por silicatos hidratados de alumínio e ferro, podendo ainda conter teor de elementos alcalinos e alcalinos terrosos. As propriedades dos argilominerais variam de acordo com sua composição e estrutura, devido a isto são divididos por grupos como, caulinita, esmectita, clorita, illita e paligorskita.”

De acordo com Vásquez (2005) graças aos argilominerais, as argilas na presença de água desenvolvem suas propriedades de plasticidade, porosidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas que explicam sua grande variedade de aplicações tecnológicas.

A argila tem um papel fundamental na história da humanidade. Na pré-história o homem começou a observar que estes materiais levados ao fogo se modificavam e sua resistência ficava maior. As primeiras civilizações começaram a aperfeiçoar sua produção e melhorar suas propriedades através de métodos empíricos, povos como chineses, mesopotâmicos iniciaram processamentos simples e rústicos para obtenção de peças e artefatos provenientes da argila. O desenvolvimento tecnológico atual tem promovido um avanço significativo na caracterização das matérias primas da argila (CUNHA, 2016).

2.3.1 Composição química e propriedades das argilas

A importância de se conhecer a composição química de uma argila é devido ao seu comportamento tecnológico, visto que esta depende dos minerais constituintes (CALDAS, 2012). A composição química de uma argila varia de acordo com a jazida, com o local onde é retirada, da formação geológica do terreno, da era de formação e da influência hidrotermal exercida sobre o material (Bitencourt, 2004).

Caldas (2012) afirma que a análise química de uma argila mostra que são constituídas de silício, alumínio e água, e, frequentemente por quantidades apreciáveis de ferro e de materiais alcalinos e alcalinos terrosos.

Conforme Vásquez (2005), a cor vermelha que caracteriza os produtos após o processo de queima da argila, se deve aos altos teores de óxido ou hidróxidos de ferro liberados durante a queima. Quanto mais homogênea for a sua distribuição, mais uniforme será a cor do produto. No qual os principais produtos fabricados por este setor, são destinados preferencialmente à construção civil: tijolos maciços e furados (em diversos tamanhos), telhas de diversos modelos, blocos cerâmicos de vedação e estruturais, lajes para forro e piso, elementos vazados e lajotas para piso.

As argilas são os principais constituintes para a fabricação de peças cerâmicas, assim faz-se necessário o conhecimento de suas principais propriedades para obtenção de uma massa cerâmica adequada para o processo de produção. Dentre as quais destacam-se, conforme citado por Caldas (2012):

- Plasticidade: propriedade adquirida por argilas quando misturadas a água, podendo ser moldada sem ruptura e sem variação de volume.
- Granulometria: característica importante das argilas por influenciar em suas propriedades. Os minerais que constituem as argilas apresentam tamanho de partícula inferior a 2 μm (diâmetro esférico equivalente).
- Retração: a retração nas peças cerâmicas pode ocorrer em duas etapas, na etapa de secagem e queima. Durante a secagem a retração aumenta em virtude da aproximação das partículas sólidas devido à eliminação das águas higroscópica e de constituição. Durante a queima a retração depende dos minerais presentes na argila, por exemplo, uma argila rica em fundentes acarretará na retração da peça durante a queima, devido ao início da fusão e preenchimento dos vazios.

2.4 TELHA

A telha cerâmica surgiu independentemente em duas partes do mundo: na China, por volta de 10.000 A.C. e no oriente médio pouco tempo depois. Sua utilização espalhou-se pela Europa e Ásia, persistindo até os dias atuais, sendo também levada à América através dos colonizadores europeus, onde foi largamente utilizada desde o século XVII (GRIMMER; WILLIANS, 2002 *apud* BASTOS, 2003).

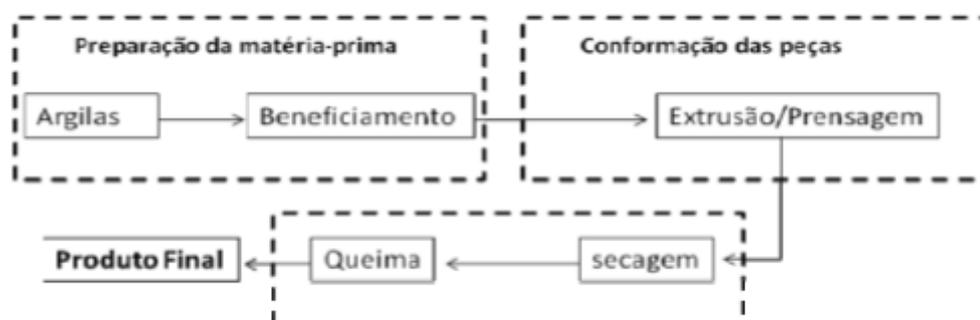
O uso de telhas cerâmicas no Brasil ocorre desde o descobrimento, inicialmente as telhas eram conformadas manualmente com mão de obra escrava, onde estas as moldavam nas suas pernas. Tal registro pode ser constatado através de antigas peças que apresentam a forma da estrutura óssea humana (ANICER, 2000 *apud* BASTOS, 2003).

O processo de fabricação das telhas cerâmicas consiste nas etapas de: preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. Cujas as propriedades devem atender as normas NBR 15310/09 e NBR 8039/83 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016).

2.4.1 Processo de fabricação

Conforme Caldas (2012) o processo para produção de peças, com ênfase em telhas e tijolos, é composto basicamente por 4 etapas: preparação da massa, conformação das peças, secagem e queima, que podem ser visualizadas na Figura1.

Figura 1 - Etapas principais do processo de fabricação.



Fonte: Caldas (2012)

2.4.1 Extração da argila

Grande parte das matérias-primas utilizadas na indústria cerâmica tradicional é natural, encontrando-se em depósitos espalhados na crosta terrestre. Após a mineração, os materiais devem ser beneficiados, isto é, desagregados ou moídos, classificados de acordo com a granulometria e muitas vezes também purificadas. O processo de fabricação, propriamente dito, tem início somente após essas operações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016).

O plano de extração normalmente prevê a remoção de estéreis, isto é, a vegetação, o solo arável e outros materiais maléficis ao processo, além disso a argila é separada em montes em função das diferentes camadas encontradas no solo. No Brasil a extração é realizada a céu aberto e geralmente as empresas possuem suas próprias jazidas, é feita através de retroescavadeiras e escavadeiras e o transporte da jazida para a fábrica é realizado através de caminhões basculantes (BASTOS, 2003).

2.4.2 Preparação da massa

Após a argila, ser retirada de seus depósitos e beneficiada, então é feito um tratamento de dosagem do material argiloso e dos aditivos, levando em consideração a técnica de fabricação que será aplicada (TESKE, 2014).

O preparo da massa consiste da formulação e mistura das matérias-primas, sendo a formulação de forma empírica, busca-se uma condição de massa próxima a ideal, que atenda características determinadas para uma boa moldagem, secagem e queima, proporcionando assim um produto final de melhor qualidade. A composição ideal requer plasticidade e fusibilidade, para propiciar boa trabalhabilidade e resistência mecânica de queima (CALDAS, 2012).

2.4.3 Conformação da peça

Na fabricação de telha, os principais processos utilizados são a extrusão e prensagem. A extrusão consiste em forçar a massa passar, sob pressão, através de um bocal apropriado. Na produção de telhas, são extrudados bastões ou placas, que a seguir são prensados em moldes com o formato apropriado, dependendo do tipo de telha desejado (BASTOS, 2003).

Para se obter uma massa adequada para o processo de extrusão é necessário que esta seja dosada utilizando matérias-primas não plásticas e plásticas, o que ocasiona um ajuste de plasticidade da mistura às condições adequadas de processamento (Meira, 2001 *apud* CALDAS, 2012).

O método por prensagem, em que diversos tipos de prensas podem ser utilizados, é considerada uma massa mais seca que é colocada em um molde de borracha ou outro material polimérico, e em seguida é fechado hermeticamente e uma pressão é aplicada por igual no molde (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016).

2.4.4 Secagem

A secagem é uma operação importante, em que a água utilizada na conformação é eliminada de maneira lenta e uniforme, a fim de evitar possíveis defeitos na peça como trincas, empenamentos ou quebra (NORTON, 1973 *apud* CALDAS, 2012).

A telha cerâmica é inserida em secadores com a temperatura entre 50°C e 150°C, para eliminar sua água de forma lenta e gradual (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016). Após a secagem, o produto deve ter resistência suficiente para possibilitar a sua manipulação até o processo de queima (SOARES et al., 2004 *apud* CALDAS, 2012).

2.4.5 Queima

A queima é a etapa mais importante de todo processo produtivo, pois é durante essa etapa que os produtos adquirem suas propriedades finais, através das transformações físicas, químicas e mecânicas causadas pela ação do fogo (CALDAS, 2012).

A queima é feita em fornos contínuos ou intermitentes, em temperaturas entre 800°C e 1700°C, em que primeiramente é aquecido da temperatura ambiente até a desejada, então é mantida por algum tempo nesta temperatura e depois é resfriada até aproximadamente 200°C (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2016).

2.5 PNEU

O pneu é um dos ingredientes chaves para esta pesquisa e como tal foram pesquisados desde a sua composição, os processos de recauchutagem para aumentar o seu tempo de vida e as formas para triturar este composto.

2.5.1 Composição do pneu

Atualmente além da borracha sintética, os pneus têm vários componentes, por ser um produto que tem como objetivo um longo tempo de vida útil, pois são “projetados e fabricados para durar em situações físicas, químicas e térmicas extremas, [...] apresenta uma estrutura complexa, com o objetivo de atribuir-lhes as características necessárias ao seu desempenho e segurança, confeccionado para serem indestrutíveis” (KAMIMURA, 2002).

A quantidade de produtos incorporados na confecção de um pneu acontece em função de sua estrutura, uma vez que este artefato é composto por várias partes: banda de rodagem, cintas de aço, talão, carcaça de lona, parede lateral ou flanco (LACERDA, 2001).

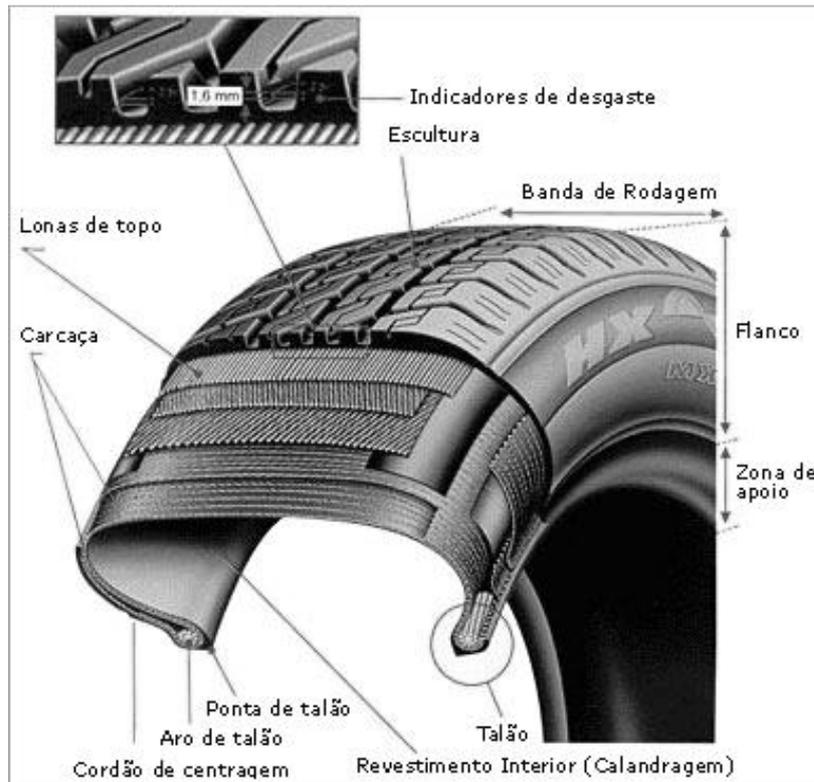
Naime e Silva (2010) definem a estrutura construtiva do pneu como sendo,

“Basicamente feita com uma mistura de borracha natural e de elastômeros, denominados também de “borrachas sintéticas”. Adicionando-se negro de fumo confere-se à borracha propriedades de resistência mecânica e à ação dos raios ultravioleta, durabilidade e desempenho. A mistura é adicionada em um molde, vulcanizada a um intervalo de temperatura entre 120-160°C com adição de enxofre, compostos de zinco como aceleradores, para a cura da mistura e outros compostos ativadores e antioxidantes. Um conjunto de arames de aço é embutido à lateral do pneu, que se ajusta ao aro da roda. Uma manta de tecido de nylon reforça a carcaça, e a mistura de borracha e elastômeros é moldada com a malha de arame de aço entrelaçada nas camadas superiores.”

Os pneus podem ser classificados de acordo com sua carcaça em dois grupos: radiais e convencionais (ou diagonais). Grande parte dos pneus utilizados em carros e caminhões são os radiais porque “aliado aos reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem oferecem maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade que os convencionais” (BNDES, 1998, p. 3 *apud* ANDRADE, 2007). Em função disso, mesmo com um custo superior ao tradicional, os pneus radiais representam 97% da produção mundial de pneus de passeio, e 45% de participação na produção de pneus de caminhões e ônibus (ANDRADE, 2007).

Na Figura 2, conforme o corte feito no pneu, pode-se notar mais precisamente todas as partes que compõem um pneu radial de veículo de passeio (LACERDA, 2001).

Figura 2 - Estrutura de um pneu radial (veículo passeio).



Fonte: Andrade (2007)

- Carcaça: é a parte resistente do pneu, constituída de lona (s) de poliamida, poliéster ou aço. Retém o ar sob pressão que suporta o peso total do veículo.
- Cintas de aço: Nos pneus radiais, as cintas complementam a resistência funcionando como estabilizadores na carcaça.
- Talões: são constituídos internamente de arames de aço de grande resistência e têm por finalidade manter o pneu acoplado ao aro.
- Banda de rodagem: é a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. Formada por um composto especial de borracha que oferece grande resistência ao desgaste. Seus desenhos constituídos por partes cheias (biscoitos) e vazias (sulcos), oferecem desempenho e segurança ao veículo.
- Flancos: protegem a carcaça de lonas. São dotados de uma mistura especial de borracha com alto grau de flexibilidade.

2.5.2 Recauchutagem

De acordo com Andrade (2007) recauchutagem é a reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem e dos ombros, em que consiste na remoção da banda de rodagem desgastada da carcaça do pneu para que através de um novo processo de vulcanização se coloque uma nova banda de rodagem.

A recauchutagem é a forma mais natural de utilização da carcaça do pneu, em que ocorre de levar o pneu a uma condição de pneu novo, para que possa ser utilizado novamente como material rodante. O pneu pode ser recauchutado, aproximadamente, três vezes, dependendo do estado de conservação da carcaça (SPECHT, 2004).

Esta técnica permite seguindo as recomendações das normas para atividade, aumentar a vida útil do pneu em 100% e proporcionando uma economia cerca de 80% de energia e matéria-prima em relação à produção de pneus novos (AMBIENTE BRASIL, 2001).

Segundo Specht (2004) durante o processo de recauchutagem a borracha da banda de rodagem deve ser toda removida, o que é feito através de escovas metálicas rotativas, gerando um pó de borracha denominado de raspas e nesta pesquisa como farelo.

É importante ressaltar que o pneu para ser recauchutado deve apresentar requisitos tais como: ausência de cortes e deformações e que a banda de rodagem não esteja totalmente desgastada, que ainda apresente os sulcos responsáveis pela aderência do pneu ao solo (GERALDO apud KAMIMURA, 2002).

Ferrer (1997 *apud* KAMIMURA, 2002) descreve as duas tecnologias de recauchutagem - o processo de vulcanização com molde e o processo de pré-vulcanização. Eles diferem na sequência de operações, a aplicação da banda de rodagem pode ocorrer antes ou depois. A maior parte dos recauchutadores e fabricantes de pneus envolvidos no negócio preferem o processo de vulcanização com molde. Neste processo, todo o pneu é aquecido enquanto uma câmara aquecida aplica e vulcaniza a banda de rodagem. A recauchutagem constitui-se de sete etapas, conforme segue:

- Pré-inspeção: numa inspeção inicial são escolhidos os pneus descartados com melhor potencial para a recauchutagem. O objetivo é escolher os pneus com menor custo de recauchutagem e maior expectativa de duração da carcaça. É um processo onde a padronização é difícil e que afeta diretamente na lucratividade da empresa.
- Retirada da banda de rodagem: o restante da banda desgastada do pneu é raspado num equipamento semelhante a um torno. É um processo que requer o estabelecimento de limites para cada tipo e tamanho de pneu para que seja retirada a correta quantidade de borracha. Um pneu de passeio gera aproximadamente 0.8 kg de borracha fragmentada, que pode ser vendida para a indústria de borracha.
- Preparação da carcaça: reparam-se todos os danos que permaneceram após a retirada da banda de rodagem. Um operador pode rejeitar um pneu nesta etapa, caso sua estrutura esteja muito danificada.
- Aplicação da banda de rodagem: há dois processos diferentes. No processo de vulcanização com molde, a banda de rodagem é aplicada no pneu da mesma forma que na manufatura original. No processo de pré-vulcanização, a banda é moldada e vulcanizada antes de ser aplicada no pneu.
- Vulcanização: é o processo que garante a união da carcaça com a nova banda de rodagem e que provê dureza e resistência à abrasão requerida da nova banda. No processo de vulcanização com molde, é neste estágio que a superfície do pneu é conformada (constituída de partes cheias e vazias) e que ocorre a vulcanização da banda de rodagem. O molde é aquecido a uma temperatura e pelo tempo necessário para que a vulcanização ocorra. No processo de pré-vulcanização, uma banda vulcanizada com sua superfície já feita é aplicada. Portanto, neste processo apenas garante-se a completa vulcanização entre a nova banda e a carcaça.
- Inspeção e acabamento: o inspetor então observa os defeitos ocorridos no processo de recauchutagem e, se o pneu atende aos requerimentos de segurança, vai para o processo de acabamento. O excesso de borracha é retirado e a lateral do pneu é pintada e etiquetada para dar uma aparência de pneu novo.

- Testes externos: laboratórios especializados dão suporte à indústria de recauchutagem. Um dos maiores objetivos é melhorar as condições de recauchutagem. Alguns destes testes são: testes de adesão, determinação da taxa de vulcanização, análise de falha, análise da banda de borracha, análise da seção reparada.

2.5.3 Processos de trituração da borracha de pneus

A trituração da borracha de pneus pode ser realizada através do processo mecânico ou processo criogênico, além de serem alternativas a mais para a reciclagem de pneus descartados.

O processo mecânico a trituração ocorre em temperatura ambiente, onde as partículas de borracha passam por vários estágios de trituração, diminuindo progressivamente de tamanho. O aço contido na borracha é retirado por eletroímãs, e as fibras da lona são retiradas através de um peneiramento (KAMIMURA, 2002). Este processo é preferido pelas empresas pelo custo reduzido, por ter um investimento inicial menor, por ser mais simples e flexível se comparado ao criogênico, além da borracha deste processo ter características físicas superiores (SALINI, 2000, p. 17 *apud* KAMIMURA, 2002).

O processo criogênico os pneus são congelados em temperaturas abaixo de 87° C, com isso a borracha do pneu torna-se muito frágil, ela é passada pelos chamados moinhos de martelo que reduzem as partículas a tamanhos finos (usado para enchimento de campos desportivos com grama sintética) ou superfinos (utilizado para fabricar os betumes das misturas das estradas). Porém existem algumas restrições em relação a este processo, apesar de ter um consumo menor de energia, ele depende do grande consumo de gases criogênicos (nitrogênio líquido), além de necessitarem de maquinários importados dos Estados Unidos, que tem um custo bastante elevado. Além disso, o granulado de borracha gerado tem qualidade inferior daquele produzido através do processo mecânico (SALINI, 2000, p.16 *apud* KAMIMURA, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Desenhos do Estudo

Está pesquisa teve como finalidade testar materiais argilosos com adição de farelo de borracha, reutilizados de pneus descartados ou recauchutados para produção de telhas. De natureza quantitativa, segundo Oliveira (2001, p. 115) “significa quantificar opiniões, dados, resultados, nas fórmulas de coletas de informações assim como também com o emprego de recursos e técnicas estatísticas [...]”.

Se tratando do objetivo metodológico a pesquisa se caracterizou em explicativa, de acordo com Rodrigues (2007) uma pesquisa explicativa é quando identifica os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, é o tipo que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

Teve como procedimentos metodológicos uma pesquisa bibliográfica e experimental. “A pesquisa bibliográfica é a atividade de localização e consulta de fontes diversas de informações escritas, para coletar dados gerais ou específicos a respeito de determinado tema” (CARVALHO, 1997, p. 100). A investigação é experimental, pois adota critérios de manipulação de uma ou mais variáveis independentes, causas, sob adequado controle, a fim de se observar e interpretar as modificações e reações ocorridas no objeto de pesquisa (efeito-variável dependente) (BARROS, LEHFELD, 1986).

3.2 Objetos de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho foi analisar o comportamento do material argiloso com adição dos farelos de borracha em diferentes proporções, com a finalidade de determinar qual era a melhor composição para que fosse realizado a produção de telhas.

3.3 Localizações da execução do processo metodológico

O local em que foi realizado os procedimentos metodológico é na cidade de Palmas/TO, especificamente a produção dos experimentos dos corpos de prova e análises foram realizados nos laboratórios do CEULP/ULBRA.

3.4 Materiais

Foi utilizado como matéria-prima para o desenvolvimento deste trabalho uma massa argilosa proveniente da pilha de estoque de uma indústria cerâmica localizada em Pequizeiro - TO, no qual a mesma tinha finalidade para produção de matérias cerâmicas. O farelo da borracha derivado da recauchutagem de pneus realizado em uma empresa especializada nesta área localizada em Palmas – TO.

3.5 Beneficiamento da argila

Após coleta, a argila foi seca em estufa de laboratório a 110°C durante 24 horas, e posteriormente foi desagregada manualmente com almofariz e pistilo de porcelana até passagem completa em peneira de 50 mesh (0,3 mm).

3.6 Caracterização física dos materiais argilosos

3.6.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica dos materiais argilosos foi obtida a partir de um método combinado de peneiramento e sedimentação por gravimetria, de acordo com a norma técnica ABNT NBR-7181 (ABNT, 1984a).

3.6.2 Limite de Liquidez

A análise do limite de liquidez (LL) determina o teor de umidade pelo aparelho de Casagrande, conforme a norma ABNT NBR-6459. O aparelho é constituído por uma concha metálica unida a uma manivela que a move, fazendo-a cair sobre uma base sólida um certo número de vezes, até o fechamento de 1 cm da ranhura padrão, feita previamente no solo colocado na concha. O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade em que a ranhura se fecha com 25 golpes.

3.6.3 Limite de Plasticidade

O limite de plasticidade (LP), de acordo com a norma ABNT NBR-7180 determina o teor de umidade necessário e suficiente para rolar uma porção do solo umedecido sobre uma placa de vidro até formar um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 cm a 15 cm de comprimento. A diferença entre o limite de liquidez e de plasticidade determina o índice de plasticidade (IP),

$$IP (\%) = LL - LP$$

Onde IP, LL, LP representam o índice de plasticidade, limite de liquidez e limite de plasticidade respectivamente.

Segundo Jenkins (*apud* ALMEIDA, 2005), as argilas são classificadas a partir do valor de IP:

Não plástica: $IP = 0$

Fracamente plásticas: $1 < IP < 7$

Medianamente plásticas: $7 < IP < 15$

Altamente plásticas: $IP > 15$

3.7 Formulação e preparação dos corpos de prova

A massa argilosa foi preparada juntamente com as adições do farelo de borracha, cujas proporções são dadas na Tabela 1. Para a produção dos corpos de prova foi considerado peso de 10g e umedecidas com 10% de água em peso da massa total.

Para garantir a confiabilidade dos resultados, foram realizados 5 repetições para cada composição da adição e temperaturas de queima, totalizando o preparo de 90 corpos de prova por prensagem uniaxial em prensa hidráulica, em uma pressão de compactação cerca de 16 MPa. Foi utilizado um êmbolo de forma retangular (60 x 20 mm) para a moldagem dos CP. Após a compactação as peças cerâmicas foram submetidas à secagem em estufa a 110 °C por 24 h para retirada da umidade.

Tabela 1- Composição das massas argilosas com adição do farelo de borracha.

FORMULAÇÃO	MASSA ARGILOSA (%)	FARELO DE BORRACHA (%)
F0	100	0
F1	97,5	2,5
F2	95	5
F3	90	10
F4	80	20
F5	60	40

3.7.1 Sinterização

Após a etapa de secagem os corpos de prova foram pesados com uma balança (precisão de $\pm 0,01\text{g}$) e medidos com o auxílio de um paquímetro digital (resolução LR $\pm 0,01\text{mm}$), posteriormente passaram pelo processo da rampa de aquecimento, em que foi realizada a temperatura de queima com uma velocidade de $5,0^\circ\text{C}/\text{min}$, nesse procedimento, a cada 20 minutos a temperatura foi aumentada 100°C . Quando os corpos de provas foram colocados para tal procedimento, a mufla já estava com a temperatura inicial de 100°C , a partir desse ponto, que a rampa foi realizada. As temperaturas de queima foram de 900°C , 950°C , 1000°C , após atingirem essas temperaturas, os CP foram mantidos a temperatura final com um tempo de 2 horas.

3.8 Caracterização dos copos de provas

3.8.1 Retração linear de queima

A retração linear das peças queimadas (RL) foi determinada com o auxílio de um paquímetro digital (resolução LR $\pm 0,01\text{ mm}$), conforme com a norma ABNT MB-305 (1987), conforme citado por Caldas (2012) através da seguinte expressão:

Equação 2 - Retração linear de queima

$$RLf(\%) = \frac{(Li - Lf)}{Li} \times 100$$

Onde, Li e Lf representam a medida do comprimento do corpo de prova após a secagem e a medida do comprimento do corpo de prova após a queima respectivamente, expressos em mm

3.8.2 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma NBR 15310 (2009). Os corpos de provas foram pesados, e em seguida colocados em recipiente com água e mantidos em água fervente por 2 horas, e resfriados submersos em água. Em seguida foi retirada a água superficial de cada peça, registrando-se a massa. O limite máximo admissível de absorção de água para telhas é 20%. A absorção de água (AA) será calculada de acordo com a seguinte expressão:

Equação 3 - Absorção de água

$$AA(\%) = \frac{(mu - ms)}{ms} \times 100$$

Onde, *mu* e *ms* representam a massa úmida e seca de cada corpo de prova respectivamente, expresso em gramas.

3.8.3 Resistência a flexão

Foram realizados ensaios de flexão nos corpos de prova no equipamento EMIC universal, onde foi aplicada uma força em um ponto central no CP que estava apoiado em duas barras nas extremidades da peça. Inicialmente essa carga foi zero e seu valor foi aumentado com o tempo, até que ocorreu a ruptura do corpo de prova.

3.9 Tratamentos de dados

O estudo utilizado foi por meio do método experimental, pois consiste a variação de apenas uma causa que tem influência sobre o fenômeno em questão, e manter constantes as demais causas (CRESPO, 1999).

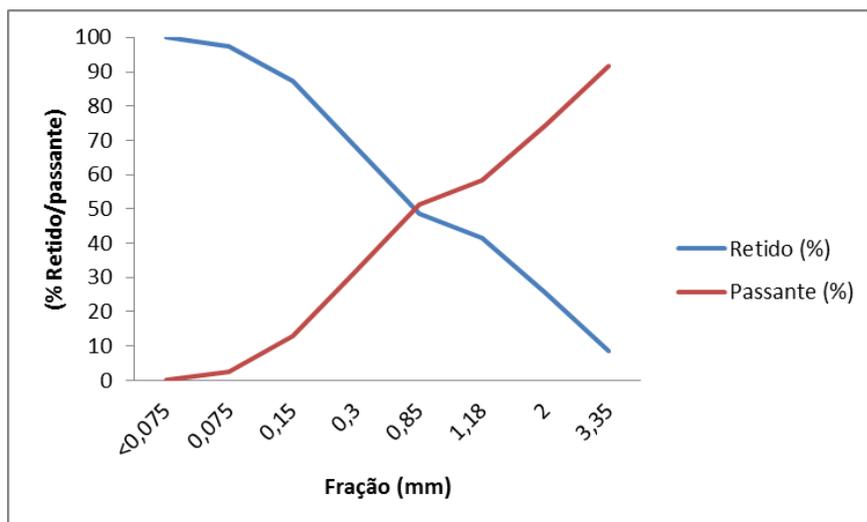
Após a obtenção dos dados, foram elaboradas tabelas e gráficos utilizando planilhas do Excel, e também foram construídos modelos matemáticos para expressar a melhor concentração adicionada dos resíduos. O tratamento de dados foi realizado com apoio de técnicas da estatística descritiva como medidas de tendência central, desvio padrão e dispersão (BARBETTA, 2010). Com a construção de intervalo de confiança ao nível de 95%.

Assim os resultados podem ser embasados em dados quantitativos de forma a possibilitar uma análise qualitativa quanto a viabilidade do material e as condições locais que favorecem ou não, a adoção deste tipo de telha na construção civil.

4 EXPERIMENTO E ANÁLISE

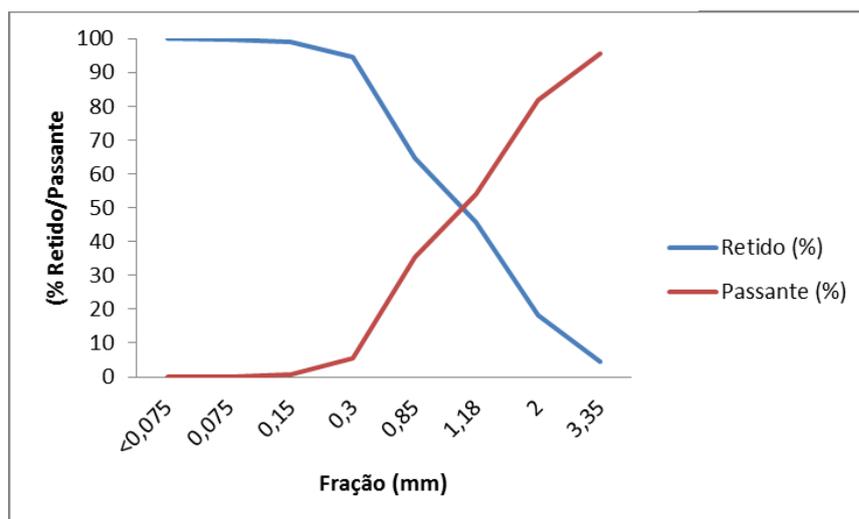
Após a desagregação da argila, iniciou-se a caracterização dos materiais, no qual começou pela análise granulométrica do material argiloso e da borracha, conforme é possível observar no gráfico da figura 3, ficou retido na peneira desejada de 100 mesh (0,15mm) cerca de 90% da argila.

Figura 3 - Classificação granulométrica da argila



No gráfico da figura 4 na mesma abertura desejada da peneira usada na argila, ficou retido do farelo da borracha entorno de 100%.

Figura 4 - Classificação granulométrica da borracha



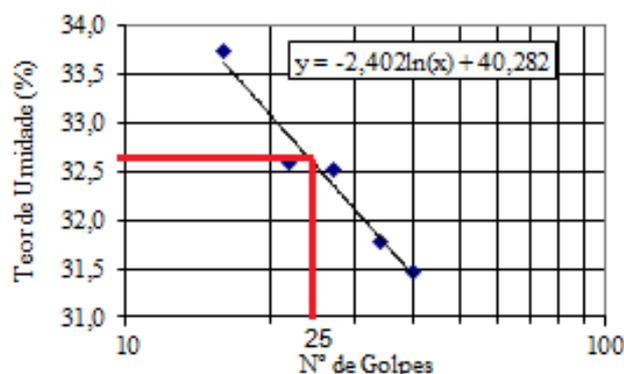
Posteriormente foi realizado análise do limite de liquidez e plasticidade da argila, conforme tabelas a seguir.

O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade em que a ranhura se fecha com 25 golpes, como se pode observar na tabela 2 e figura 5 obteve o valor de 32,70%.

Tabela 2 - Limite de liquidez

Determinação	#	1	2	3	4	5
Cápsula	#	1	2	3	4	5
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	43,91	46,70	47,40	45,20	45,70
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	37,90	39,60	40,10	38,40	38,30
Massa da Cápsula	(g)	18,80	17,25	17,65	17,53	16,37
Massa da Água	(g)	6,01	7,10	7,30	6,80	7,40
Massa Solo Seco	(g)	19,10	22,35	22,45	20,87	21,93
Teor de Umidade	(%)	31,47	31,77	32,52	32,58	33,74
Número de Golpes	#	40	34	27	22	16

Figura 5 - Gráfico Limite de liquidez



O limite de plasticidade é determinado pelo cálculo da média entre as porcentagens do teor de umidade que consta na tabela 3, em que o valor obtido foi de 18,60%.

Tabela 3 - Limite de plasticidade

Determinação	#	1	2	3	4	5
Cápsula	#	1	2	3	4	5
Massa Solo Úmido + Cápsula	(g)	10,10	10,00	9,30	9,70	9,60
Massa Solo Seco + Cápsula	(g)	9,85	9,80	9,10	9,45	9,40
Massa da Cápsula	(g)	8,60	8,70	8,00	8,10	8,20
Massa da Água	(g)	0,25	0,20	0,20	0,25	0,20
Massa Solo Seco	(g)	1,25	1,10	1,10	1,35	1,10
Teor de Umidade	(%)	20,00	18,18	18,18	18,52	18,18

A diferença entre o limite de liquidez e de plasticidade determina o índice de plasticidade, no qual se pode observar na tabela 4 em que corresponde a 14,10%. Contudo o solo estudado pode ser classificado de acordo com Jensens como mediamente plástico.

Tabela 4 - Índice de plasticidade

Limite de Liquidez (LL)	32,7
Limite de Plasticidade (LP)	18,6
Índice de Plasticidade (IP)	14,1

Na produção dos corpos de provas, na fase de moldagem foram gastos em média 10 minutos em cada unidade. Nesta etapa foi descartado a formulação F5 da composição, pois não foi possível a moldagem dos CP, devido à grande quantidade de adição do farelo de borracha não obteve a aderência necessária. Conforme possível observar na figura 6.

Figura 6 - Corpo de prova F5



Depois da moldagem, os corpos de provas passaram para o processo de sinterização, no qual realizou-se um dia para cada temperatura de queima, totalizando assim 3 dias. A formulação F4 da composição para temperatura de 900°C não obteve resistência após a queima, sendo assim essa composição foi descartada para as demais temperaturas e posteriores análises. Na qual representada na figura 7.

Figura 7 - Corpos de prova F4



Na temperatura de 950°C a formulação F3 em que pode ser verificado na figura 8, não obteve resistência após a queima, devido as características do CP pela porosidade, foi eliminada das análises de absorção de água e resistência a flexão.

Figura 8 - Corpos de prova F3



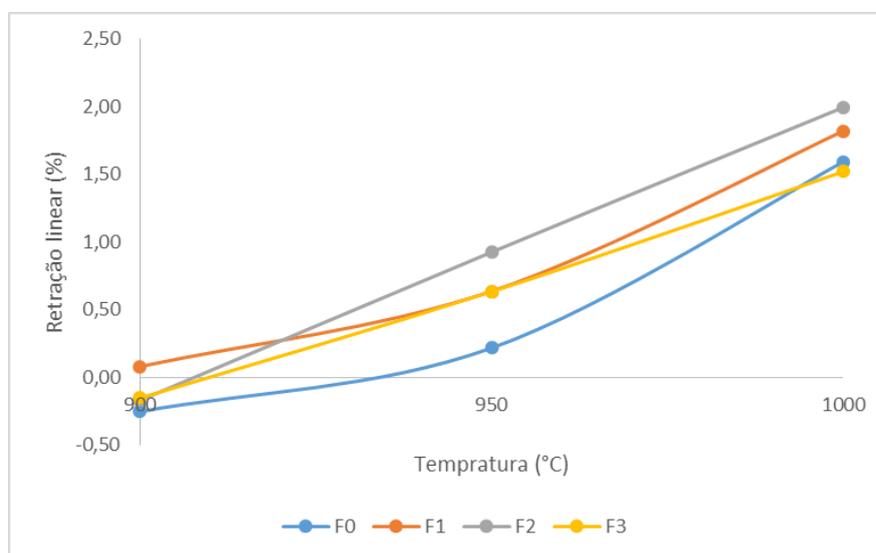
A formulação F3 na temperatura de 1000°C também não adquiriu resistência depois da queima, na figura 9 observa se a porosidade dos CP's, sendo assim descartada para as análises de absorção e resistência a flexão.

Figura 9 - Corpos de prova F3



Iniciando a caracterização dos corpos de provas foram realizadas as análises das médias resultantes de cada formulação das composições, de retrações lineares e perda de massa ao fogo. Conforme na figura 10 o gráfico de retração linear, observa-se que na temperatura de 900°C houve alguns corpos de provas que expandiram como o caso F0, F2 e F3. Na temperatura de 950°C e 1000°C, os corpos de provas tiveram outro comportamento, em todos ocorreu retração.

Figura 10 - Gráfico de retração linear



Na tabela 5 representa os valores das médias mais ou menos as margens de erro entre os dados que foram obtidos, em que as letras maiúsculas são as comparações entre as linhas e letras minúsculas comparações entre as colunas, as letras que são repetidas representam que os valores estão no mesmo intervalo, não havendo alterações significativas entre elas. Todas memórias de cálculos das tabelas a seguir são apresentadas no apêndice A.

Tabela 5 - Margem de erro retração linear

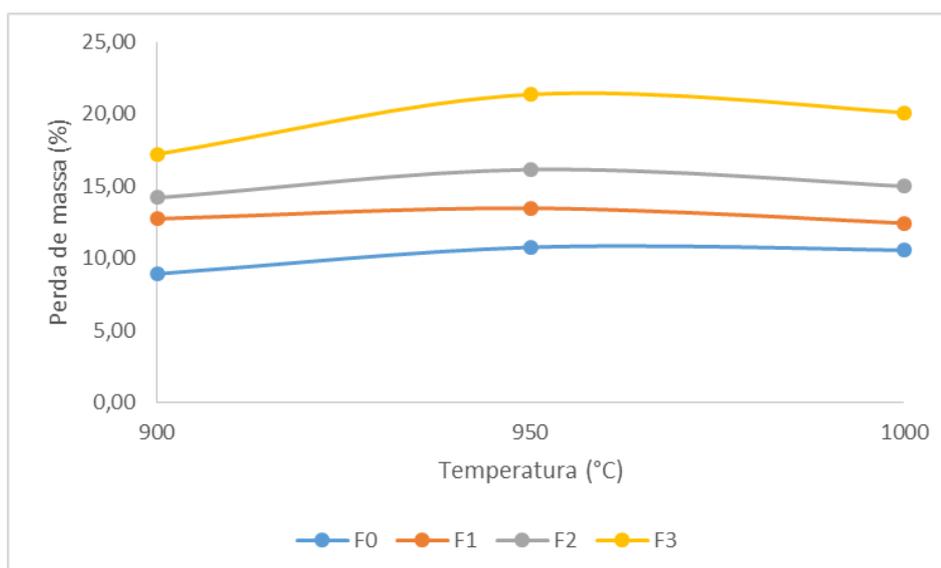
Formulações	Temperaturas		
	900°C	950°C	1000°C
F0	0,25 ± 0,14 (A; a)	0,22 ± 0,13 (A; a)	1,59 ± 0,30 (B; a)
F1	0,08 ± 0,10 (A; a)	0,64 ± 0,15 (B; b)	1,82 ± 0,36 (C; a)
F2	0,17 ± 0,21 (A; a)	0,92 ± 0,32 (B; b)	1,99 ± 0,07 (C; a)
F3	0,15 ± 0,09 (A; a)	0,63 ± 0,40 (B; b)	1,52 ± 0,91 (C; a)

Intervalo com 95% de confiabilidade

Portanto, na formulação F0 quando submetida a temperatura de 1000°C apresentou diferença estatística comparada com as demais temperaturas. Em F1, F2 e F3 houve variação nas três temperaturas, assim pode-se confirmar que a temperatura tem influência no desempenho. Comparando as formulações que se encontram na mesma temperatura, observa-se que F0 à 950°C foi a única que houve diferença significativa, ou seja, qualquer formulação em uma mesma temperatura tem o mesmo desempenho.

Em relação ao gráfico de perda de massa ao fogo na figura 11, está explicito que a perda de massa em todas as temperaturas foram gradativamente, ou seja, quanto maior a porcentagem do farelo da borracha na composição, maior foi a perda de massa.

Figura 11 - Gráfico de perda de massa ao fogo



Conforme tabela 6, as formulações F0 à 950°C e F2 à 900°C teve a temperatura influenciando em seu desempenho. F1 e F3 ficaram nos mesmo intervalos, não havendo alteração significativa nos resultados. Comparando as

formulações quando submetidas as mesmas temperaturas, em F0 e F3 à 900°C a proporção da composição teve influência no desempenho, nas demais temperaturas todas as formulações diferenciaram entre si, ou seja, as diferentes proporções em uma mesma temperatura teve influência no desempenho.

Tabela 6 - Margem de erro perda de massa

Formulações	Temperaturas		
	900°C	950°C	1000°C
F0	8,92 ± 0,33 (A; a)	10,76 ± 0,23 (B; a)	10,56 ± 2,27 (A; a)
F1	12,74 ± 1,51 (A; b)	13,47 ± 0,69 (A; b)	12,44 ± 1,78 (A; b)
F2	14,20 ± 0,40 (A; b)	16,16 ± 0,96 (B; c)	15,0 ± 0,23 (B; c)
F3	17,23 ± 0,53 (A; c)	21,37 ± 2,03 (B; d)	20,12 ± 3,0 (A; B; d)

Intervalo com 95% de confiabilidade

Após os corpos de provas devidamente medidos e pesados para as análises de retração e perda de massa, teve início a análise de absorção de água. Os corpos de provas foram submersos na água, conforme representado na figura 12, ficando reservados durante 2 horas em água fervente e resfriados submersos em água, posteriormente foi retirado a água superficial para realizar novamente as pesagens de cada um deles, para obter a porcentagem de absorção.

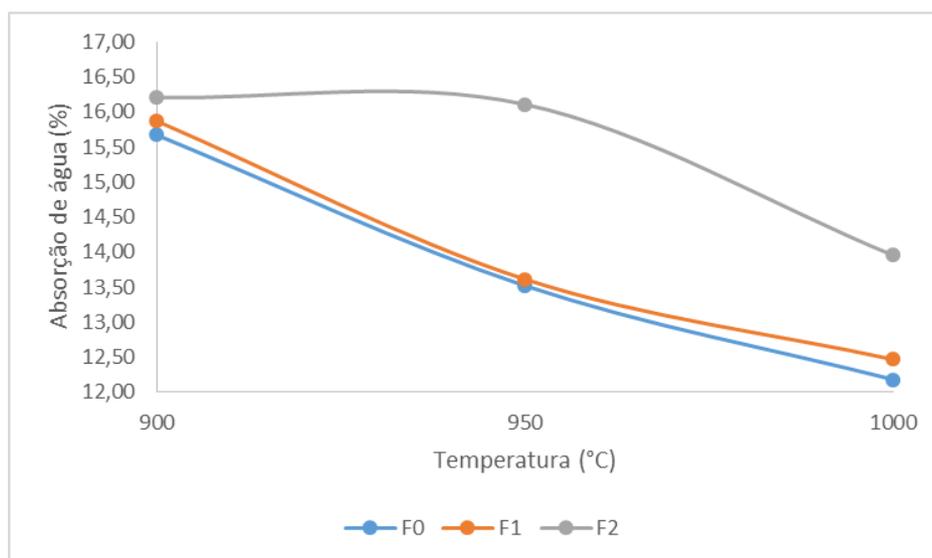
Figura 12 - Corpos de provas submersos na água



Posteriormente foi realizada a pesagem dos corpos de provas úmidos, com o tratamento de dados analisou-se que a formulação F3 na temperatura de 900°C obteve média de absorção de água 21%, na qual foi descartada devido o limite máximo admissível ser 20% e para melhor representação do gráfico abaixo.

Na figura 13, nota-se no gráfico que quanto maior a proporção de borracha na composição, maior foi a absorção de água. Em relação à temperatura, quanto mais elevadas, menor foi a porcentagem de absorção de água.

Figura 13 - Gráfico de absorção de água



Na tabela 7 a formulação F1 submetida a temperatura de 900°C foi a única que apresentou diferença estatística, devido à influência da temperatura. E F2 à 950°C foi a única formulação que teve como a proporção influenciando no desempenho em uma mesma temperatura.

Tabela 7 - Margem de erro absorção de água

Formulações	Temperaturas		
	900°C	950°C	1000°C
F0	15,67 ± 1,02 (A; a)	13,52 ± 0,31 (B; a)	12,18 ± 3,26 (A; B; a)
F1	15,87 ± 0,20 (A; a)	13,61 ± 0,34 (B; a)	12,46 ± 1,07 (B; a)
F2	16,21 ± 0,46 (A; a)	16,11 ± 1,11 (A; b)	13,95 ± 1,30 (A; a)
F3	15,67 ± 0,87 (A; a)		

Intervalo com 95% de confiabilidade

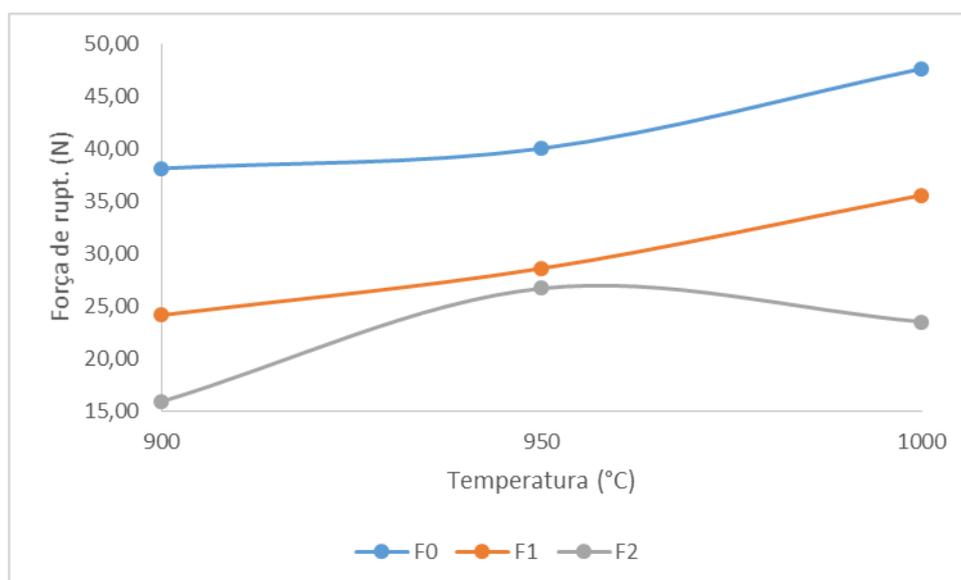
Para análise de resistência à flexão, conforme figura 14, teve que aguardar dois dias posterior ao ensaio de absorção de água para a secagem dos corpos de provas, pois a umidade influenciaria na obtenção dos resultados.

Figura 14 - Ensaio de resistência a flexão



Através da análise do gráfico na figura 15, é possível verificar que a maior resistência a flexão foram nas formulações F0 na temperatura de 1000°C, e menor resistência nas formulações F2 na temperatura de 900°C.

Figura 15 - Gráfico de resistência a flexão



Na tabela 8 observa-se que as temperaturas e as formulações não apresentaram diferença estatística, não influenciando no desempenho dos corpos de provas.

Tabela 8 - Margem de erro resistência a flexão

Formulações	Temperaturas		
	900°C	950°C	1000°C
F0	38,10 ± 10,79 (A; a)	40,01 ± 8,17 (A; a)	47,62 ± 7,38 (A; a)
F1	24,13 ± 7,16 (A; a; b)	28,58 ± 2,79 (A; b)	35,56 ± 8,55 (A; a)
F2	15,88 ± 8,81 (A; b)	26,67 ± 7,16 (A; a; b)	23,50 ± 3,52(A; a)

Intervalo com 95% de confiabilidade

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que facilitasse a moldagem dos corpos de prova, teria sido interessante realizar a análise de limite de liquidez e plasticidade, para avaliar o índice de plasticidade de cada formulação, observando assim quais as composições teria melhor comportamento em relação a aderência. Não sendo necessário perda de tempo para moldagem das formulações em que não tinham essa aderência como ocorreu na formulação F5.

Uma hipótese que surgiu durante a elaboração deste experimento e foi possível verificar que não estava correta, foi de que o corpos de provas poderiam ter mudanças de tonalidades depois de sinterizados, devido as diferentes proporções da borracha na composição, já que era fácil diferenciar quais corpos de provas era correspondente a qual proporção, antes de sinterizados. Na qual pode ser observado na figura 16 e 17 logo abaixo.

Figura 16 - Corpos de provas antes da sinterização

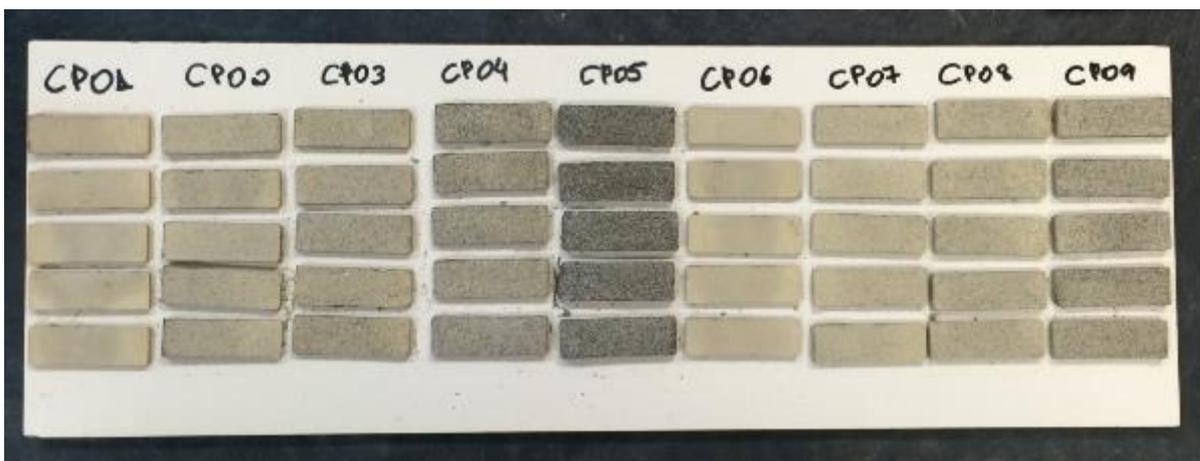


Figura 17 - Corpos de provas após sinterização



No gráfico de retração linear da figura 10, observa-se que os corpos de provas com adição da borracha tiveram maior retração nas temperaturas de 950° e 1000°C. Na temperatura de 900°C apenas ocorreu retração na formulação F1, as demais teve pequena expansão.

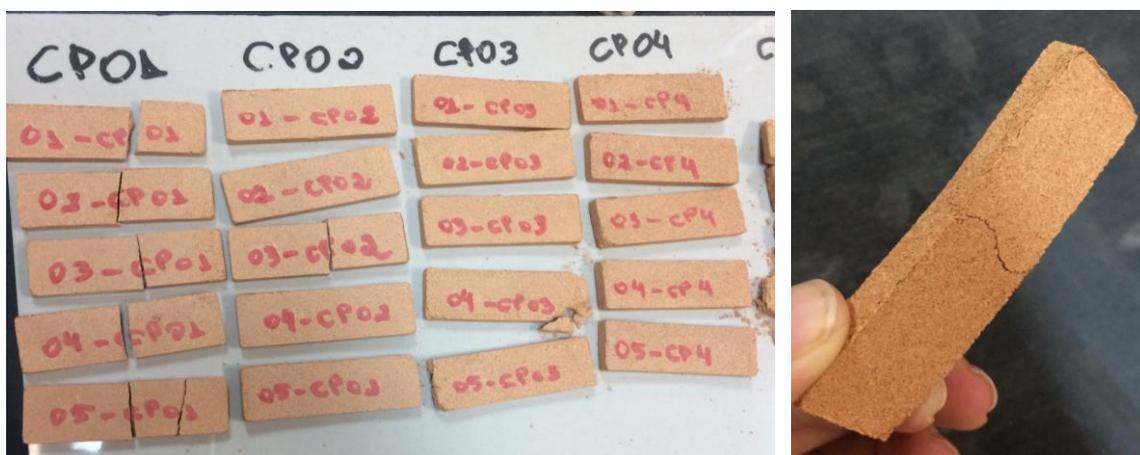
Em relação a figura 11, do gráfico de perda de massa as formulações F1 e F2 mantiveram um valor quase que constante entre as 3 temperaturas. Já na F3 que teve maior composição de borracha, foi a que teve maior perda de massa.

As formulações F0 e F1 teve pouca variação entre elas de absorção de água, conforme pode ser visto no gráfico da figura 13, entretanto na F2 houve uma grande diferença comparadas com as duas. As temperaturas que obtiveram menor índice de absorção de água nos corpos de provas foram as mais elevadas, ou seja, quanto maior a temperatura de queima, menor foi a porcentagem de absorção de água.

Na figura 15, verificou-se no gráfico de resistência a flexão que as formulações F1 e F2 que tem composição do farelo da borracha alcançaram resistência muito baixa em relação a F0, que não tem adição da borracha em sua composição.

Nas temperaturas de 900° e 950°C, observou-se que a borracha proporcionou ao corpo de prova uma certa flexibilidade apesar de romperem com baixa tensão, pois quando aplicada a força para a análise de resistência a flexão nos corpos de provas, os que não tinham adição da borracha teve ruptura brusca, e os com adição do farelo de borracha tiveram rupturas, mas não romperam bruscamente. Conforme pode ser observado na figura 18 a seguir.

Figura 18 - Copos de provas após ensaio de resistência a flexão



Após as análises dos resultados, foi possível verificar que a formulação F0 teve melhor comportamento em todos os ensaios realizados.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando os objetivos específicos ao que se refere a destinação dos pneus usados em Palmas – TO, os pneus inservíveis são descartados no ponto de coleta localizado na quadra 715 sul, que posteriormente são enviados para centro de reciclagens fora do estado. As raspas provenientes dos pneus recauchutados na empresa em que forneceu o material para realização deste trabalho, são doados para uma empresa do estado do Ceará, em que eles reutilizam para produção de chinelos, tapetes, pavimentação asfáltica, entre outros.

Diante das análises efetuadas a adição do farelo de borracha não satisfaz as hipóteses que nortearam o desenvolvimento deste trabalho. A suposição inicial era que a borracha misturada com a argila em alta temperatura iria derreter preenchendo os índices de vazios, garantindo maior resistência e menor índice de absorção de água. Após os experimentos e a análise dos dados pode-se verificar que a borracha quando submetida a elevadas temperaturas, queima tornando a composição do corpo de prova mais poroso e conseqüentemente menos resistente a flexão, com maior índice de absorção de água, retração linear e perda de massa.

Sendo assim a melhor formulação foi a F0, que não contém na sua composição farelo de borracha, e foi usado como referência para realização das análises.

Percebe-se com este trabalho que devido a necessidade da queima da argila ser em altas temperaturas a mistura com o farelo de borracha não foi favorável. Portanto, sugere-se a aplicação de farelo de borracha como composto de misturas que não sejam levadas à altas temperaturas (900°C-1000°C) ou usar a borracha com outro material que não seja argila, como por exemplo o cimento.

Além da maior porosidade dos corpos de provas e do não aumento da resistência, a absorção de água foi maior, e conseqüentemente o uso do resíduo sólido derivado da borracha compromete também o processo de produção na fabricação da telha.

Baseado nos estudos realizados, apontados neste referencial teórico, observa-se que vêm sendo pesquisados o uso da borracha proveniente dos pneus na composição para produção do concreto, cujos resultados tem se mostrado satisfatórios, pois garantem um aumento na resistência a flexão e capacidade de deformação, com preços competitivos. Diante do contexto acima citado são apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar experimentos da telha de cimento com adição do farelo da borracha proveniente do processo de recauchutagem, analisando a absorção de água e resistência à flexão. Pois, são materiais facilmente obtidos e a viabilidade técnica factível;
- Realizar análise térmica, caso o experimento seja satisfatório;
- Mensurar o processo convencional entre este proposto, e realizar comparativo entre os processos e a viabilidade econômica e comercial.

Como aprendizado fica a relevância de continuar os esforços para buscar soluções alternativas para reutilizar o pneu inservível e seus derivados, com o intuito de contribuir na redução dos impactos ambientais, minimizar as doenças causadas pelo mosquito *Aedes Aegypti* que proliferam quando descartados de maneira incorreta e poder ser aplicado em construções sociais.

Durante a defesa da monografia foram feitas duas recomendações: observar a norma de telha NBR 15310:2009 e a tese de Segre (1999). Ao estudar a NBR e o referenciamento das características dimensionais e do rendimento médio a ser utilizado para a produção dos corpos de provas, chegou-se à conclusão que mesmo seguindo esses requisitos da norma, o experimento não seria viável. Dado que a borracha não gera resultados satisfatórios na composição com a argila após o processo de queima.

Ao analisar a segunda recomendação, a tese de doutorado de Nádia Cristina Segre (1999), em que a borracha moída de pneus foi submetida a temperaturas entre 150° à 350°C sendo usado como adição em pasta de cimento, na qual obteve resultados satisfatórios. Percebe-se que devido se tratar de uma mistura em que o material tem característica inicial plástica e não foi necessário submeter a composição ao processo de sinterização, logo a borracha teve um melhor desempenho, funcionando como agente tenacificante. Portanto, ratificando os resultados deste experimento: o uso do farelo da borracha para obter melhor desempenho, tem que ser reutilizado onde não há necessidade de ser levado para queima em altas temperaturas e serem realizadas composições entre materiais que possuem boa plasticidade, como o uso com cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310**: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ABRIL GRAFICA. **Sustentabilidade**. 2010. Disponível em:
<<http://grafica.abril.com.br/sustentabilidade.php>>Acesso: 09 de abril de 2016.

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização física e classificação dos solos**. 2005, 145 f. Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia Departamento de Transportes. Disponível:
<http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOL_OS.pdf>Acesso: 20 de abril de 2016.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de pneus**. 2001. Disponível:<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_pneus.html>Acesso: 20 de abril de 2016.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização**. 2007, 101 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007. Disponível:
<<http://tcc.bu.ufsc.br/Economia293475>>Acesso: 18 de fevereiro de 2016.

ARAUJO, A. A. **A moderna construção sustentável**. [SI] Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2008. Disponível:
<http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/flUfnOnW8rEyn7z_2014-4-22-19-43-27.pdf>Acesso: 10 de abril de 2016.

ASSIS; L; RAMALHO, F. **Descarte correto de pneus elimina criadouros do Aedes aegypti**. [SI] EcoDesenvolvimento, 2016. Disponível:
<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2016/posts/janeiro/descarte-correto-de-pneus-elimina-criadouros-do-popup_impresao>acesso: 25 de fevereiro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas - Processos de Fabricação**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/?area=4&submenu=50>>. Acesso: 16 de abril de 2016.

BARBETTA, Pedro Alberto; Marcelo Menezes Reis, Antonio Cezar Bornia. **Estatística: para cursos de engenharia e informática**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2010. 410 p., il.

BARROS, Aidil Jesus Paes de; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de Metodologia: Um guia para a iniciação científica**. São Paulo: Mc Graw-hill, Ltda, 1986. 131 p.

BASTOS, F. A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. 2003. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86480/191985.pdf?sequence=1>> Acesso em: 16 de abril de 2016.

BITENCOURT, E. R. **Utilização de matéria-prima alternativa na fabricação de tijolos de argila vermelha e branca**. 2004. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2004. Disponível em: <http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=243> Acesso: 16 de abril de 2016.

BRASIL SUSTENTAVEL. **Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.brasilsustentavel.org.br/sustentabilidade>> Acesso: 09 de abril de 2016.

CALDAS, T. C. C. **Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha**. 2012. Dissertação de Mestrado, Curso em Engenharia e Ciência de Materiais, UENF, 2012. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Reciclagem-de-Res%C3%ADduo-de-Vidro-Plano-em-Cer%C3%A2mica-Vermelha.pdf>> Acesso: 16 de abril de 2016.

CARVALHO, Maria Cecília Maringoni de. **Construindo o saber: Metodologia Científica, Fundamentos e Técnicas**. 6 Ed. Campinas: Papirus, 1997.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução n. 416 de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res41609.pdf>>. Acesso em: 19 de abril de 2016.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução n. 307 de 05 de julho de 2002. Estabelecem diretrizes, critérios, procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/wp-content/uploads/admin/documento/2014/10/Res%C3%ADduos-de-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil-Resolu%C3%A7%C3%A3o-N%C2%BA-307.pdf>>. Acesso: 16 de abril de 2016.

CORREA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 70 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://especializacaocivil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>>Acesso: 12 de abril de 2016.

COSTA, V. **Estudo comparativo entre cerâmica e concreto: tijolos e telhas**. [SI] Salema, 2014. Disponível: <<http://www.ceramicasalema.com.br/estudo-comparativo-entre-ceramica-e-concreto-tijolos-e-telhas/>>acesso: 29 de fevereiro de 2016.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 17ª Ed. 3ª Tir. São Paulo: Saraiva, 1999.

CUNHA, F. **Caracterização das propriedades físico-químicas das argilas da região de Miranorte - Tocantins ponto 01**. 2016. 38 f. Relatório final – Curso de Engenharia Civil, Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – PROICT, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2016.

GRIMBERG, E. **Coleta Seletiva com inclusão social: Fórum Lixo e Cidadania na Cidade de São Paulo. Experiências e Desafios**. São Paulo: Instituto Polis, 2007. 148p.

KAMIMURA, Eliane. **Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. Disponível: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83493/193675.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>Acesso: 19 de abril de 2016.

LACERDA, L. P. **Pneus descartadas no Brasil –subsídios para uma reflexão sobre o problema na Bahia**. 2001, 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria – Ênfase em Produção Limpa) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2001. Disponível: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_lais_p_de_lacerda.pdf>Acesso: 17 de abril de 2016.

MORAIS, C. M. P.; GÜNTHER, W. M. R. **Descarte de pneus inservíveis: um problema na grande São Paulo**. 2002. XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO ENGENHARIA

SANITÁRIA E AMBIENTAL, Cancun, México, 2002. Disponível:
<<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-borracha/descarte-de-pneus-inserviveis/>>Acesso: 16 de abril de 2016.

NAIME, R; SILVA, R. **Utilização de pneus usados na fabricação de telhas.** [SI] Ingepro, 2010. Disponível: <http://www.ingepro.com.br/Publ_2010/Jan/170-531-1-PB.pdf>Acesso:29 de fevereiro de 2016.

OLIVEIRA, Silvio Luiz. **Tratado de metodologia científica:** projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. 2. Ed. São Paulo: Pioneira, 2001.

Relatório de Pneumáticos Resolução CONAMA nº 416/09. 2015. Disponível:
<<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=10569%3Arelatoriopneumaticos2015.>>Acesso: 26 de fevereiro de 2016.

RECICLANIP. **O ciclo sustentável do pneu.** 2013. Disponível:
<<http://www.reciclanip.org.br/v3/releases/reciclanip-coletou-e-destinou-mais-de-1145-mil-toneladas-de-pneus-inserviveis-no-1o-trimestre-de-2015/79/20150427/>>Acesso: 17 de abril de 2016.

RIBEIRO, H. C. M; SOUZA, M. T. S. **Sustentabilidade Ambiental: uma Meta-análise da Produção Brasileira em Periódicos de Administração.** 2012. Disponível:
<<http://www.scielo.br/pdf/rac/v17n3/a07v17n3>>Acesso: 13 de abril de 2016.

RODRIGUES, William Costas. **Metodologia Científica.** Paracambi, 2007.

SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento.** 1999. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Química, Campinas.

SETTI, D. et al. **Caracterização de argilas da região da bacia de Santo Antônio no Município de Gurupi.** 2012. Proposta de Projeto de Pesquisa do Curso de Engenharia de Minas / CEULP-ULBRA.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. Disponível:
<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5192/000422319.pdf?sequence=1>>Acesso: 13 de abril de 2016.

TESKE, S. **Desenvolvimento de telha ecológica a partir de resíduo de gesso da construção**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia de Produção Civil, Curitiba.
Disponível:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2575/1/CT_EPC_2013_2_01.PDF>Acesso: 16 de abril de 2016.

VÁSQUEZ, G. A. G. T. **Avaliação da conformidade dos blocos cerâmicos produzidos em algumas cerâmicas no rio grande do norte**. 2005. Tese (Mestrado em Engenharia), PPGEM – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGN, Natal.
Disponível:<http://www.repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/19830/1/GilbertoAntonioGorrichateguiVasquez_DISSERT.pdf>Acesso: 16 de abril de 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Memória de cálculo das tabelas margem de erro

Temperatura - 900°C		Temperatura - 950°C		Temperatura - 1000°C	
F0	Retração Linear (%)	F0	Retração Linear (%)	F0	Retração Linear (%)
1	-0,32	1	0,20	1	1,27
2	-0,30	2	0,13	2	1,83
3	-0,25	3	0,17	3	1,48
4	-0,07	4	0,18	4	1,55
5	-0,33	5	0,40	5	1,83
Média	-0,25	Média	0,22	Média	1,59
Desv. Padrão Amost.	0,11	Desv. Padrão Amost.	0,11	Desv. Padrão Amost.	0,24
Coef. Variação	-43,04	Coef. Variação	48,55	Coef. Variação	15,20
Margem erro	0,14	Margem erro	0,13	Margem erro	0,30
F1	Retração Linear (%)	F1	Retração Linear (%)	F1	Retração Linear (%)
1	-0,02	1	0,58	1	1,32
2	0,07	2	0,47	2	1,95
3	0,12	3	0,73	3	2,00
4	0,20	4	0,62	4	2,00
5	0,03	5	0,78	5	1,83
Média	0,08	Média	0,64	Média	1,82
Desv. Padrão Amost.	0,08	Desv. Padrão Amost.	0,12	Desv. Padrão Amost.	0,29
Coef. Variação	103,47	Coef. Variação	19,61	Coef. Variação	15,90
Margem erro	0,10	Margem erro	0,15	Margem erro	0,36
F2	Retração Linear (%)	F2	Retração Linear (%)	F2	Retração Linear (%)
1	-0,22	1	0,67	1	2,03
2	-0,33	2	1,18	2	2,06
3	0,00	3	0,82	3	1,91
4	-0,32	4	1,23	4	1,98
5	0,02	5	0,73	5	2,00
Média	-0,17	Média	0,92	Média	1,99
Desv. Padrão Amost.	0,17	Desv. Padrão Amost.	0,26	Desv. Padrão Amost.	0,06
Coef. Variação	-99,31	Coef. Variação	28,25	Coef. Variação	2,76
Margem erro	0,21	Margem erro	0,32	Margem erro	0,07
F3	Retração Linear (%)	F3	Retração Linear (%)	F3	Retração Linear (%)
1	-0,15	1	0,78	1	1,16
2	-0,27	2	0,38	2	1,34
3	-0,12	3	0,70	3	2,82
4	-0,15	4	1,06	4	1,24
5	-0,08	5	0,25	5	1,04
Média	-0,15	Média	0,63	Média	1,52
Desv. Padrão Amost.	0,07	Desv. Padrão Amost.	0,32	Desv. Padrão Amost.	0,74
Coef. Variação	-45,18	Coef. Variação	50,83	Coef. Variação	48,42
Margem erro	0,09	Margem erro	0,40	Margem erro	0,91

Temperatura - 900°C	
F0	Perda de massa ao fogo (%)
1	9,20
2	9,21
3	8,60
4	8,81
5	8,80
Média	8,92
Desv. Padrão Amost.	0,27
coef. Variação	3,02
margem erro	0,33

Temperatura - 950°C	
F0	Perda de massa ao fogo (%)
1	10,88
2	10,86
3	10,50
4	10,98
5	10,59
Média	10,76
Desv. Padrão Amost.	0,18
coef. Variação	1,72
margem erro	0,23

Temperatura - 1000°C	
F0	Perda de massa ao fogo (%)
1	11,00
2	11,11
3	12,00
4	7,37
5	11,34
Média	10,56
Desv. Padrão Amost.	1,83
coef. Variação	17,29
margem erro	2,27

F1	Perda de massa ao fogo (%)
1	11,30
2	12,38
3	12,28
4	14,56
5	13,17
Média	12,74
Desv. Padrão Amost.	1,22
coef. Variação	9,56
margem erro	1,51

F1	Perda de massa ao fogo (%)
1	13,73
2	13,53
3	13,88
4	12,50
5	13,73
Média	13,47
Desv. Padrão Amost.	0,56
coef. Variação	4,14
margem erro	0,69

F1	Perda de massa ao fogo (%)
1	13,00
2	13,00
3	12,00
4	14,00
5	10,20
Média	12,44
Desv. Padrão Amost.	1,44
coef. Variação	11,55
margem erro	1,78

F2	Perda de massa ao fogo (%)
1	13,96
2	14,26
3	14,70
4	13,88
5	14,20
Média	14,20
Desv. Padrão Amost.	0,32
coef. Variação	2,27
margem erro	0,40

F2	Perda de massa ao fogo (%)
1	16,47
2	16,31
3	16,99
4	16,12
5	14,90
Média	16,16
Desv. Padrão Amost.	0,77
coef. Variação	4,79
margem erro	0,96

F2	Perda de massa ao fogo (%)
1	15,00
2	15,31
3	14,85
4	15,00
5	14,85
Média	15,00
Desv. Padrão Amost.	0,19
coef. Variação	1,24
margem erro	0,23

F3	Perda de massa ao fogo (%)
1	17,37
2	17,10
3	16,57
4	17,70
5	17,40
Média	17,23
Desv. Padrão Amost.	0,43
coef. Variação	2,48
margem erro	0,53

F3	Perda de massa ao fogo (%)
1	20,20
2	20,88
3	23,63
4	22,45
5	19,70
Média	21,37
Desv. Padrão Amost.	1,63
coef. Variação	7,64
margem erro	2,03

F3	Perda de massa ao fogo (%)
1	19,19
2	24,24
3	20,22
4	18,56
5	18,37
Média	20,12
Desv. Padrão Amost.	2,42
coef. Variação	12,02
margem erro	3,00

Temperatura - 900°C	
F0	Absorção de água (%)
1	16,85
2	14,94
3	16,07
4	14,88
5	15,63
Média	15,67
Desv. Padrão Amost.	0,82
Coef. Variação	0,05
Margem de erro	1,02

F1	Absorção de água (%)
1	15,84
2	15,95
3	16,10
4	15,79
5	15,67
Média	15,87
Desv. Padrão Amost.	0,16
Coef. Variação	0,01
Margem de erro	0,20

F2	Absorção de água (%)
1	16,04
2	16,73
3	16,45
4	15,85
5	15,96
Média	16,21
Desv. Padrão Amost.	0,37
Coef. Variação	0,02
Margem de erro	0,46

F3	Absorção de água (%)
1	21,80
2	20,67
3	20,58
4	20,25
5	21,71
Média	20,80
Desv. Padrão Amost.	0,70
Coef. Variação	0,04
Margem de erro	0,87

Temperatura - 950°C	
F0	Absorção de água (%)
1	13,43
2	13,56
3	13,69
4	13,77
5	13,14
Média	13,52
Desv. Padrão Amost.	0,25
Coef. Variação	0,02
Margem de erro	0,31

F1	Absorção de água (%)
1	13,47
2	13,53
3	13,80
4	13,28
5	13,98
Média	13,61
Desv. Padrão Amost.	0,28
Coef. Variação	0,02
Margem de erro	0,34

F2	Absorção de água (%)
1	15,89
2	16,47
3	17,39
4	14,96
5	15,83
Média	16,11
Desv. Padrão Amost.	0,90
Coef. Variação	0,06
Margem de erro	1,11

Temperatura - 1000°C	
F0	Absorção de água (%)
1	13,59
2	12,87
3	12,87
4	7,55
5	14,00
Média	12,18
Desv. Padrão Amost.	2,63
Coef. Variação	0,22
Margem de erro	3,26

F1	Absorção de água (%)
1	13,09
2	12,12
3	12,87
4	13,13
5	11,11
Média	12,46
Desv. Padrão Amost.	0,86
Coef. Variação	0,07
Margem de erro	1,07

F2	Absorção de água (%)
1	15,00
2	12,63
3	13,13
4	14,14
5	14,85
Média	13,95
Desv. Padrão Amost.	1,04
Coef. Variação	0,07
Margem de erro	1,30

Temperatura - 900°C	
F0	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	28,58
2	31,75
3	41,28
4	38,1
5	50,8
média	38,10
Desv. Padrão Amost.	8,69
Coef. Variação	22,82
Margem de erro	10,79

Temperatura - 950°C	
F0	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	31,75
2	34,93
3	41,28
4	47,63
5	44,45
média	40,01
Desv. Padrão Amost.	6,58
Coef. Variação	0,16
Margem de erro	8,17

Temperatura - 1000°C	
F0	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	50,8
2	47,63
3	38,1
4	53,98
5	47,58
média	47,62
Desv. Padrão Amost.	5,94
Coef. Variação	0,12
Margem de erro	7,38

F1	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	19,05
2	31,75
3	28,58
4	22,23
5	19,05
média	24,13
Desv. Padrão Amost.	5,77
Coef. Variação	0,24
Margem de erro	7,16

F1	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	28,58
2	28,58
3	25,4
4	31,75
5	28,58
média	28,58
Desv. Padrão Amost.	2,25
Coef. Variação	0,08
Margem de erro	2,79

F1	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	34,93
2	44,45
3	38,1
4	34,93
5	25,4
média	35,56
Desv. Padrão Amost.	6,88
Coef. Variação	0,19
Margem de erro	8,55

F2	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	19,05
2	15,88
3	25,4
4	12,7
5	6,35
média	15,88
Desv. Padrão Amost.	7,10
Coef. Variação	0,45
Margem de erro	8,81

F2	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	31,75
2	22,23
3	19,05
4	31,75
5	28,58
média	26,67
Desv. Padrão Amost.	5,77
Coef. Variação	0,22
Margem de erro	7,16

F2	RESISTÊNCIA
	FORÇA RUPT. (N)
1	25,4
2	19,05
3	25,4
4	25,4
5	22,23
média	23,50
Desv. Padrão Amost.	2,84
Coef. Variação	0,12
Margem de erro	3,52