

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES**

MARCELO DA COSTA TEIXEIRA

**PROPOSTA PARA ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE TELHAS DE
BARRO, FIBROCIMENTO, CERÂMICAS E DE CONCRETO QUANDO
SUBMETIDAS À CHUVAS DE GRANIZO**

MONOGRAFIA

**CURITIBA
2017**

MARCELO DA COSTA TEIXEIRA

**PROPOSTA PARA ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE TELHAS DE
BARRO, FIBROCIMENTO, CERÂMICAS E DE CONCRETO QUANDO
SUBMETIDAS À CHUVAS DE GRANIZO**

Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Patologias das Construções do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Patologias das Construções.

Orientador: Prof. Dr. Aduino Jose Miranda de Lima

CURITIBA

2017

MARCELO DA COSTA TEIXEIRA

PROPOSTA PARA ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE TELHAS DE BARRO, FIBROCIMENTO, CERÂMICAS E DE CONCRETO QUANDO SUBMETIDAS À CHUVAS DE GRANIZO

Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Patologias das Construções do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Patologias das Construções.

Orientador:

Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima
Dep^{to} Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Ecoville

Banca examinadora:

Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima
Dep^{to} Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Ecoville

Prof. Msc. Amacin Rodrigues Moreira
Dep^{to} Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Ecoville

Prof. Dr. Wellington Mazer
Dep^{to} Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Campus Ecoville

CURITIBA

2017

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Carlos e Maria Isabel que me deram a oportunidade de me tornar Engenheiro Civil com um estudo de alta qualidade.

Agradeço a minha especial companheira e esposa Vanessa que me apoiou e compartilhou toda caminhada desta nova etapa da minha vida. Além do entendimento dos meus momentos de ausência.

De forma mais do que especial ao amor e amizade da minha “pequena” filha de 7 anos que sempre me recebe com um sorriso lindo e puro ao qual me fez e faz aprender muito sobre a nossa vida.

Agradeço ao meu professor orientador Adauto que me ajudou a tornar este trabalho possível com dedicação, conhecimento, amizade e muito bom humor.

Aos meus colegas de especialização pela amizade e possibilidade de convívio com profissionais da mesma área onde a troca de informações e ajuda mútua sempre ocorreu durante o curso.

Ao nosso coordenador do curso Amacin, professores, banca examinadora e a todos os demais envolvidos (Isabel, Paulo, Janete, Elisabeth da copa, Gustavo do laboratório) que tornou esta passagem da nossa vida profissional prazerosa e importante.

Obrigado a todos!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 COBERTURAS DAS CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS, COMERCIAIS E INDUSTRIAIS	12
2.2 TIPOS DE TELHADOS	12
2.3 PATOLOGIAS MAIS COMUNS	16
2.4 PRECIPITAÇÃO DE GRANIZO	18
2.5 NORMATIZAÇÃO	19
2.5.1 Ensaio de Charpy	20
2.6 HISTÓRICOS DE CHUVA E VENDAVAL EM ALGUMAS CIDADES DO PARANÁ	23
2.6.1 CURITIBA	23
2.6.2 PONTA GROSSA	24
2.6.3 MARINGÁ	25
2.6.4 FOZ DO IGUAÇU	26
2.6.5 PATO BRANCO	27
2.6.6 CASCAVEL	28
2.7 OCORRENCIAS DE GRANIZO NO PARANÁ	29
2.8 VELOCIDADE DAS PEDRAS DE GRANIZO	30
2.8.1 VELOCIDADE TERMINAL DE UM CORPO CADENTE ATRAVÉS DO AR .	31
2.8.2 ENERGIA CINÉTICA MÁXIMA DO CORPO CADENTE	33
2.8.3 VELOCIDADE E DESLOCAMENTO DO CORPO CADENTE	34
2.9 FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO FRÁGIL DOS MATERIAIS DUCTEIS	36
2.10 ANÁLISE DE RESULTADOS POR REGRESSÃO LINEAR (INFERÊNCIA ESTATÍSTICA)	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	45
3.2 METODOLOGIA	46
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
4.1 EQUAÇÃO E ESTATÍSTICAS BÁSICAS	57

4.2 VALORES LIMITES CALCULADOS PARA AS TELHAS ESTUDADAS	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICE A - AMOSTRAS ENSAIADAS E SUAS VARIÁVEIS	66
APÊNDICE B - RELATÓRIO ESTATÍSTICO	68
ANEXO A - GRÁFICOS TENSÃO X DEFORMAÇÃO DE CADA TIPO DE TELHA	76

“Políticos sentem medo dos Engenheiros, porque a política é a arte da manipulação, oportunismo e falsidade. E a Engenharia é a aplicação da ciência com exatidão, rigor e precisão para a resolução dos problemas da humanidade”

(Eládio Junior)

RESUMO

TEIXEIRA, Marcelo da Costa. Proposta para análise da resistência de telhas de barro, fibrocimento, cerâmica e de concreto quando submetidas a chuvas de granizo, 2017. 86 folhas. Monografia de Especialização em Patologias das Construções. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR.

Os telhados tem a função principal de proteger as construções dos efeitos atmosféricos (chuva, sol, vento, neve, etc). Além da proteção física, os telhados contribuem para o conforto térmico e acústico das construções. Normalmente, no Brasil, não há eventos atmosféricos extremos (tornados, neve, furacões, etc), mas na última década começaram a surgir alguns eventos atmosféricos que, até então, nunca haviam acontecido – ou aconteciam muito raramente e com pouca intensidade (principalmente as chuvas de granizo e mais raramente tornados de baixo grau). Antigamente chuvas de granizo no Brasil tinham baixo poder de destruição e tempo de ocorrência elevado, mas nos últimos cinco a dez anos começaram a ocorrer estes eventos com maior frequência. Principalmente na região sul do Brasil. Vale salientar que raramente se verifica estudos ou procedimentos sobre a recomendação de trocas de telhas para reformas em residências (seja por motivos de ocorrência de eventos climáticos extremos em determinadas regiões ou pela sua vida útil que terminou). Desta forma, esta pesquisa procurou desenvolver um método e procedimento de execução de testes para avaliar o comportamento de alguns padrões usuais de telhas comparando as condições de resistência.

Palavras-chave: Granizo, Telhas, Resistência.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Marcelo da Costa. Proposal for analysis of resistance of clay tiles, fiber cement tiles, ceramic and concrete when subjected to hailstorms, 2016. 86 leaves. Specialization thesis in Pathologies of Constructions. Federal Technological University of Paraná. Curitiba - PR.

The roofs have the main function of protecting buildings from atmospheric effects (rain, sun, wind, snow, etc.). In addition to physical protection roofs contribute to the thermal and acoustic comfort of buildings. Normally, in Brazil, there are no extreme weather events (tornadoes, snow, hurricanes, etc.), but in the last decade started to be some weather events that, until then, had never happened - or happened very rarely and with little intensity (mainly hailstorms, and more rarely made low-grade). Previously hailstorms in Brazil had low destructiveness and high occurrence of time, but in the last five to ten years began to experience these events more often. Mainly in the southern region of Brazil. It is worth noting that rarely verified studies or procedures on the recommendation tiles exchanges to homes reforms (either occurrence of reasons of extreme weather events in certain regions or their life ended). Thus, this research sought develop a method and test execution procedure to evaluate the behavior of some usual patterns of tiles comparing the strength conditions.

Keywords:Hail,Tiles,Resistance.

1 INTRODUÇÃO

Normalmente nas construções edificadas a maior preocupação (por parte principalmente dos usuários) são os acabamentos internos. Os fechamentos das paredes das construções no Brasil geralmente são em alvenaria e os telhados normalmente em telhas de cerâmica e concreto. E em regiões mais carentes a utilização principal são as telhas de fibrocimento.

A função principal do telhado é de proteger as construções dos efeitos atmosféricos (como chuva, vento, neve, granizo, etc) e dar conforto térmico e acústico às construções.

Normalmente verifica-se uma baixa preocupação em relação ao telhado das construções. Principalmente em regiões com eventos atmosféricos medianamente extremos (granizo, ventanias abaixo de 100 km/h).

Nos últimos anos verifica-se na mídia que o clima mundial está mudando com eventos extremos em várias regiões do mundo como tornados, ressacas, chuvas de alto índice pluviométrico, granizos, secas persistentes, entre outros.

No Brasil, verifica-se que, nos últimos anos ocorreram estes eventos (principalmente na região Sul), onde há grandes extremos de temperatura. Desta forma ocorrem efeitos climáticos de 2º ordem como chuvas torrenciais e não incomum granizo.

Com o aumento da ocorrência de chuvas de granizo (de média a grandes proporções) combinado com a falta de preocupação com a escolha dos telhados das construções no Brasil verifica-se um alto índice de danos nos imóveis atingidos.

Desta forma, a preocupação com a resistência das telhas mais utilizadas submetidas a esforços de impacto se torna cada vez mais necessária a fim de orientar os executores de obras, futuros proprietários e até seguradoras de imóveis.

Sendo assim, verificou-se no meio acadêmico e nas normas regulamentadoras a inexistência de avaliações deste tipo de esforço dinâmico e, desta forma, a observação e análise deste esforço torna-se cada vez mais imprescindível em locais com aumento de incidências de eventos climáticos extremos (principalmente o granizo).

1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O objetivo deste trabalho é desenvolver a proposta de um método de ensaio para avaliar a resistência mecânica de alguns padrões usuais de telhas e de pelo menos 3 tipos diferentes de materiais quando submetidas à força de impacto como o esforço provocado por chuvas de granizo.

Especificamente é propor um método de procedimento de execução do teste, avaliando o comportamento ao impacto de algumas telhas de padrões usuais e comparar sua resistência entre as telhas ensaiadas.

Também, o presente trabalho, pretende estabelecer qual o tamanho mínimo de granizo capaz de danificar os diferentes tipos de materiais dos telhados mais usuais no Brasil e quais as variáveis mais importantes na obtenção destes resultados.

O telhado ou a cobertura de uma edificação tem como função garantir proteção contra variações de temperatura, chuva e ventos. Num projeto arquitetônico, a escolha do tipo de cobertura e sua forma devem estar relacionadas diretamente ao tipo de clima da região onde estará localizada esta construção. O custo de uma cobertura residencial varia em torno de 10% do custo total de uma construção.

Atualmente, no mercado, existem várias opções de produtos e a sua escolha depende do tipo de edificação e das vantagens e desvantagens de cada sistema de cobertura.

Quando o assunto é cobertura, o que não faltam são dúvidas. Uma boa escolha na forma de construção e o tipo do material a ser utilizado com telhas de qualidade e com resistência suficiente para prevenir complicações irão proporcionar conforto e prolongar o período de manutenção e durabilidade. A garantia de uma boa cobertura começa na escolha de qual telha será utilizada na obra.

Diante do exposto, este trabalho tem a expectativa de contribuir com o meio técnico e acadêmico com a inclusão de mais um ensaio em telhas de diferentes materiais a fim de dar suporte a projetistas, construtoras e proprietários de edificações na escolha de uma segurança maior aos ocupantes das edificações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COBERTURAS DAS CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS, COMERCIAIS E INDUSTRIAIS

As coberturas das edificações são as partes das edificações diretamente atingidas pelas intempéries. As normas técnicas existentes para os diversos tipos de telhas possuem ensaios para a verificação das condições das telhas em relação a características geométricas, impermeabilidade, percentual de absorção e ruptura a flexão.

Sabe-se que, praticamente, 100% dos imóveis construídos em áreas urbanas e grande parte dos imóveis construídos em áreas rurais possuem algum tipo de cobertura superior revestida por telhas.

2.2 TIPOS DE TELHADOS

Os telhamentos podem ser compostos principalmente por telhas de barro, telhas de barro esmaltadas, telhas cerâmicas esmaltadas, telhas de concreto, telhas de fibrocimento, telhas de vidro, telhas de plástico, e telhas de “asfalto” (tipo “shingle”), entre outros tipos mais incomuns, como telhas de material reciclável de embalagens.

Abaixo estão representados nas figuras de 1 a 9 os tipos de telhas mais comuns encontradas nas edificações residenciais, comerciais e industriais.

- Telhado com telhas de barro



Figura 1 – Telhado com telhas de barro
Fonte: www.ecomadeiras.com.br

- Telhado com telhas de barro esmaltadas



Figura 2 – Telhado com telhas de barro esmaltadas
Fonte: www.artgres.com.br

-Telhado com telhas cerâmicas esmaltadas



Figura 3 – Telhado com telhas cerâmicas
Fonte: www.damale.com.br

- Telhado com telhas de concreto onduladas



Figura 4 – Telhado com telhas cerâmicas
Fonte: www.deolhonaobra.com.br

- Telhado com telhas de concreto planas



Figura 5 – Telhado com telhas de concreto planas
Fonte: www.casadastelhasbnu.com.br

- Telhado com telhas de vidro



Figura 6 – Telhado com telhas de vidro
Fonte: www.vidroimpresso.com.br

- Telhado com telhas de plástico



Figura 7 – Telhado com telhas de plástico
Fonte: www.telhadosconfianca.com.br

- Telhado com telhas de “asfalto”



Figura 8 – Telhado com telhas de asfalto
Fonte: www.telhados.srv.br

- Telhado com telhas de materiais recicláveis



Figura 9 – Telhado com telhas de material reciclável
Fonte: www.ecopex.com.br

- Telhado com telhas de fibrocimento



Figura 10 – Telhado com telhas de fibrocimento
Fonte: www.cobervale.com.br

2.3 PATOLOGIAS MAIS COMUNS

Na execução de telhados qualquer pequeno defeito pode ocasionar grandes danos às edificações. Os danos decorrentes normalmente são: transbordamento de água, entupimento de calhas, ação do vento, envelhecimento das telhas, granizos e escorrimento de água. Estes tipos de problemas são decorrentes de diversos fatores. Os mais comuns são: baixa qualidade da estrutura (normalmente de madeira) do telhado, encaixe deficiente das telhas, falta de manutenção e verificação dos encaixes das telhas (que podem se mover em casos de ventanias), proliferação de fungos, quebras ou trincas em telhas por terceiros (no caso de instalações de antenas, pára raios, etc). Nas figuras de 11 a 15 são apresentadas imagens das patologias.

- Encaixe deficiente



Figura 11 – encaixe deficiente
Fonte: autor

- Proliferação de fungos



Figura 12 – fungos
Fonte: autor

- Telhas quebradas, rachadas ou fissuradas



Figura 13 – telhas cerâmicas quebradas
Fonte: www.pt.dramstime.com

Outras patologias em telhados decorrem da má execução e/ou projeto da estrutura do telhado e ação de ventos fortes.

- Ação de ventanias



Figura 14 – ação dos ventos
Fonte: www.g1.globo.com

No passado recente (início do século) eventos extremos tinham períodos de recorrência entre 20 e 50 anos. Nos últimos 10 anos, danos provenientes de chuvas de granizo são cada vez mais recorrentes, com repetições anuais.

- Ação de granizos



Figura 15 – chuvas de granizo
Fonte: www.gazetadopovo.com.br

2.4 PRECIPITAÇÃO DE GRANIZO

As chuvas de granizo ocorrem quando o clima oferece condições muito específicas. A principal delas são as nuvens de tempestades fortes, que, além de granizo e chuva forte, também provocam ventanias e relâmpagos. DIAS (2016) e SELUCHI (2016), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), em São José dos Campos, SP dizem que a característica dessas nuvens (chamadas de cumulonimbus) é conter correntes de ar subindo e descendo a velocidades entre 50 a 100 km/h. “O ar quente empurra para cima as gotas de água que formam a nuvem. Elas se chocam com outras partículas e vão aumentando de tamanho”, afirma a meteorologista Maria Assunção da Silva Dias. Ao atingirem cerca de 5 km de altitude (local onde a temperatura é abaixo de zero), essas gotas congelam e formam pequenas pedras, que tendem a cair. “Mas elas só conseguem atingir o solo se tiverem tamanho suficiente para vencer a força do ar quente que as impulsiona de volta para o alto”, diz outro meteorologista, Marcelo Seluchi. Enquanto isso não acontece, elas continuam subindo e descendo dentro da nuvem, juntando-se a outras gotas de água e cristais de gelo. Quando ficam pesadas o suficiente para despencar, provocando assim as chuvas de granizo.

2.5 NORMATIZAÇÃO

De acordo com as normas da ABNT relativas a telhas cerâmicas - NBR 15.310 (ABNT, 2009), de concreto - NBR 13.858 (ABNT, 2009) e fibrocimento - NBR 5643 (ABNT, 2012) os ensaios normatizados no Brasil referem-se principalmente a os seguintes itens:

- Limite de absorção de água

Verificar qualitativamente a passagem ou não de água através da espessura da telha, quando a superfície superior da telha é submetida por um determinado tempo a uma pressão constante de água;

- Planicidade e retilinearidade

Verificar possíveis abaulamentos que possam prejudicar o encaixe das telhas.

- Limites dimensionais

Verificar as dimensões básicas e o rendimento médio de cada tipo de telha.

- Ensaio de resistência à flexão (ruptura a três pontos)

Verificar a resistência da telha quando submetida a esforços dinâmicos.

Existem também ensaios como **potencial de eflorescência e existência de partículas reativas e coração negro** (realizados pelo método da norma internacional ASTM C 1167-96), **potencial de resistência ao gelo/degelo** (realizados pelo método da norma internacional (ASTM C 1167-96 ou NP EN 539-2/1999) e **potencial de resistência a maresia** (realizados pelo método da norma internacional AS/NZS 4456.10:1997).

As normas referentes aos ensaios de telhas são:

Telhas de fibrocimento sem amianto – NBR 5643 (ABNT, 2012)

Telhas cerâmicas – NBR 15.310 (ABNT, 2009)

Telhas de concreto – NBR 13.858 (ABNT, 2009)

Desta forma, a pesquisa sobre ensaios de impacto em telhas não é encontrado no meio acadêmico e comercial.

Métodos padronizados de análise de impacto para outros tipos de materiais (principalmente metálicos e para uso na indústria automotiva) a pesquisa baseou o ensaio. O nome de um destes ensaios é o Charpy ou Izod. Para o caso de telhas o

ensaio Charpy pode ser aconselhável, pois o material a ser ensaiado fica biapoiado (caso das telhas) enquanto que o Ensaio Izod o material fica engastado (que não é o caso em telhas usuais). Este ensaio Charpy utiliza um pêndulo que cai de determinada altura com um peso em sua ponta (que pode ser alterado em forma e peso) e na parte inferior coloca-se o material a ser ensaiado para verificação da resistência ao impacto. (SOUZA, 1982).

O trabalho procura iniciar um estudo para realização de um processo de padronização (a partir dos princípios básicos do ensaio de Charpy) e sugestão de inclusão deste tipo de ensaio nas normas referentes a materiais utilizados em coberturas que possam estar sujeitas a chuvas de granizo ou outros tipos de impacto.

2.5.1 Ensaio de Charpy

Os ensaios de impacto são feitos para medir a segurança, qualidade e confiabilidade dos mais diversos materiais como, por exemplo, automobilismo, aeronaves assim como em peças específicas utilizadas na indústria, além de ser empregado também no estudo da fratura frágil dos metais, que é caracterizada pela propriedade de um metal atingir a ruptura sem sofrer deformação apreciável. Devido sua simplicidade e sua rapidez, além de ser um ensaio dinâmico que consiste na aplicação de uma carga instantânea sobre um corpo de prova, ele é muito usado. (BASTOS, 2012).

Os materiais podem ser classificados basicamente como frágeis, que apresentam pequena deformação, absorvendo pouca energia antes da ruptura ou dúcteis, que apresentam grande deformação, absorvendo muita energia antes da ruptura. Em outras palavras, no ensaio, quanto menor a energia absorvida, mais frágil será o comportamento do material, e vice versa. (BASTOS, 2012).

Este experimento proporciona a determinação da velocidade e da energia de impacto de um corpo de prova, obtendo a resistência ao impacto do mesmo, além da análise do tipo de fratura sofrida pela peça.

Cálculo do Impacto (Método de Charpy):

A determinação da altura do pêndulo após a fratura do corpo de prova pode ser feita diretamente pela sua elevação ou por cálculos baseados nos ângulos do pêndulo, conforme ilustrado na Figura 16

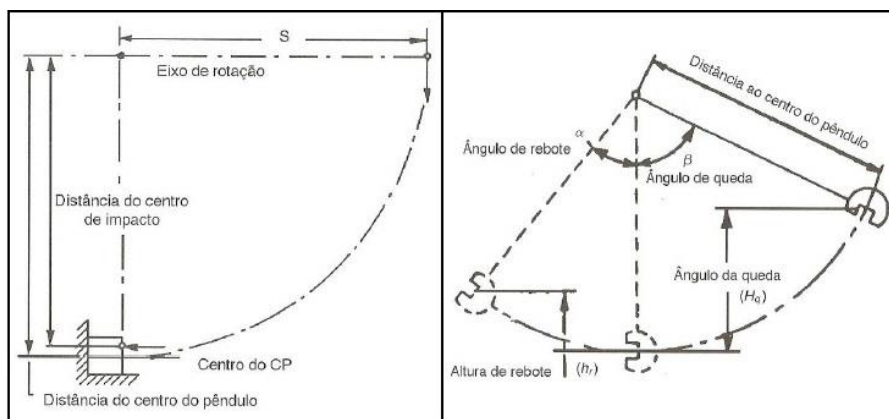


Figura 16 – Configurações do equipamento de ensaio para os cálculos quantitativos
Fonte: (GARCIA, 2000)

As alturas são determinadas por:

$$h_q = S \cdot (1 - \cos\beta) \quad (\text{m}) \quad \text{em função do ângulo de queda}$$

$$h_r = S \cdot (1 - \cos\alpha) \quad (\text{m}) \quad \text{em função do ângulo de rebote}$$

Onde:

S é a distância do centro do peso até a extremidade do pêndulo (m);

β é o ângulo de queda (rad) e;

α é o ângulo de rebote (rad).

A determinação da velocidade de impacto, desprezando-se o atrito do peso com o ar, é feita por meio da seguinte relação de energia:

$$E_{\text{potencial}} = E_{\text{cinética}} \quad (1)$$

$$M \cdot g \cdot h_q = M \cdot v^2 / 2 \quad (2)$$

$$v = (2 \cdot g \cdot h_q)^{1/2} \quad (3)$$

Onde E é a energia (J); V é a velocidade do pêndulo no instante do impacto (m/s) e g é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

A energia absorvida no impacto corresponde à diferença entre a energia potencial do pêndulo na altura de queda e a energia potencial do pêndulo na altura de rebote, dada por:

$$E_{\text{impacto}} = M \cdot g \cdot (h_q - h_r) \quad (4)$$

Outro ensaio a ser estudado é o ensaio utilizado para teste de impacto em pisos cerâmicos - informado no anexo Q da NBR- 13.818 (ABNT, 1997) e descrito no item abaixo.

O teste de impacto em peças cerâmicas o procedimento consiste em liberar uma esfera de uma altura de 1 metro e após o impacto mede-se a altura de retorno para, posteriormente calcular o coeficiente de restituição K.

Deve-se examinar a placa e, rachaduras menores que 2 mm, são ignoradas e lascamentos são anotados.

Quanto maior o coeficiente de restituição, maior a resistência ao impacto. O cálculo do coeficiente de restituição é dado pela seguinte equação:

$$K_f = \frac{v}{u} \quad (5)$$

onde: v é a velocidade de subida (na restituição)
 u é a velocidade na descida (na queda)

Se h_i é a altura de queda e h_f é a altura de restituição, tem-se:

$$v^2 = 2.g.h_f \quad (6)$$

$$u^2 = 2.g.h_i \quad (7)$$

Substituindo os valores na equação acima tem-se:

$$K^2 = \frac{h_f}{h_i} \quad (8)$$

2.6 HISTÓRICOS DE CHUVA E VENDAVAL EM ALGUMAS CIDADES DO PARANÁ

Através de pesquisas aos órgãos de previsão do tempo no Paraná e Nacional (SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná e INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) obteve-se uma série de ocorrências de precipitação e velocidade dos ventos a fim de comprovar o aumento da recorrência e da intensidade de precipitações e velocidades dos ventos nos últimos anos. Vale salientar que não existe instrumento de medição para ocorrências de granizo. Os eventos de granizo são obtidos através de publicações nos meios de comunicação. (INPE - SIMEPAR, 2016).

Abaixo, as figuras de 17 a 28 demonstram os gráficos de precipitação e velocidade dos ventos nas regiões de Curitiba, Ponta Grossa, Maringá, Cascavel, Pato Branco e Foz do Iguaçu.

2.6.1 CURITIBA

Em Curitiba, se verifica um aumento de picos de precipitação e de número de ocorrências destes picos nos últimos 10 anos. Na análise da velocidade dos ventos verifica-se certa estabilidade nesta região. As figuras 17 e 18 abaixo demonstram os aumentos destes picos nos últimos anos.

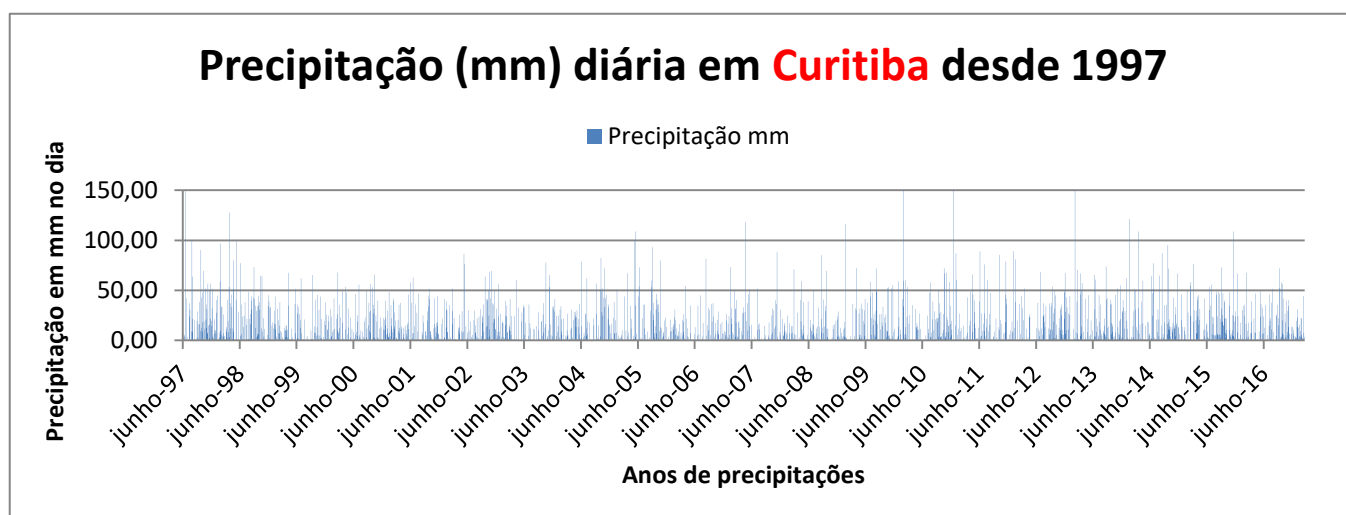


Figura 17 – gráfico de precipitação em Curitiba de 1997 aos dias atuais
Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

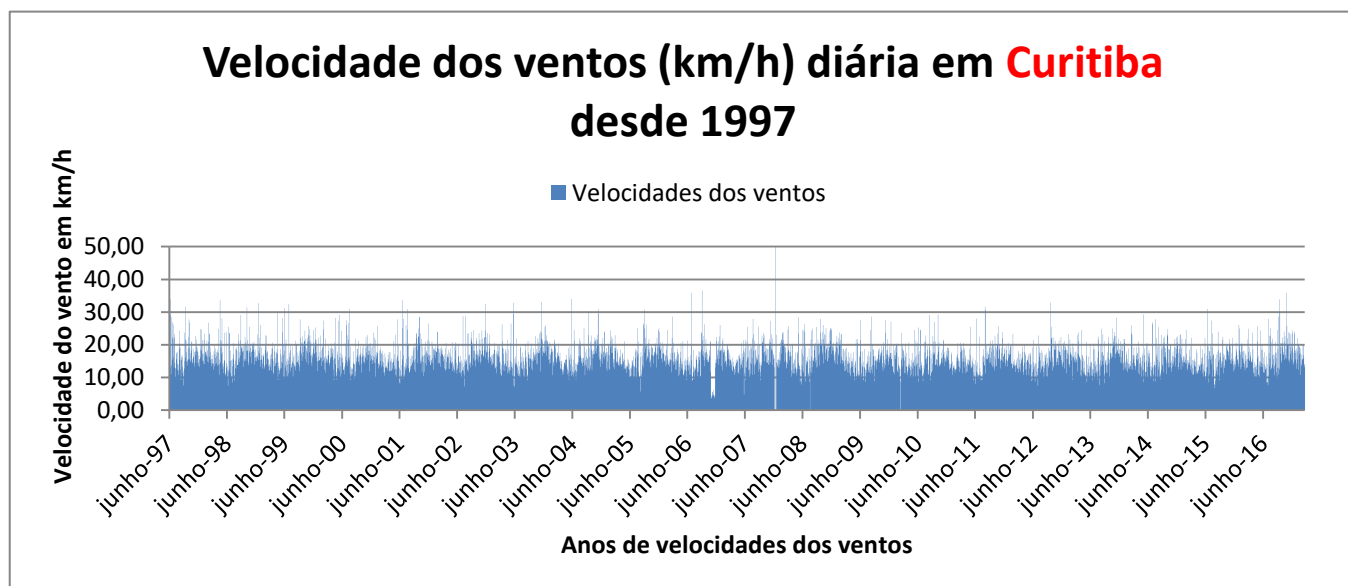


Figura 18 – gráfico de velocidade dos ventos em Curitiba de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

2.6.2 PONTA GROSSA

Em Ponta Grossa, se verifica um aumento de picos de precipitação e de número de ocorrências destes picos nos últimos 10 anos. Na análise da velocidade dos ventos verifica-se certa estabilidade nesta região. As figuras 19 e 20 abaixo demonstram os aumentos destes picos nos últimos anos.

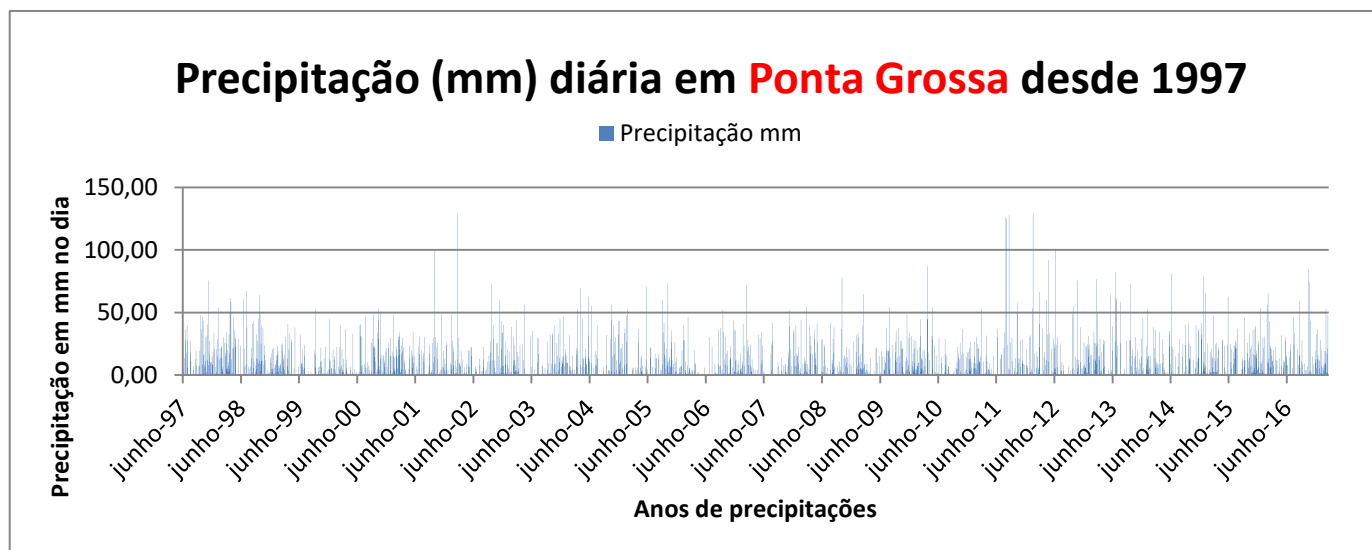


Figura 19 – gráfico de precipitação em Ponta Grossa de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

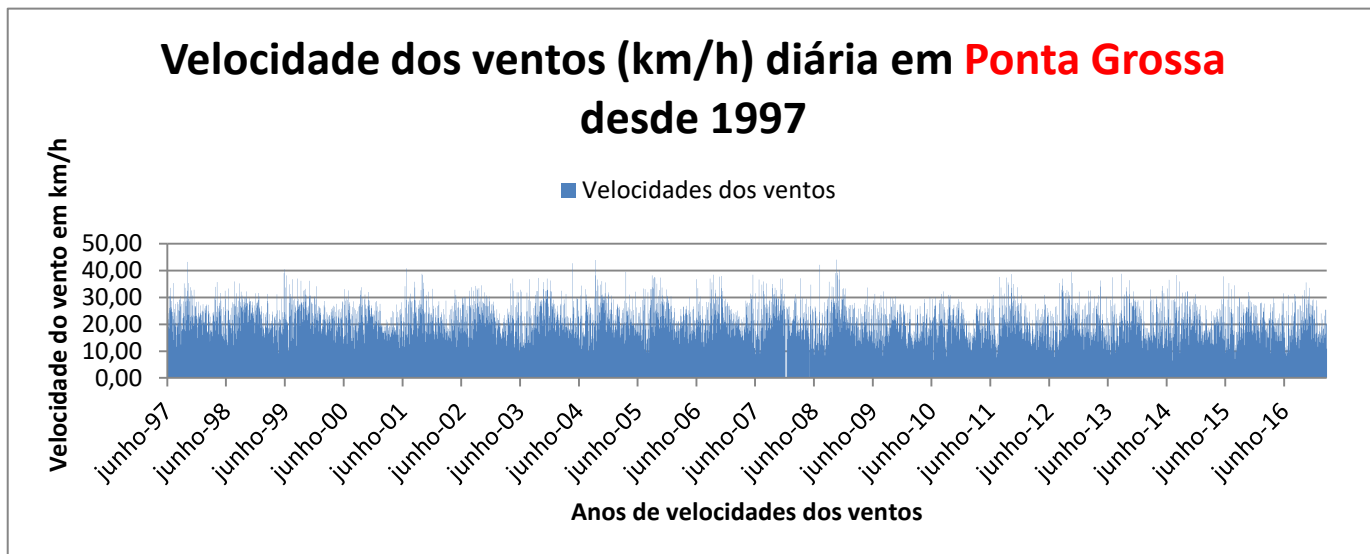


Figura 20 – gráfico velocidade dos ventos em Ponta Grossa de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

2.6.3 MARINGÁ

Em Maringá, verifica-se um aumento de picos de precipitação e de número de ocorrências destes picos nos últimos 10 anos. Na análise da velocidade dos ventos verifica-se certa estabilidade nesta região. As figuras 21 e 22 abaixo demonstram os aumentos destes picos nos últimos anos.

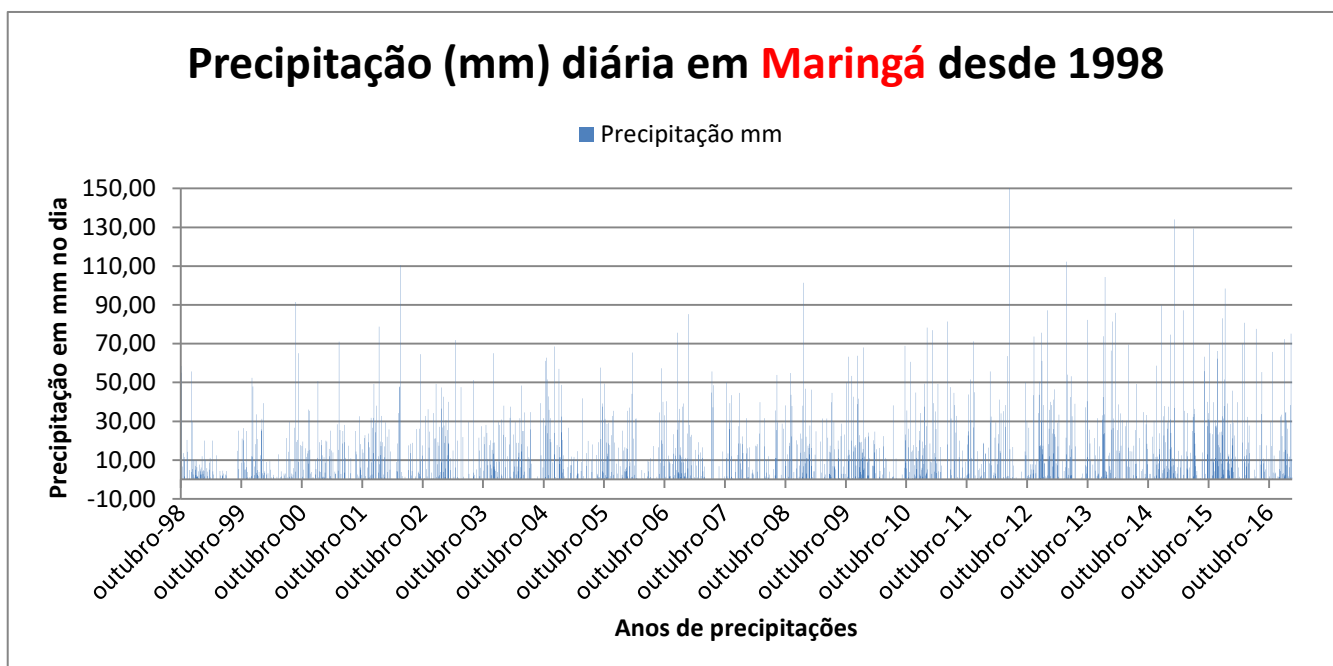


Figura 21 – gráfico de precipitação em Maringá de 1998 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

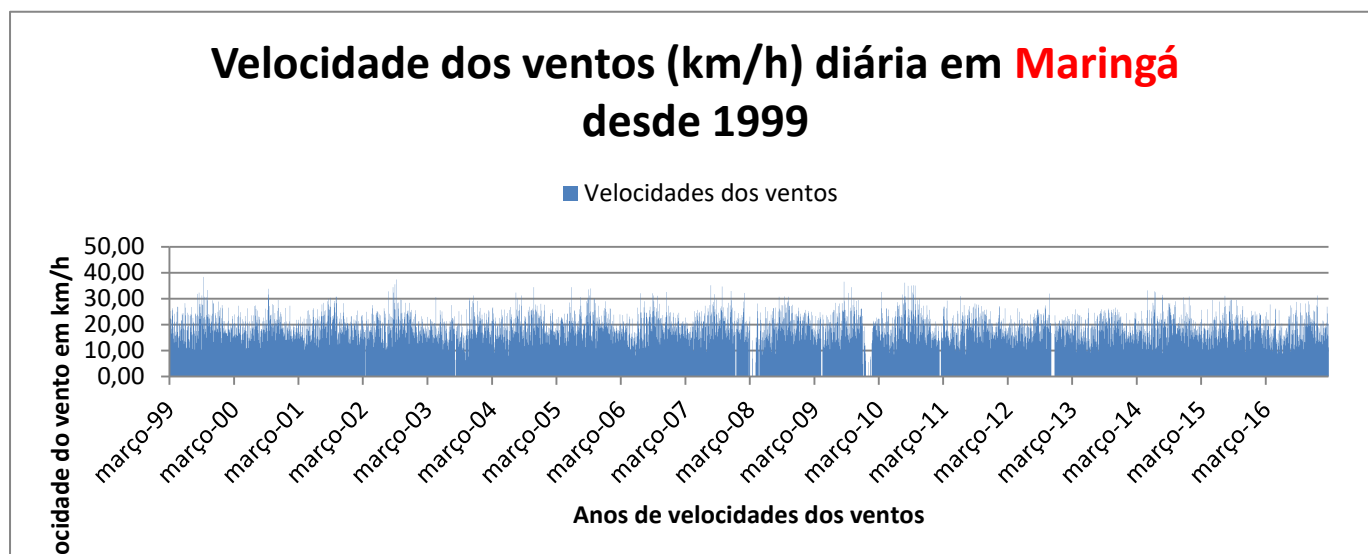


Figura 22 – gráfico velocidade dos ventos em Maringá de 1999 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

2.6.4 FOZ DO IGUAÇU

Em Foz do Iguaçu, verifica-se um aumento de picos de precipitação e de número de ocorrências destes picos nos últimos 10 anos. Na análise da velocidade dos ventos verifica-se certa estabilidade nesta região. As figuras 23 e 24 abaixo demonstram os aumentos destes picos nos últimos anos.

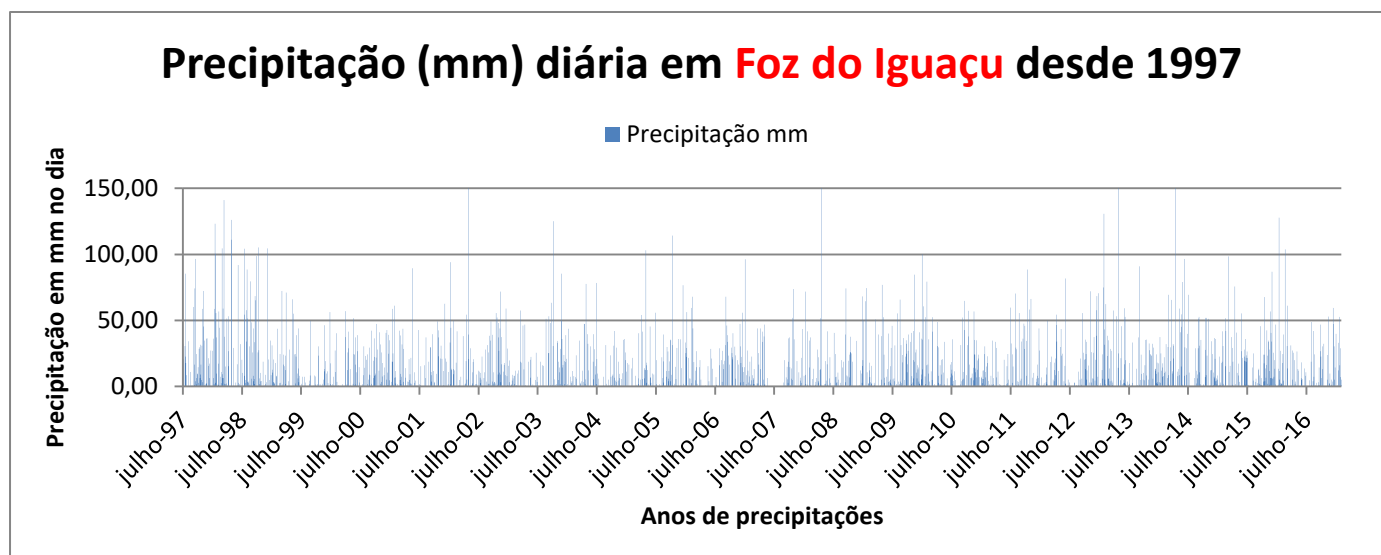


Figura 23 – gráfico de precipitação em Foz do Iguaçu de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

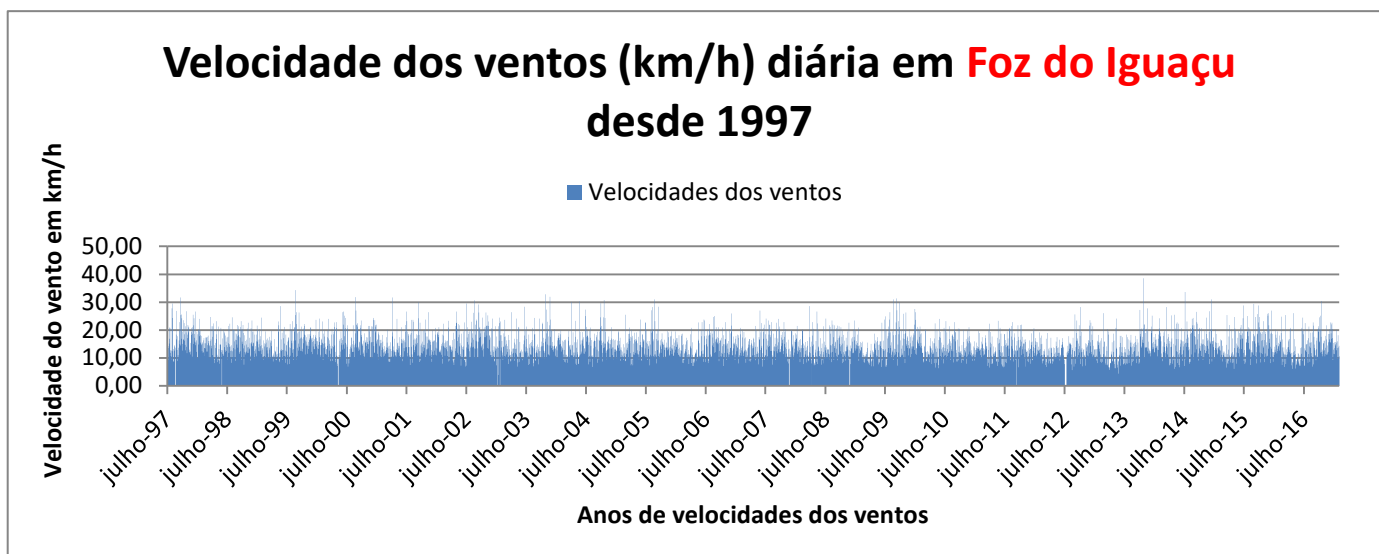


Figura 24 – gráfico velocidade dos ventos em Foz do Iguaçu de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

2.6.5 PATO BRANCO

Em Pato Branco, verifica-se um aumento de picos de precipitação e de número de ocorrências destes picos nos últimos 10 anos. Na análise da velocidade dos ventos verifica-se certa estabilidade nesta região. As figuras 25 e 26 abaixo demonstram os aumentos destes picos nos últimos anos.

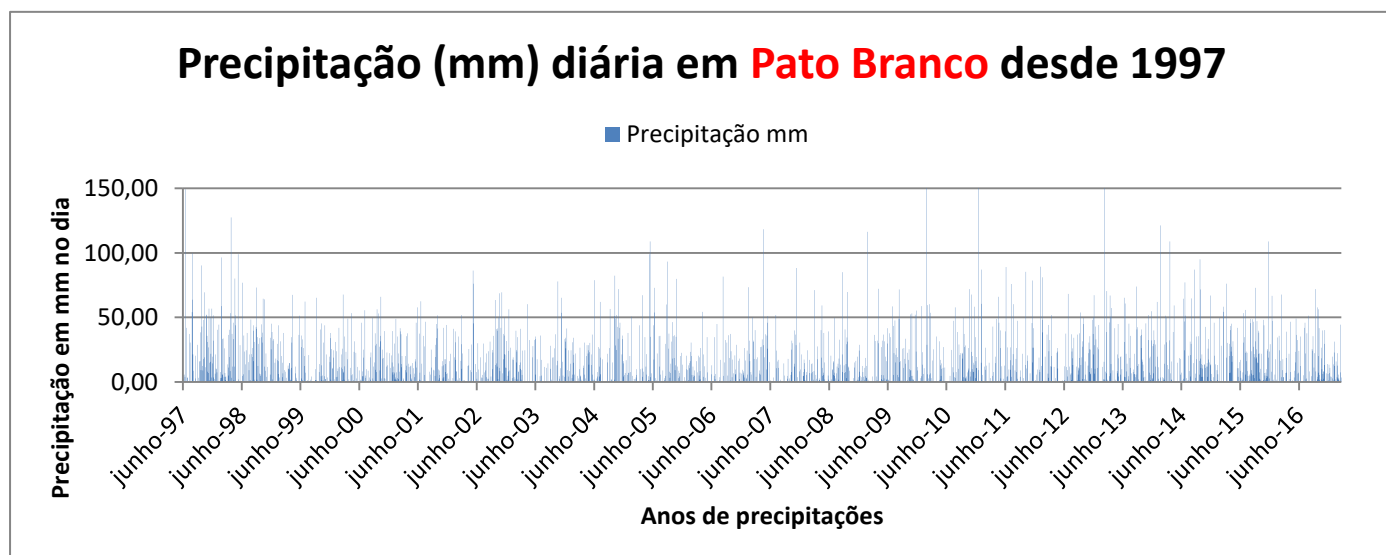


Figura 25 – gráfico de precipitação em Pato Branco de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

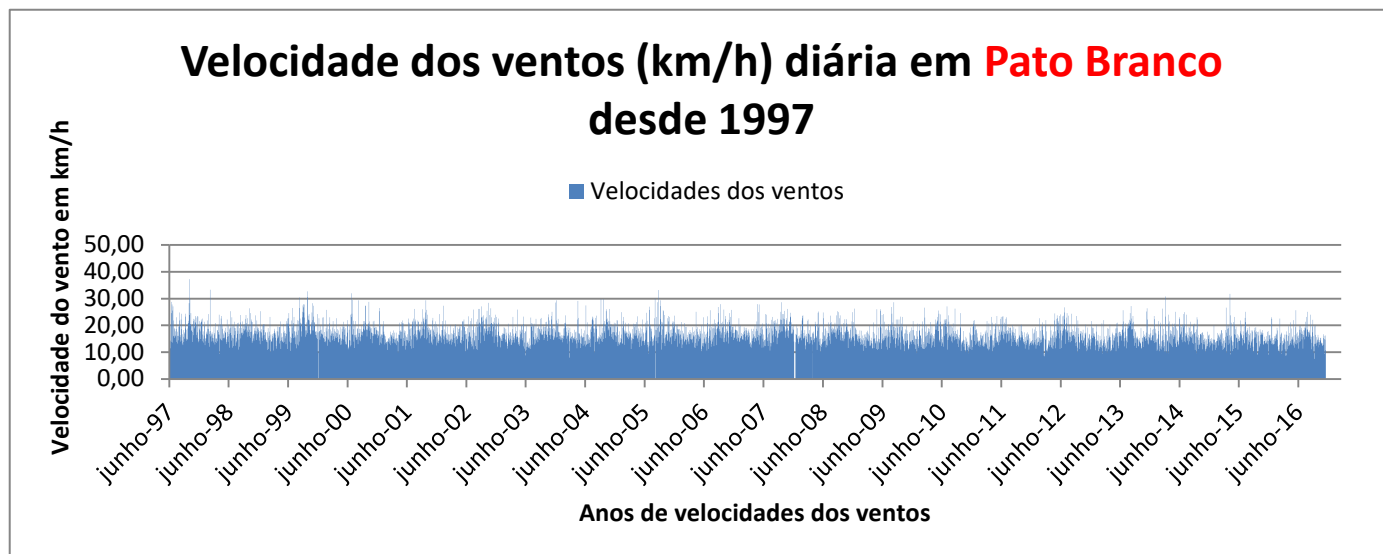


Figura 26 – gráfico velocidade dos ventos em Pato Branco de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

2.6.6 CASCAVEL

Em Cascavel, verifica-se um aumento de picos de precipitação e de número de ocorrências destes picos nos últimos 10 anos. Na análise da velocidade dos ventos verifica-se certa estabilidade nesta região. As figuras 27 e 28 abaixo demonstram os aumentos destes picos nos últimos anos.

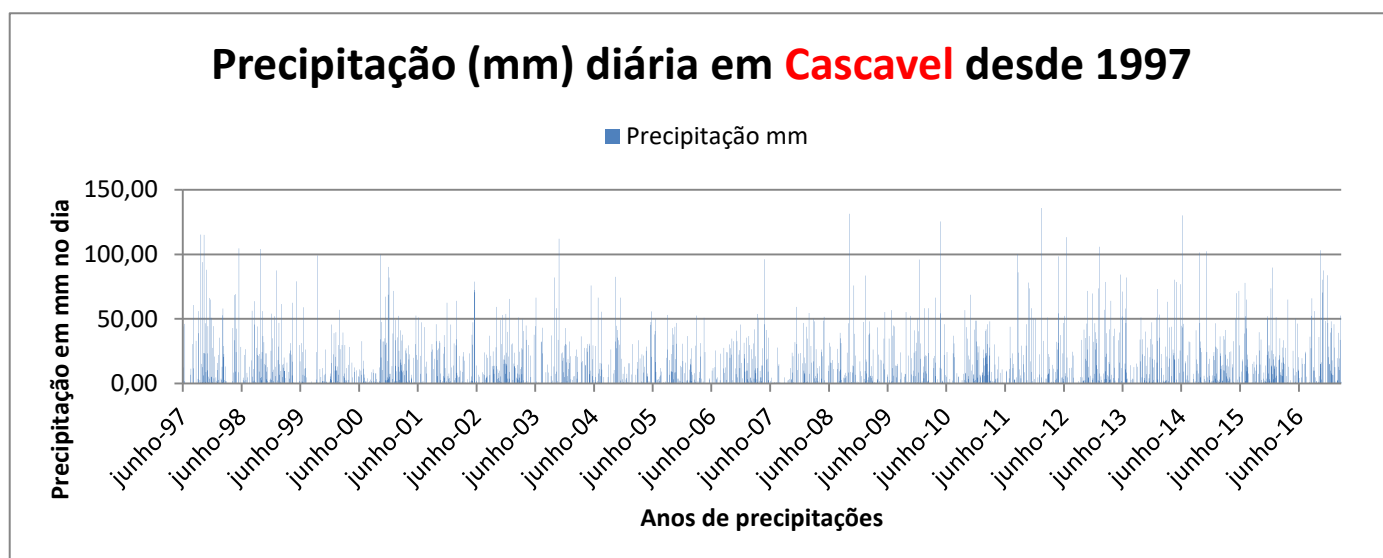


Figura 27 – gráfico de precipitação em Cascavel de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

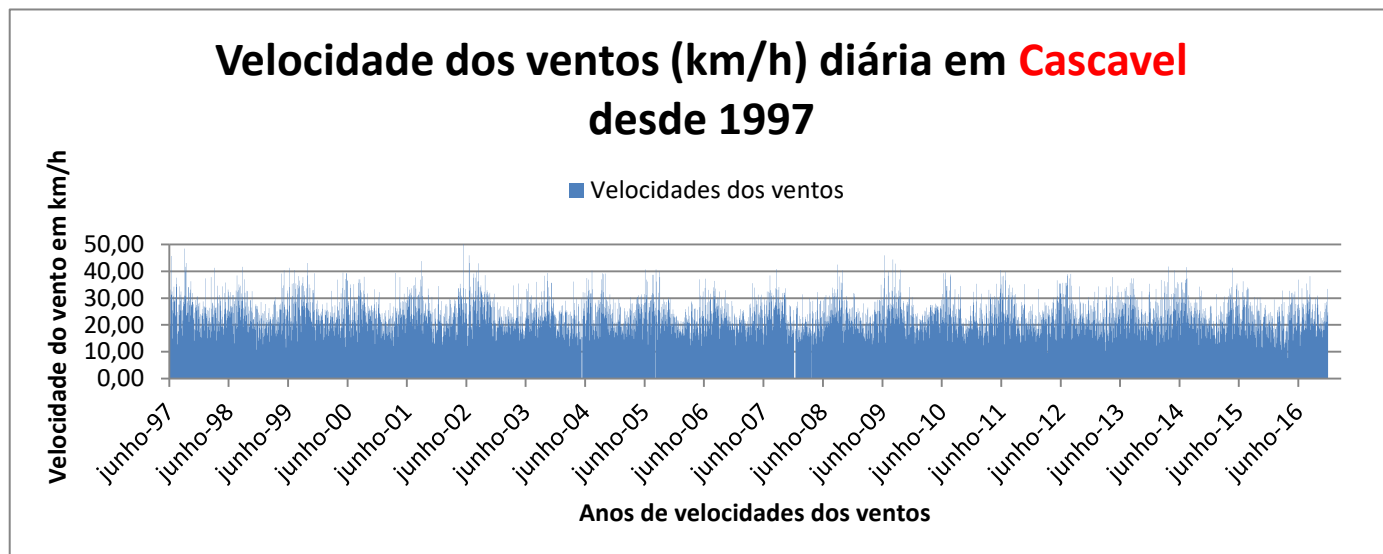


Figura 28 – gráfico velocidade dos ventos em Cascavel de 1997 aos dias atuais
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

Com análise dos dados fornecidos pelos gráficos acima, pode-se verificar uma incidência maior de precipitação e vendavais na região leste do estado do Paraná. Principalmente na cidade de Curitiba.

Além disso, verifica-se que no decorrer dos anos houve um aumento de eventos extremos nas cidades analisadas nos últimos 10 anos.

Desta forma, percebe-se que a capital do Paraná (e região metropolitana) está sujeita a eventos extremos de natureza climática podendo ocasionar danos aos imóveis de sua população.

2.7 OCORRENCIAS DE GRANIZO NO PARANÁ

A título de informação e com a intenção de demonstrar o aumento das chuvas de granizo na região SUL do país e São Paulo (no Sudeste) apresenta-se dados fornecidos pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais onde o gráfico demonstra o número de ocorrências de chuvas intensas de granizo nos estados da região SUL e São Paulo de 2013 a 2016. Sendo que em 2015 há apenas dados de dois meses e em 2016 informações de 6 meses. Os dados de 2013 e 2014 estão completos. (Fonte: INPE, 2016).

Na figura 29 é apresentado um gráfico onde há os números de ocorrências divulgadas na mídia de chuvas de granizo em cada estado da região Sul e São Paulo.

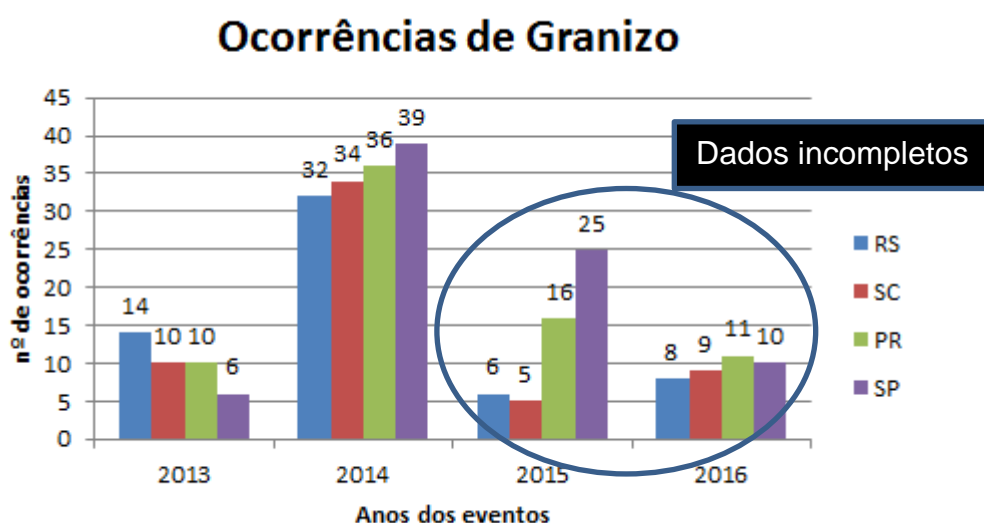


Figura 29 – ocorrências de granizo
 Fonte: INPE, SIMEPAR (2016) – adaptado pelo autor

2.8 VELOCIDADE DAS PEDRAS DE GRANIZO

Quando se analisa um corpo em queda livre normalmente, em pequenas alturas, desprezam-se os fatores de resistência do ar que o objeto está. Mas, no caso do granizo, as pedras de gelo caem de alturas superiores a 5 km. Sendo assim, a resistência do ar tem fundamental importância no seu estudo a fim de determinar qual é a velocidade máxima que o granizo chegará a atingir os objetos em terra. Sendo assim, SILVEIRA (2015) decreve abaixo como isso acontece.

Quando um corpo se movimenta em relação a um fluido, ele sofre uma força de arrasto viscoso e uma força de arrasto inercial. (SILVEIRA, 2015).

O número de Reynolds (Re) é um número adimensional, calculado pela razão da força de arrasto inercial (proporcional ao quadrado da velocidade do corpo em relação ao fluido) pela força de arrasto viscoso (proporcional à velocidade em relação ao fluido):

$$Re = \frac{\rho_F \cdot v \cdot l}{\mu_F} \quad (9)$$

onde:

v é o módulo da velocidade do corpo em relação ao fluido, l é a dimensão característica do corpo (comprimento que em ordem de grandeza especifique o

tamanho do corpo), ρ_F e a densidade do fluido e μ_F e o coeficiente de viscosidade do fluido. (SILVEIRA, 2015).

A uma temperatura de 20°C e a uma pressão de 1,0 atm, a densidade e o coeficiente de viscosidade do ar são respectivamente iguais a 1,2 kg/m³ e 2,0x10⁻⁵ kg/m.s. Se considerarmos corpos com a dimensão característica da ordem de 1,0 cm, isto é, 1,0x10⁻² m e com uma velocidade da ordem de 1,0 m/s, o número de Reynolds resulta em 10³, indicando que a força de arrasto inercial são várias ordens de grandeza maior do que a força de arrasto viscoso. Ou seja, para objetos como as pedras de granizo, com velocidades baixas em relação ao ar, a resistência oferecida pelo fluido é preponderantemente inercial. Cabe destacar que quanto maior for o tamanho do objeto que se move através do ar, tanto menor será o valor da sua velocidade para que o número de Reynolds resulte grande, e assim, para que os efeitos que a força de arrasto viscoso produz sobre ele sejam muito menores que aqueles produzidos pela força de arrasto inercial. (SILVEIRA, 2015).

“Ou seja, a “resistência proporcional à velocidade”, tão popular nos livros de Física Básica, não tem nenhuma importância (...) para qualquer objeto razoavelmente grande movendo-se no ar”, como e o caso de corpos como as pedras de granizo de grande tamanho (acima de 3cm de diâmetro). (SILVEIRA, 2015).

2.8.1 VELOCIDADE TERMINAL DE UM CORPO CADENTE ATRAVÉS DO AR

Conforme SILVEIRA (2015) o caso particular de um corpo, com dimensão da ordem de centímetro ou mais, caindo no ar. A intensidade da força que resiste a queda, a força de arrasto (inercial), é dada por:

$$F_{arrasto} = \frac{C}{2} \cdot \rho_F \cdot A \cdot v_T^2 \quad (10)$$

onde ρ_F é a densidade do fluido (que no caso em pauta é o ar), C é um coeficiente adimensional que depende da forma do corpo e A é a área da seção do corpo perpendicular a direção do movimento em relação ao fluido.

Um corpo caindo através do ar atinge sua velocidade terminal v_T quando a resultante das forças sobre o corpo se tornar nula. Desprezando-se o empuxo estático exercido pelo ar no corpo, a condição para que a velocidade terminal ocorra

e que a força da gravidade tenha a mesma intensidade da força de arrasto do ar, portanto:

$$m \cdot g = \frac{c}{2} \cdot \rho_F \cdot A \cdot v_T^2 \quad (11)$$

onde m é a massa do corpo e g é o valor da aceleração de queda livre.

Representando por ρ_C a densidade do material do corpo, e por v o seu volume, tem-se que, e assim, a equação pode ser reescrita como:

$$\rho_C \cdot v \cdot g = \frac{c}{2} \cdot \rho_F \cdot A \cdot v_T^2 \quad (12)$$

Desta equação obtém-se que o valor da velocidade terminal é:

$$v_T = \sqrt{\frac{2}{c} \cdot \frac{\rho_C \cdot v}{\rho_F \cdot A} \cdot g} \quad (13)$$

Considerando que o corpo cadente é granizo, com forma aproximadamente esférica. Como, a rigor, o coeficiente C também depende do número de Reynolds e, se o número de Reynolds se situa entre 10^3 e 10^5 o coeficiente C é aproximadamente constante. Então o coeficiente de arrasto C é dado por:

$$C = 0,6 \left(1 + \frac{5,83}{\sqrt{Re}} \right)^2 \quad (14)$$

Admitindo-se que a velocidade terminal seja na ordem de 10 m/s, o número de Reynolds resulta em aproximadamente 10^4 , levando a $C \approx 0,70$

$$v_T \approx \sqrt{\frac{2}{0,7} \cdot \frac{\rho_C \cdot \frac{4}{3} \cdot R}{\rho_F \cdot \frac{4}{3} \cdot R} \cdot R \cdot g} \quad (15)$$

Como para uma esfera a razão V sobre A é quatro terços do seu raio R , a velocidade terminal dada na equação (13) pode neste caso ser reescrita como:

$$v_T \approx \sqrt{3,8 \cdot \frac{\rho_C}{\rho_F} \cdot R \cdot g} \quad (16)$$

Considerando que a densidade do granizo ρ_C é aproximadamente $9,1 \times 10^2$ kg/m³ e que a densidade do ar ρ_F em condições normais de pressão e temperatura

vale cerca de $1,2 \text{ kg/m}^3$, a expressão para o valor da velocidade terminal, para R em m, resulta em:

$$v_T \approx 1,7 \times 10^2 \sqrt{R} \quad (17)$$

Algumas pedras de granizo em precipitação ocorrida na cidade de Campo Largo – PR no dia 17/10/2015 chegavam a ter diâmetro com cerca de 6,0 cm como se pode ver na figura 30.



Figura 30 - Foto de um exemplar do granizo em Campo Largo – PR
Fonte: Folha de Campo Largo – PR - 2015

Assim, pela última equação, obtem-se neste caso uma velocidade terminal com valor aproximado de 29 m/s ou cerca de 110 km/h. O valor da velocidade das pedras em relação ao solo desconsidera a ocorrência de ventos fortes no momento da queda pois a última equação estima a velocidade em relação ao ar e não em relação ao solo.

2.8.2 ENERGIA CINÉTICA MÁXIMA DO CORPO CADENTE

Quando o corpo que cai atinge a velocidade terminal v_T , sua energia cinética K em relação ao fluido alcança seu valor máximo:

$$K_{m\acute{a}x} = \frac{m.v_T^2}{2} \quad (18)$$

Lembrando que $M = \rho_C . V = \rho_C . 4.\pi.R^3/3$ e substituindo a velocidade terminal calculada, obtem-se para a energia cinética máxima da pedra de granizo

$$K \approx 5,5 \times 10^7 R^4 \text{ max joules}$$

onde R é raio da pedra em metros.

Desta forma a energia cinética máxima de uma pedra de granizo com raio de 3,0 cm resulta em cerca de 45 J.

Os danos causados por uma pedra de granizo ao colidir com algum objeto dependem, não exclusivamente, da energia cinética máxima que a pedra tem no momento da colisão. De acordo com a última equação, cresce com a quarta potência do raio da pedra. Daí entende-se que uma pedra pequena, com tamanho de uma ervilha (0,3 cm de raio), tem um poder de danificar muito menor (sua energia cinética é dez mil vezes menor) do que as pedras registradas em Campo Largo - PR.

2.8.3 VELOCIDADE E DESLOCAMENTO DO CORPO CADENTE

De acordo com SILVEIRA (2015) o modelo de queda com força de arrasto proporcional ao quadrado da velocidade e coeficiente de arrasto constante permite obter para a velocidade v em função do tempo t a expressão:

$$v = v_T \cdot \left(\frac{e^{\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau}}}{e^{\frac{t}{\tau}} + e^{-\frac{t}{\tau}}} \right) \quad (19)$$

onde $\tau = v_T / g$ é intervalo de tempo para que um corpo que caísse em queda livre atingisse uma velocidade com o mesmo valor da velocidade terminal v_T .

O deslocamento vertical y percorrido, desde o repouso, pelo corpo cadente é obtido como:

$$y = 2 \cdot Y \cdot \ln \left(\frac{e^{\frac{t}{\tau}} + e^{-\frac{t}{\tau}}}{2} \right) \quad (20)$$

onde $Y = v_T^2 / 2g$ é o deslocamento de um corpo caso caísse em queda livre, a

partir do repouso, percorreria para atingir uma velocidade com o mesmo valor da velocidade terminal v_T .

Na figura 31 são apresentados os gráficos da velocidade v e do deslocamento y dados pelas duas últimas expressões. A unidade de medida do tempo neste gráfico é τ , a unidade de medida da velocidade é v_T e a unidade de medida do deslocamento é Y .

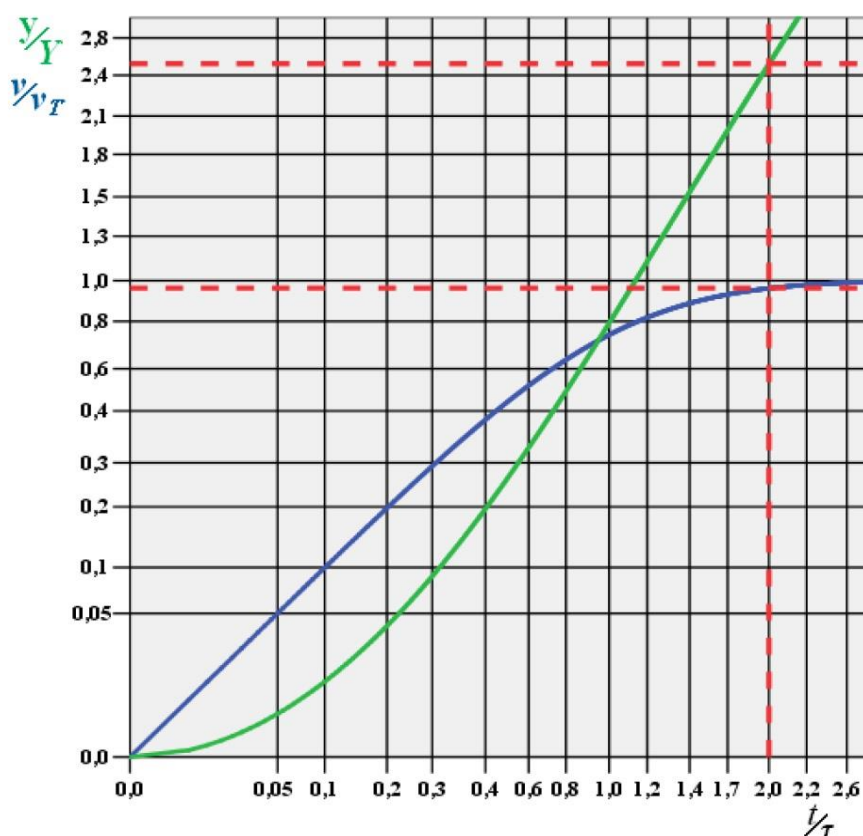


Figura 31 – Gráficos da velocidade e do deslocamento do corpo cadente.
Fonte: Silveira, 2015

Os gráficos apresentados da figura 31 também indicam que em $t = 2,0\tau$ o corpo cadente já se movimenta com uma velocidade que difere muito pouco do valor da velocidade terminal (atinge 96% do valor da velocidade terminal). E neste instante o seu deslocamento vertical $y(2,0\tau)$ é cerca de $2,5Y$.

Em face desses resultados pode-se concluir que a pedra de granizo com 3,0 cm de raio, que tem uma velocidade terminal de aproximadamente 29 m/s, praticamente atinge esta velocidade depois de cair cerca de $2,0\tau = 5,9$ s. A queda nestes 5,9 s resulta ser de apenas $2,5Y = 2,5 \times 292 / (2 \times 9,8) = 107\text{m}$.

Para a maior pedra de granizo já registrada o deslocamento vertical necessário para que atinja a velocidade terminal é de aproximadamente 370 m.

A formação do granizo acontece em altitudes entre 3 km e 6 km e o crescimento das pedras se dá pelo fato de que elas são sustentadas ou arremetidas para cima por fortes correntes ascendentes de ar cujas velocidades podem atingir o valor de 180 km/h. Quando as correntes ascendentes não são mais suficientes para sustentar as pedras, elas se precipitam (SILVEIRA, 2015).

Conforme os cálculos apresentados nos parágrafos anteriores, certamente uma queda com extensão de quilômetro ou maior é mais do que suficiente para que a velocidade terminal seja atingida.

2.9 FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO FRÁGIL DOS MATERIAIS DUCTEIS

Alguns materiais são mais afetados pela velocidade alta do choque, apresentando uma sensibilidade que é chamada sensibilidade à velocidade. (Garcia, 2000). Uma trinca promove concentração de tensões muito elevadas, o que faz com que a maior parte da energia produzida pela ação do golpe seja concentrada numa região localizada da peça, com a conseqüente formação da fratura frágil. A existência de uma trinca, por menor que seja, muda substancialmente o comportamento do material dúctil (GARCIA, 2000).

Um dos ensaios que permitem estudar os efeitos das cargas dinâmicas é o ensaio de impacto. Este ensaio é usado para medir a tendência de um material de se comportar de maneira frágil (GARCIA, 2000).

O choque ou impacto representa um esforço de natureza dinâmica, porque a carga é aplicada repentina e bruscamente. No impacto, não é só a força aplicada que conta. Outro fator é a velocidade de aplicação da força. Força associada com velocidade traduz-se em energia. O ensaio de impacto consiste em medir a quantidade de energia absorvida por uma amostra do material, quando submetida à ação de um esforço de choque de valor conhecido (GARCIA, 2000).

O método mais apropriado para simular uma chuva de granizo é o do golpe, desferido por um peso em oscilação ou em queda livre. A máquina correspondente é o martelo pendular. O pêndulo é levado a certa posição, onde adquire uma energia inicial. Ao cair, ele encontra no seu percurso o corpo de prova, que se rompe. A sua

trajetória continua até certa altura, que corresponde à posição final, onde o pêndulo apresenta uma energia final. A diferença entre as energias inicial e final corresponde à energia absorvida pelo material (GARCIA, 2000).

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de energia adotada é o joule. Em máquinas mais antigas, a unidade de energia pode ser dada em kgf.m; kgf.cm ou kgf.m. A máquina é dotada de uma escala, que indica a posição do pêndulo, e é calibrada de modo a indicar a energia potencial (GARCIA, 2000).

No ensaio Charpy (como foi relatado acima), o corpo de prova é bi apoiado como uma viga simples. O corpo de prova é posicionado de forma que o peso pendular atinja o local mais sensível (meio do vão e na pior situação – impacto perpendicular) (GARCIA, 2000).

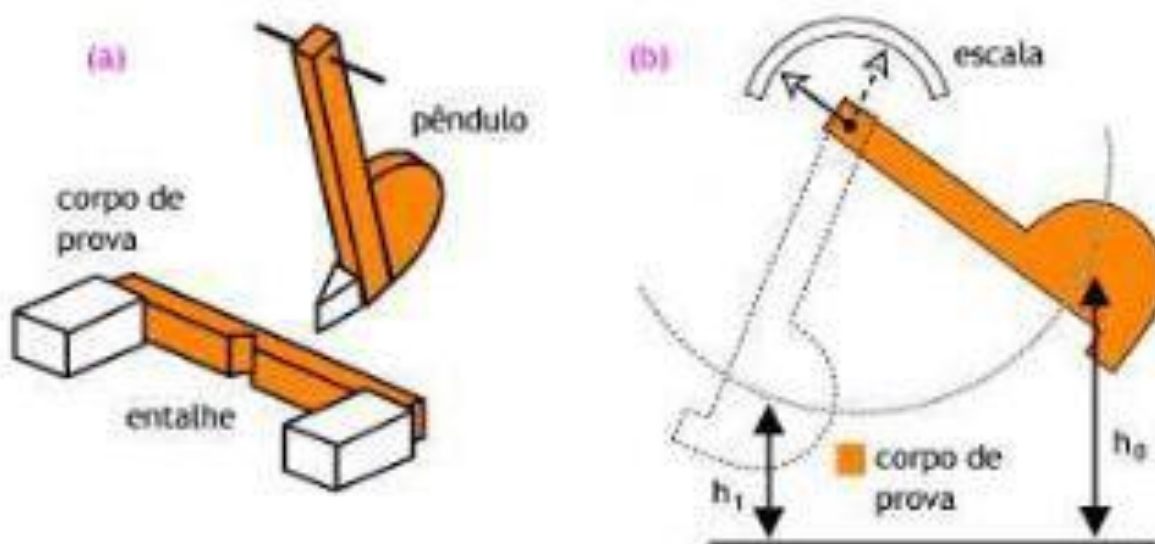


Figura 32 – Detalhes do ensaio de impacto Charpy.
 Fonte: GARCIA, 2000

O ensaio de impacto da NBR - 13.818 (ABNT, 1997) consiste fundamentalmente em liberar uma esfera de aço (com peso e altura de lançamento conhecidos). A figura 33 demonstra o princípio de funcionamento do ensaio.

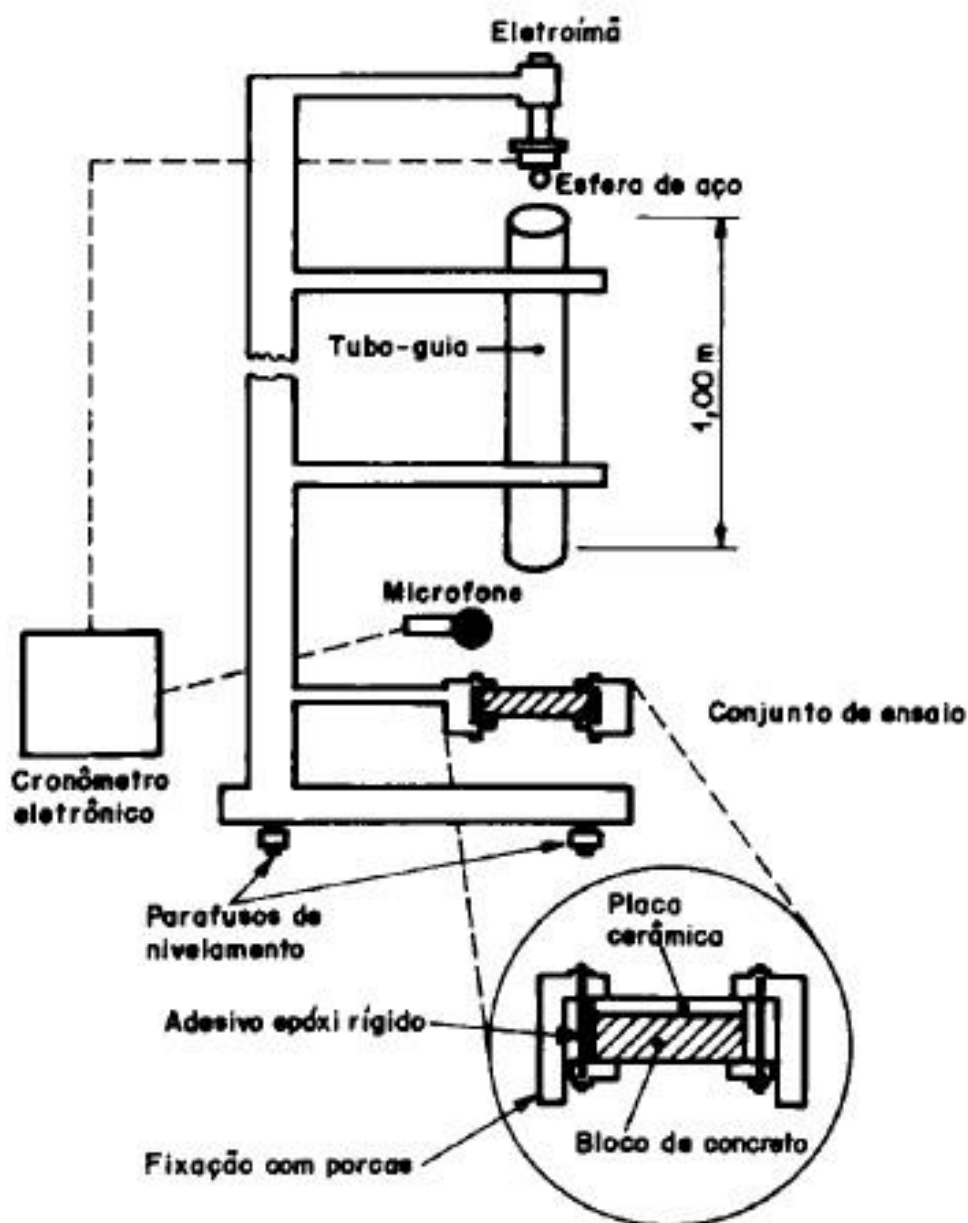


Figura 33 – teste impacto NBR 13.818 – Anexo Q
 Fonte: NBR 13.818 (1997)

Uma esfera é solta de uma altura de 1 metro e após o impacto mede-se a altura de retorno para, posteriormente calcular o coeficiente de restituição K .

Quanto maior o coeficiente de restituição, maior a resistência ao impacto.

2.10 ANÁLISE DE RESULTADOS POR REGRESSÃO LINEAR (INFERÊNCIA ESTATÍSTICA)

A regressão linear é um método estatístico que estuda a relação entre variáveis de determinado conjunto de dados. Mais comumente a regressão linear estuda uma variável dependente (variável de interesse) em relação a outras variáveis (relacionadas à sua pesquisa) que irão agregar informações e dados para a obtenção de um resultado à sua variável de pesquisa (variável dependente). Estas variáveis independentes poderão (através de processos matemáticos) ser estudadas a sua correlação entre as variáveis e o seu “peso” na determinação dos resultados finais de sua pesquisa de dados (DANTAS, 1998).

A regressão linear possibilita a demonstração gráfica (o melhor traçado) de uma linha de tendência entre a variável dependente e a variável principal e independente. Através destes gráficos é possível verificar se a linha de tendência está de acordo com o esperado da sua pesquisa (DANTAS, 1998).

Uma boa regressão linear ocorrerá se as variáveis independentes tiverem uma boa relação com a variável dependente (variável de interesse). Para que isto ocorra precisa-se de um universo de dados com informações importantes relativas às variáveis do universo da sua pesquisa. Quanto maior este universo maior a nossa certeza (DANTAS, 1998).

É importante frisar que não são quaisquer variáveis que terão poder influenciante na determinação dos resultados do seu objeto de estudo. Será que o diâmetro do granizo que irá romper (ou danificar) uma telha de determinado tipo é importante se pesquisar variável de um imóvel que possua laje ou forro? Com toda certeza não. Independentemente do fechamento do teto interno do imóvel não deverá haver correlação entre os danos nas telhas e o fechamento interno do imóvel. Desta forma é importante saber e testar as possíveis variáveis que possam ter relação com o seu objetivo (variável dependente). Variáveis como resistência a flexão, deformação, nº de impactos, local da queda do granizo na telha provavelmente serão importantes na determinação do diâmetro do granizo que poderá danificar o telhado.

O modelo de regressão linear simples para explicar a variação da variável dependente (Y) em função de uma única variável independente (X) (DANTAS, 1998). Expresso por:

$$Y = a + bX + \varepsilon \quad (21)$$

Onde:

Y : Variável dependente;

X : Variável independente;

α : Parâmetro de população;

b: Parâmetro de população;

ξ : Erros aleatórios do modelo.

O modelo de regressão linear múltipla serve para explicar a variação da variável dependente (Y) em função de varias variáveis independentes (X) (DANTAS, 1998).

$$Y = a + bX^1 + cX^2 + \dots + \varepsilon \quad (22)$$

Onde:

Y : Variável dependente;

X^i : Variável independente;

a, b, c, d, : Parâmetro de população;

ξ : Erros aleatórios do modelo.

O método dos mínimos quadrados identifica apenas funções lineares, entretanto, em alguns casos, é possível que a relação entre variáveis mostre dispersão de forma não linear. Neste caso é possível usar algumas transformações matemáticas com o objetivo de linearizar esta relação (SILVA, 2013a).

É possível realizar testes de transformações em cada variável para as seguintes formas (SILVA, 2013a), conforme abaixo:

Testes de		
<input type="checkbox"/> $1/x$	<input type="checkbox"/> x^2	<input type="checkbox"/> $1/x^2$
<input type="checkbox"/> $\ln(x)$	<input type="checkbox"/> $x^{1/2}$	<input type="checkbox"/> $1/x^{1/2}$

De acordo com DANTAS (1998), o modelo de regressão linear a devem ser testados:

Micronumerosidade: Número de dados efetivamente utilizados para cada variável. Deve ser testado para que se evite que apenas um dado informado de determinada variável seja o responsável pela sua importância no modelo estatístico.

Normalidade: Uma das distribuições que explicam a variação de uma população. Uma grande parte das “populações” de dados pesquisadas ou ensaiadas possui uma distribuição normal.

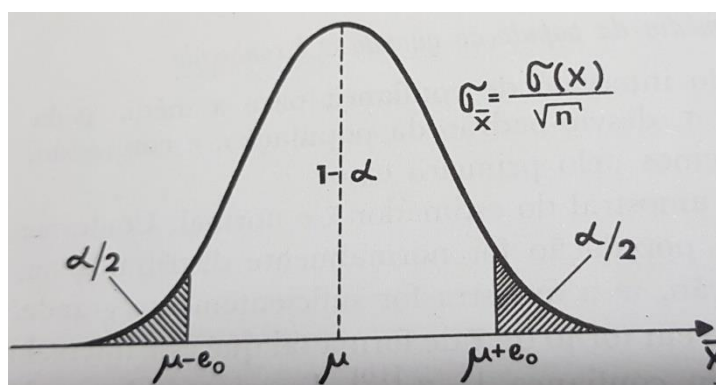


Figura 34 – curva normal
Fonte: COSTA NETO, 1987 – página 72

Homocedasticidade: Verificação da distribuição dos resíduos dos dados de uma população com característica de uma distribuição homogênea.

Multicolinearidade: Relação entre variáveis com relações lineares exatas ou praticamente exatas.

Significância: verificação das variáveis em relação ao modelo estatístico e suas hipóteses. Item importante para a verificação da qualidade da variável e se deve ser aceita ou não no modelo estatístico.

E o coeficiente de determinação, que identifica a equação linear que se mostre mais aderente ao conjunto de dados da amostra. Este resultado depende da amplitude de variação dos valores da amostra (SILVA, 2013a).

O coeficiente de correlação indica a força da relação de causa e efeito entre a variação da variável dependente e a variação das variáveis independentes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas esferas de aço e considerando que a densidade do aço ρ_C é aproximadamente $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e que a densidade do ar ρ_F em condições normais de pressão e temperatura vale cerca de $1,2 \text{ kg/m}^3$, a expressão para o valor da velocidade terminal, para R em m, resulta em:

$$v_T \approx 4,97 \times 10^2 \sqrt{R}$$

Ou seja, a relação entre as velocidades terminais é de **2,92 vezes maior** para as esferas de aço.

Para verificar a relação entre o granizo e as esferas de aço a energia cinética máxima da esfera de aço para um raio de 3cm e densidade do aço de $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ tem-se:

$$K \approx 403,50 \times 10^7 R^4 \text{ max joules}$$

Ou seja, a relação entre as energias cinéticas terminais é de **76,36 vezes maior** para as esferas de aço.

O trabalho procura iniciar um estudo para realização de um processo de padronização (a partir dos princípios básicos do ensaio de impacto da NBR - 13.818 – Placas Cerâmicas para Revestimento - 1997) (ABNT, 1997) e sugestão de inclusão deste tipo de ensaio nas normas referentes a materiais utilizados em coberturas que possam estar sujeitas a chuvas de granizo ou outros tipos de impacto.

Este experimento proporciona a determinação da velocidade e da energia de impacto de um corpo de prova, obtendo a resistência ao impacto do mesmo, além da análise do tipo de fratura sofrida pela peça.

Foi utilizada uma adaptação do método normalizado pela NBR – 13.818 (ABNT, 1997). A principal diferença é que o objetivo principal deste ensaio é a determinação do tamanho e impacto do “granizo” representado pelo peso.

Desta forma, através do cálculo do impacto, foi determinado qual o tamanho do “granizo” é capaz de romper o material a ser ensaiado.

Os materiais ensaiados serão todas telhas novas onduladas de fibrocimento sem amianto nas espessuras 4mm, 5mm e 6mm. Telhas de barro do tipo francesa, romana e portuguesa, telha de barro esmaltada portuguesa, telha cerâmica esmaltada portuguesa e telhas de concreto com 3 diferentes formas (ondulada, plana e ondulada frisada). Conforme as figuras 34 a 45 abaixo:



Figura 35 – Telha de Fibrocimento 4mm
Fonte: autor



Figura 36 – Telha de Fibrocimento 5mm
Fonte: autor



Figura 37 – Telha de fibrocimento 6mm
Fonte: autor



Figura 38 – Telha cerâmica francesa
Fonte: autor



Figura 39 – Barro portuguesa
Fonte: autor



Figura 40 – Barro romana
Fonte: autor



Figura 41 – Barro esmaltada
Fonte: autor



Figura 42 – Cerâmica esmaltada
Fonte: autor



Figura 43 – Concreto frisada
Fonte: autor



Figura 44 – Concreto plana
Fonte: autor



Figura 45 – Concreto ondulada
Fonte: autor

O sistema de fixação das telhas reproduz a técnica de como são colocadas nos telhados das construções. Além disso, o ponto de contato do impacto foi perpendicular (pior situação). Todas as telhas foram ensaiadas em estado máximo de saturação (conforme as normas específicas de cada telha). Desta forma a única variável analisada foi a força de impacto que rompe o material.

Para a determinação do diâmetro mais provável de granizo que romperá uma determinada telha foi utilizado o tratamento estatístico inferencial com a ajuda do software TS-Sisreg®. O software TS-Sisreg® é uma ferramenta muito utilizada para avaliação imobiliária que utiliza o sistema de regressão linear e atua como máquina de cálculo. Ele permite a análise estatística do universo de dados obtidos também para dados pesquisados como o objetivo deste trabalho.

Este software permite fazer uma análise dos resíduos da variável dependente, da estatística T-Student (que mostra uma análise individual das variáveis na formação do resultado), pois quanto maior o valor absoluto do T-Observado, maior a influência da variável. O teste T-Student mede a probabilidade de se cometer um erro ao aceitar que a variável interfere na variação da variável dependente. Deve-se tomar cuidado quando o T-Observado for muito superior aos demais: isso pode indicar que a variável explica quase toda a variação, com pequena contribuição das demais variáveis. Ainda há a análise de crescimento não linear; este deve apresentar a consistência com a realidade esperada para cada variável, conforme expectativa na criação da variável. Também é possível utilizar o módulo de correlações para analisar o grau de interferência de uma variável na outra, de forma isolada e de forma conjunta com outras variáveis, além de analisar o grau de interferência das variáveis independentes com a dependente.

3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os equipamentos utilizados para execução dos ensaios foram os seguintes:

- Esferas de aço nos diâmetros de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 cm. A figura 46 abaixo demonstra em ordem crescente as esferas de aço de 1 a 6 cm de diâmetro

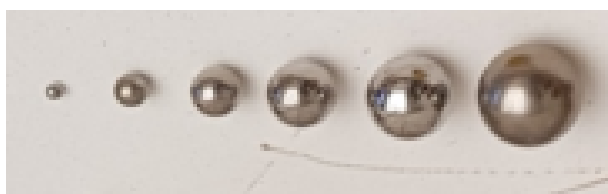


Figura 46 – Esferas de aço lançadas (de 1 a 6cm de diâmetro)
Fonte: autor

- Suporte para tubulação (com fixação no piso) que direciona o lançamento das esferas de aço à base (onde estarão as telhas para serem ensaiadas). A figura 47 abaixo mostra os materiais utilizados para a montagem e os equipamentos utilizados.

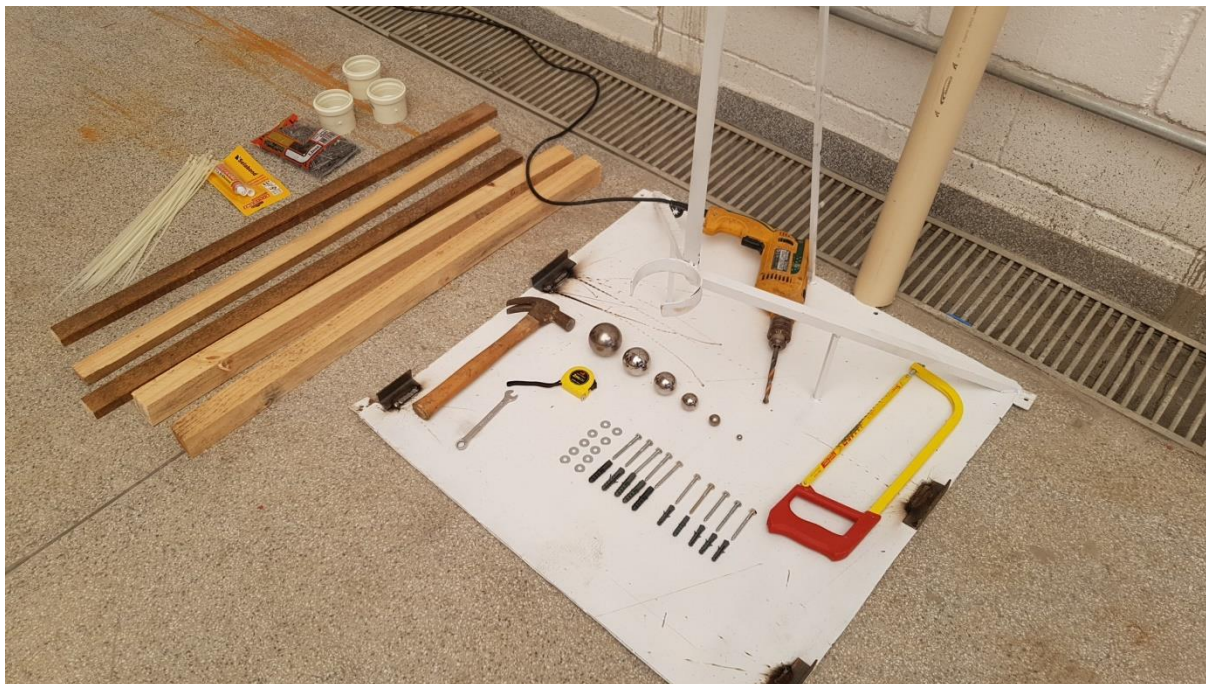


Figura 47 – Materiais e ferramentas utilizadas para montagem do aparelho
Fonte: autor

3.2 METODOLOGIA

Para permitir o deslocamento da esfera em queda livre, foi utilizado o esquema que consiste na fixação de um suporte metálico no piso e fixação de um tubo de PVC (de diâmetro de 75 mm) na posição vertical conforme figura 48 abaixo.



Figura 48 – Aparelhagem montada (pronta para ensaio)
Fonte: autor

Posteriormente, na base quadrada do suporte metálico foram colocadas as telhas a serem ensaiadas num ângulo de 90° com o tubo de PCV (que corresponde a situação mais desfavorável) conforme figura abaixo.



Figura 49 – Detalhe (telha úmida pronta para receber impacto)
Fonte: autor

Após a montagem dos equipamentos, procedeu-se a execução do ensaio com o lançamento das esferas de aço (de diferentes diâmetros e alturas) a fim de permitir determinar qual energia é capaz de promover o rompimento dos diversos tipos de telhas.

Tomaram-se como base as análises físicas descritas no item 2.7 deste trabalho e conforme gráficos e tabelas abaixo foram feitas correlações entre a real energia das pedras de granizo com as alturas equivalentes e diâmetros equivalentes das esferas de aço.

Procurou-se, também, utilizar o mesmo diâmetro entre os materiais (granizo/gelo e aço) alterando-se apenas as alturas de queda das esferas de aço. Apenas para valores acima de 4 cm de diâmetro foram considerados diâmetros e alturas diferentes, pois as alturas equivalentes ultrapassavam mais de 3 metros tornando inviável a aplicação do ensaio. Ou seja, para diâmetros de 1 a 3 cm foram utilizados as mesmas dimensões de objetos.

Nas figuras de 49 a 52 apresentam-se alguns gráficos com informações teóricas em relação à energia e diâmetros das esferas.

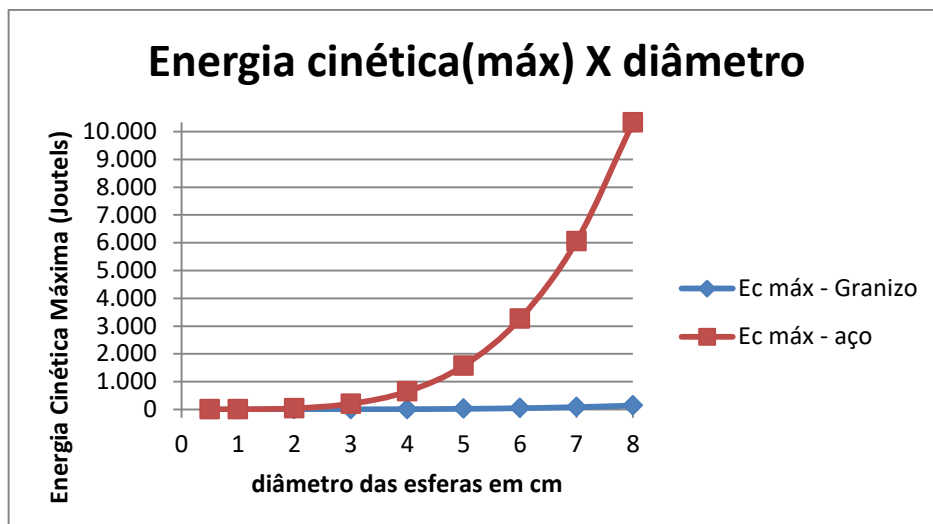


Figura 50 – Gráfico Energia cinética máxima granizo e aço
Fonte: autor

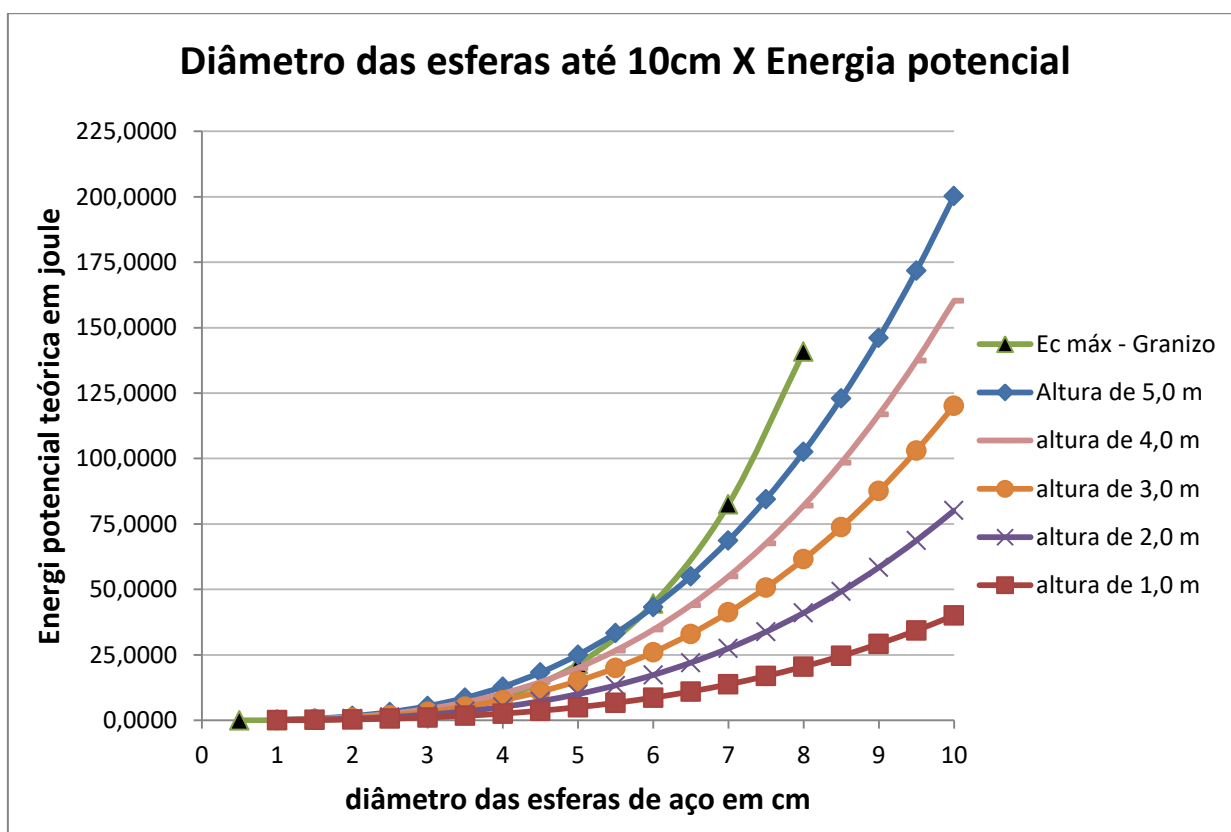


Figura 51 – Grafico Diâmetro das esferas x Energia Potencial
Fonte: autor

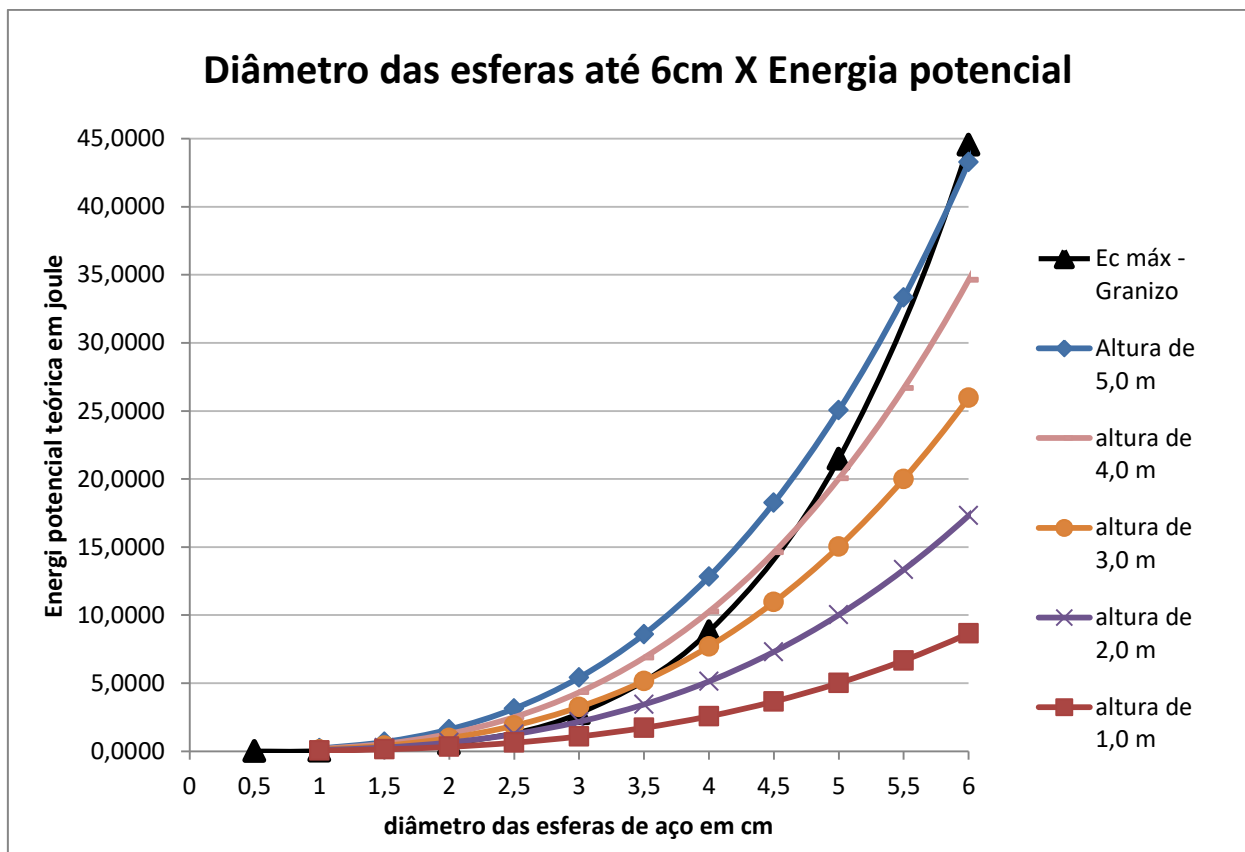


Figura 52 – Gráfico diâmetro das esferas x Energia potencial (Energia cinética máxima do granizo)
Fonte: autor

Os valores de flexão e deformação foram obtidos através de ensaios laboratoriais seguindo as orientações da norma NBR-15.310 (ABNT, 2009) - Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.

Foram realizados os ensaios de flexão/deformação e de absorção. De maneira sintética os ensaios foram realizados num conjunto de três telhas de cada tipologia.

Resumidamente a determinação da absorção das telhas foi obtida da seguinte forma:

- Colocação das telhas em estufa;



Figura 53 – Telhas secando em estufa
Fonte: autor

- Pesagem das telhas secas;



Figura 54 – Pesagem telha seca
Fonte: autor

- Colocação das telhas imersas em água por 24hs;



Figura 55 – Telhas imersas em água por 24hs

Fonte: autor

- Pesagem das telhas úmidas



Figura 56 – Pesagem das telhas saturadas

Fonte: autor

E por fim determinação da diferença percentual de peso onde se determinou o percentual de absorção de cada tipologia.

Para o ensaio de flexão/deformação procedeu-se da seguinte forma:

- Após 24hs imersas em água, as telhas foram submetidas ao ensaio de flexão/deformação em prensa hidráulica e conforme determinação do que recomenda a NBR-15.310 (ABNT, 2009) - Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.



Figura 57 – Ensaio de força - flexão/deformação
Fonte: autor

Desta forma obtiveram-se os gráficos flexão/deformação com todas as informações (média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximos e mínimos) que estão no Anexo A deste trabalho. Para a elaboração do trabalho procurou-se estabelecer uma relação entre os ensaios já normatizados referentes à resistência de cada telha (flexão, deformação e absorção) e variáveis do ensaio (altura de lançamento, diâmetro da esfera de aço, energia aplicada, espessura da telha, tipo de telha, local do impacto e nº de impactos).

Como curiosidade foi analisada também a região do impacto. Ou seja, quando a esfera atinge a parte plana da telha (parte inferior) ou a parte curva (normalmente parte superior) verificou-se (e como era de se esperar) quando a esfera atinge a parte curva das telhas a sua resistência é maior que quando atinge a parte plana ou inferior (mais baixa) da telha.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Abaixo, a tabela 01 demonstra os percentuais de absorção. Vale salientar que o máximo permitido por norma é 20% de absorção máxima. E que não foram realizados ensaios de características geométricas, impermeabilidade e galga média. O presente trabalho fixou-se nos valores de resistência, flexão e absorção para relacioná-los com os diâmetros de granizo que podem romper as telhas.

Percentual de absorção das telhas em %	
Tipo de telha	Absorção (%)
Fibrocimento 4mm	4,29
Fibrocimento 5mm	2,12
Fibrocimento 6mm	3,75
Barro francesa	19,94
Barro portuguesa	12,44
Barro romana	14,97
Barro portuguesa esmaltada	10,04
Cerâmica portuguesa esmaltada	10,18
Concreto plana	2,37
Concreto ondulada	4,64
Concreto ondulada frisada	3,15

Tabela 01 – Gráfico de valores de absorção das telhas
Fonte: autor

Na tabela 02 são apresentados os valores médios obtidos de flexão/deformação para cada tipo de telha.

Ensaio Força - Flexão / Deformação		
Tipo de telha	Força (N)	Deformação (mm)
Fibrocimento 4mm	431,80	17,26
Fibrocimento 5mm	913,80	23,91
Fibrocimento 6mm	1366,00	18,78
Barro francesa	900,40	1,39
Barro portuguesa	1911,00	1,43
Barro romana	2072,00	2,61
Barro portuguesa esmaltada	2792,00	2,82
Cerâmica portuguesa esmaltada	2032,00	1,60
Concreto plana	1279,00	0,98
Concreto ondulada	2279,00	1,40
Concreto ondulada frisada	2576,00	1,60

Tabela 02 – Tabela dos resultados médios de força - flexão / deformação
Fonte: autor

Na tabela 03 são apresentados os valores equivalentes de diâmetro de granizo em relação à esfera de aço lançada e sua altura.

Altura (m)	Ø aço (cm)	Ø gelo (cm)
0,86	1,00	1,00
2,57	1,00	1,44
1,00	2,00	1,66
1,73	2,00	2,00
2,57	2,00	2,28
1,73	3,00	2,62
1,00	4,00	2,64
2,57	3,00	3,00
1,00	5,00	3,07
1,73	4,00	3,17
1,00	6,00	3,46
2,57	4,00	3,62
1,73	5,00	3,68
1,73	6,00	4,15
2,57	5,00	4,20
2,57	6,00	4,74

Tabela 03 – Tabela dos resultados equivalentes de granizo x altura e diâmetro das esferas de aço
Fonte: autor

A tabela 04 demonstra os coeficientes de variação e desvio padrão da média (de três determinações) de cada tipo de telha.

Ensaio Flexão / Deformação						
Tipo de telha	Flexão (N)	Desvio padrão (N)	Coef. de variação (%)	Deformação (mm)	Desvio padrão (N)	Coef. de variação (%)
Fibrocimento 4mm	431,80	17,39	4,028	17,26	0,5215	3,021
Barro francesa	900,40	47,45	5,27	0,98	0,2444	17,55
Fibrocimento 5mm	913,80	17,39	1,903	1,39	4,482	18,74
Concreto plana	1279,00	131,10	10,25	1,40	0,4005	40,94
Fibrocimento 6mm	1366,00	110,00	8,055	1,43	4,952	26,37
Barro portuguesa	1911,00	379,10	19,84	1,60	0,1283	8,947
Cerâmica portuguesa esmaltada	2032,00	95,44	4,697	1,60	0,4745	29,73
Barro romana	2072,00	297,90	14,38	2,61	0,2159	8,264
Concreto ondulada	2279,00	187,60	8,23	2,82	0,1422	10,14
Concreto ondulada frisada	2576,00	291,10	8,23	18,78	0,3067	19,2
Barro portuguesa esmaltada	2792,00	365,40	13,09	23,91	0,6016	21,29

Tabela 04 – Resultados médios de flexão / deformação com desvio padrão e coef. de variação
Fonte: autor

As figuras 58 e 59 apresentam em forma de gráficos os valores médios de flexão e deformação com o respectivo desvio padrão.

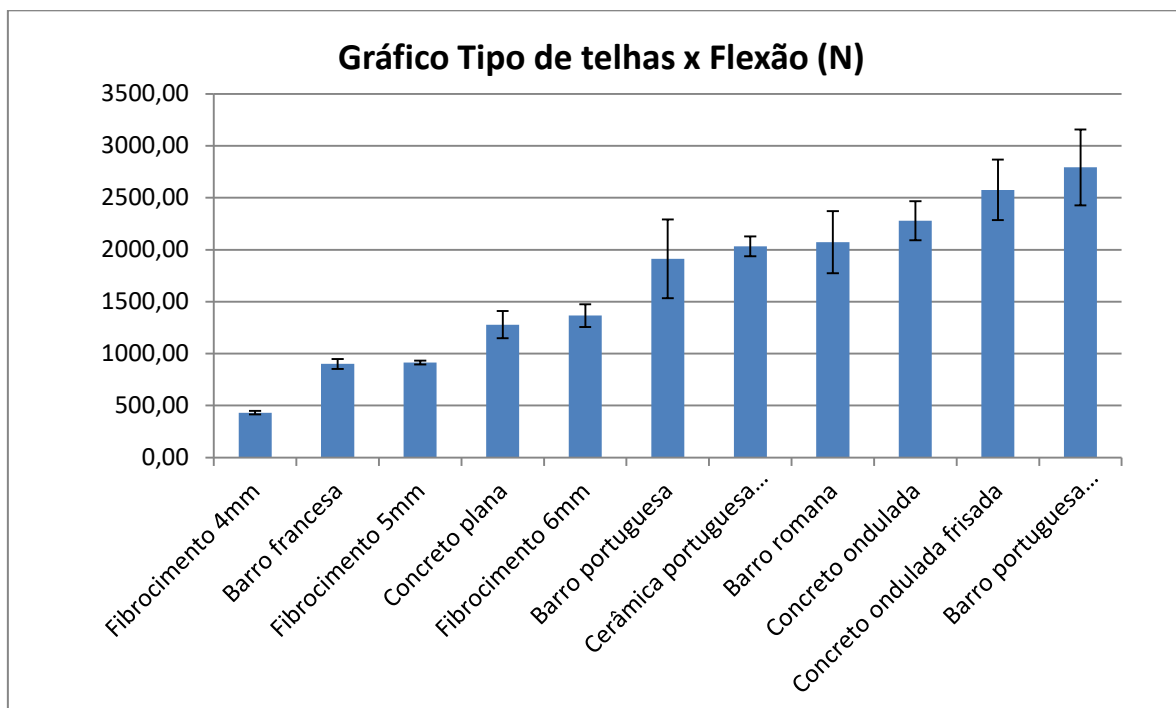


Figura 58 – Gráfico tipo de telhas X flexão (N)

Fonte: autor

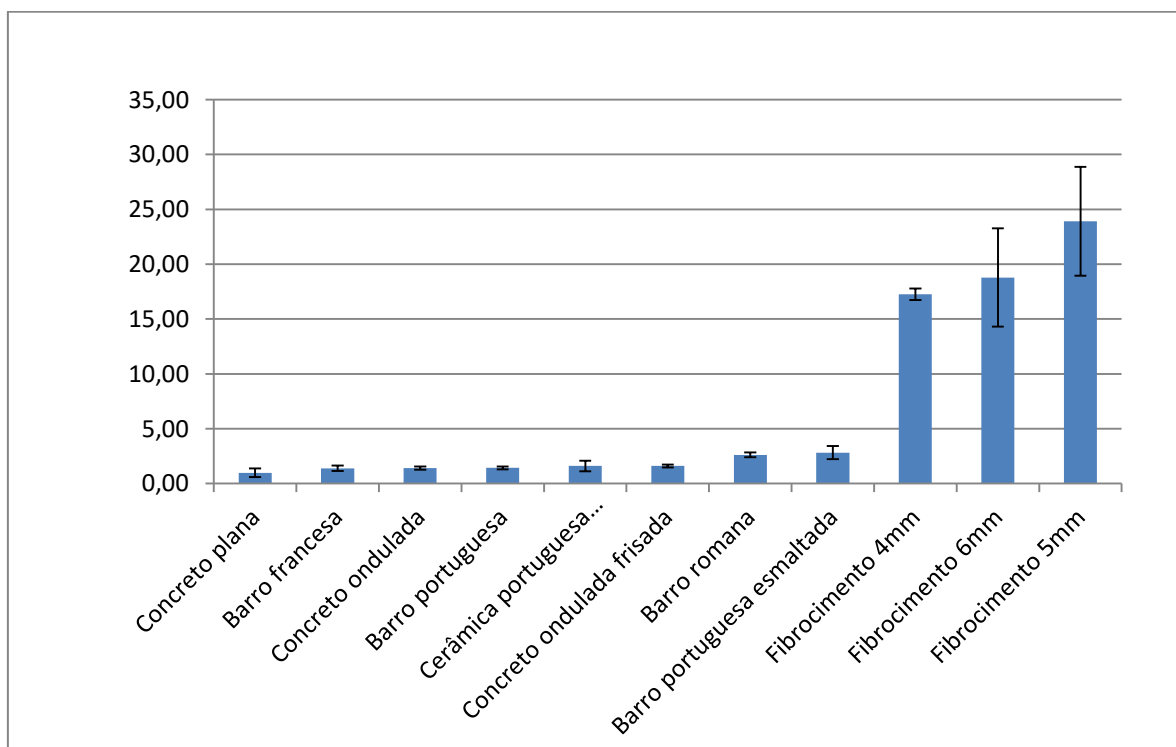


Figura 59 – Gráfico tipo de telhas X deformação (mm)

Fonte: autor

Com a obtenção de todos estes dados relativos às características de resistência de cada telha e com as informações obtidas nos ensaios, procedeu-se ao estudo estatístico a fim de determinar qual o possível diâmetro de granizo que irá romper cada tipo de telha.

Os dados referentes às amostras ensaiadas foram planilhados conforme informado no Apêndice A e o relatório estatístico completo no Apêndice B.

As tabelas de 05 a 15 demonstram que, com a aplicação do estudo estatístico através de software TS-Sisreg obtem-se as seguintes informações de valores médios de diâmetro de granizos que provocarão danos às telhas para cada tipo de material.

Vale salientar que, como se trata de estudo estatístico, os valores médios obtidos possuem também os valores máximos e mínimos do intervalo de confiança. Ou seja, no intervalo entre o mínimo e o máximo, existem 99,99% de probabilidade de algum problema ocorrer com as telhas.

4.1 EQUAÇÃO E ESTATÍSTICAS BÁSICAS

A equação estatística que melhor representou a análise dos dados obtidos nos ensaios realizados foi:

$$\begin{aligned} \text{Diâmetro do Granizo} = & -1,5732834 + 0,50775514 * \ln(\text{Valores de flexão}) + \\ & 1,4770337 * 1/n^{\circ} \text{ de impactos} + \\ & 0,26264608 * \text{região do impacto} + \\ & -0,34262867 * \ln(\text{Percentual de absorção}) + \\ & 1,1042539 * 1/\text{Deformação} \end{aligned}$$

$$\text{Coeficiente de determinação / aderência (R)} = 0,638891$$

$$\text{Correlação (R}^2\text{)} = 0,79991$$

$$\text{Determinação ajustada (R)} = 0,610231$$

$$\text{Desvio padrão (}\tau\text{)} = 0,342905$$

$$\text{Variância} = 0,117584$$

$$\text{Fischer Snedecor} = 22,29250 < 0,01\%$$

Portanto, a confiança atingida do modelo foi de 99,99%.

4.2 VALORES LIMITES CALCULADOS PARA AS TELHAS ESTUDADAS

Telha de fibrocimento 4mm – diâmetro médio do granizo = 2,57cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 12,06%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
431,80	2,42	2,57	2,73	6,03%	6,03%

Tabela 05 – Valores do diâmetro do granizo
Fonte: autor

Telha de fibrocimento 5mm – diâmetro médio do granizo = 3,17cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 8,03%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
913,80	3,05	3,17	3,30	4,01%	4,01%

Tabela 06 – Valores do diâmetro do granizo
Fonte: autor

Telha de fibrocimento 6mm – diâmetro médio do granizo = 3,15cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 7,95%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
1.366,00	3,03	3,15	3,28	3,97%	3,97%

Tabela 07 – Valores do diâmetro do granizo
Fonte: autor

Telha de barro francesa – diâmetro médio do granizo = 3,13cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 10,42%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
900,40	2,96	3,13	3,29	5,21%	5,21%

Tabela 08 – Valores do diâmetro do granizo

Fonte: autor

Telha de barro portuguesa – diâmetro médio do granizo = 3,66cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 5,20%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
1.911,00	3,57	3,66	3,76	2,60%	2,60%

Tabela 09 – Valores do diâmetro do granizo

Fonte: autor

Telha de barro romana – diâmetro médio do granizo = 3,28cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 6,94%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
2.072,00	3,16	3,28	3,39	3,47%	3,47%

Tabela 10 – Valores do diâmetro do granizo

Fonte: autor

Telha barro portuguesa esmaltada – diâmetro médio do granizo = 3,54cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 7,10%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
2.792,00	3,41	3,54	3,66	3,55%	3,55%

Tabela 11 – Valores do diâmetro do granizo

Fonte: autor

Telha cerâmica esmaltada – diâmetro médio do granizo = 3,67cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 4,93%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
2.032,00	3,58	3,67	3,73	2,47%	2,47%

Tabela 12 – Valores do diâmetro do granizo

Fonte: autor

Telha concreto plana – diâmetro médio do granizo = 4,43cm

Intervalo de Confiança					
Diâmetros de granizo (cm)				Amplitude – 8,35%	
Flexão (N)	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
1.279,00	4,24	4,43	4,61	4,17%	4,17%

Tabela 13 – Valores do diâmetro do granizo

Fonte: autor

Telha concreto ondulada – diâmetro médio do granizo = 4,07cm

Flexão (N)	Intervalo de Confiança				
	Diâmetros de granizo (cm)			Amplitude – 5,70%	
	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
2.279,00	3,95	4,07	4,18	2,85%	2,85%

Tabela 14 – Valores do diâmetro do granizo
Fonte: autor

Telha concreto ondulada frisada – diâmetro médio do granizo = 4,21cm

Flexão (N)	Intervalo de Confiança				
	Diâmetros de granizo (cm)			Amplitude – 7,10%	
	Mínimo	Médio	Máximo	%mínimo	%máximo
2.576,00	4,06	4,21	4,35	3,55%	3,55%

Tabela 15 – Valores do diâmetro do granizo
Fonte: autor

Abaixo a tabela 16 apresenta de forma resumida os valores médios de granizo que rompem as telhas com seus valores máximos e mínimos do intervalo de confiança obtido no modelo estatístico.

Tipo de telha	Ø médio	Ø mín.	Ø máx.
Fibrocimento 4mm	2,42	2,57	2,73
Barro francesa	2,96	3,13	3,29
Fibrocimento 6mm	3,03	3,15	3,28
Fibrocimento 5mm	3,05	3,17	3,3
Barro romana	3,16	3,28	3,39
Barro portuguesa esmaltada	3,41	3,54	3,66
Barro portuguesa	3,57	3,66	3,76
Cerâmica portuguesa esmaltada	3,58	3,67	3,73
Concreto ondulada	3,95	4,07	4,18
Concreto ondulada frisada	4,06	4,21	4,35
Concreto plana	4,24	4,43	4,61

Tabela 16 – Valores do diâmetro do granizo(mínimo, médio e máximo)
Fonte: autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÃO

Verificou-se pela análise estatística que as variáveis: espessura da telha, tipo de telha e energia aplicada não obtiveram bons resultados. As variáveis, espessura das telhas e os tipos das telhas não apresentaram boa significância, pois os valores de flexão e deformação já determinam a tipologia da telha, ou seja, a variável deformação e a variável flexão já possuem “embutidas” nos seus valores ensaiados estes dados, tornando desta forma as variáveis espessuras de telhas e tipo de telhas desnecessárias.

De forma análoga, os dados de altura de lançamento e diâmetro da esfera já possuem suas características na variável energia diâmetro do granizo. É de fácil compreensão que quanto maior o diâmetro e maior a altura maior será a energia aplicada pela esfera lançada e vice versa. Portanto as variáveis, altura de lançamento e diâmetro da esfera não foram incluídas no teste estatístico.

Finalmente duas outras variáveis foram utilizadas: número de impactos e locais do impacto nas telhas. Estas variáveis possuem poucos dados relativos aos ensaios, porém possuem valores coerentes ao esperado e aumentam a determinação do modelo estatístico.

Vale salientar que este modelo contempla diâmetros de granizo que irá danificar determinada telha em apenas um impacto. Como em uma chuva de granizo ocorrem vários impactos estes valores certamente serão menores e o modelo estatístico é capaz de mensurar tal ocorrência e os valores obtidos serão significativamente bem menores que os obtidos acima. Mas o objetivo principal deste trabalho era determinar qual diâmetro irá danificar a telha em um único impacto.

O objetivo principal, também, é determinar em valores reais quais seriam os diâmetros de granizo que romperiam as telhas. Objetivo atingido baseado nos ensaios aplicados.

O gráfico de projeção demonstra que conforme aumentam os valores de flexão os diâmetros de granizo também aumentam de forma diretamente proporcional.

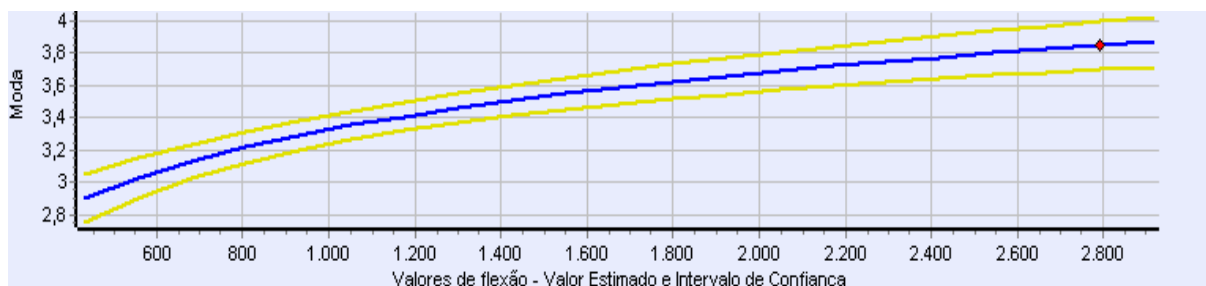


Figura 60 – Gráfico de projeção (Flexão / Deformação)

Fonte: autor

Antes da conclusão final, vale salientar que os valores de flexão e deformação para as telhas de fibrocimento foram obtidos para vãos de 1,10m. Sendo que, normalmente telhas de fibrocimento são de dimensões brutas de 2,44m, ou seja, no caso das telhas de fibrocimento este vão poderia ser praticamente o dobro. A razão pela qual não foi utilizada a dimensão de 2,44m deve-se a dificuldade em encontrar tanques para que as mesmas ficassem imersas por 24hs.

Pode-se concluir então que telhas com maior valor de flexão e menor valor de deformação possuirão maiores resistências à chuvas de granizo. A absorção maior possibilita também um declínio de resistência, pois, quanto mais poroso o material menor a sua resistência mecânica e, portanto, menor a sua capacidade de absorver a energia de impacto. E, quanto maior o número de impactos na telha menor será o diâmetro de granizo necessário para ocasionar danos às telhas.

Sendo assim, o trabalho atingiu os objetivos determinados em sua expectativa.

Sugerem-se, para prosseguimento deste trabalho, cinco alternativas de trabalhos futuros.

1 - A determinação de um ensaio padronizado de impacto para análise das telhas;

2 - O estudo de telhas submetidas ao impacto com diferentes idades (vida útil e resistência ao granizo x idade);

3 - Análise microscópica das telhas em casos de pequenos diâmetros x diversos impactos.

4 - Desenvolvimento de materiais alternativos com características de alto valor de flexão, baixa absorção de água, baixa deformação;

5 - Estudos de formas alternativas das telhas afim de suportarem mais aos impactos de granizos.

REFERÊNCIAS

ABNT-NBR 5643:2012 - Telha de fibrocimento — Verificação da resistência a cargas uniformemente distribuídas

ABNT-NBR 7.196: 2014 - Telhas de fibrocimento - Execução de coberturas e fechamentos laterais – Procedimento.

ABNT-NBR 7581-3:2012 - Telha de fibrocimento — Telha ondulada de fibrocimento Parte 3: Padronização

ABNT-NBR 13.818: 1997 - Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio.

ABNT-NBR 13.858-1:2009 - Telhas de concreto - Parte 1: Projeto e execução de telhados.

ABNT-NBR 13.858-2:2009 - Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio.

ABNT-NBR 15.310:2009 - Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.

ABNT-NBR 15.210-1: 2014 - Telhas de fibrocimento sem amianto - Parte 1: Classificação e requisitos.

ABNT-NBR 15.210-2: 2013 - Telhas de fibrocimento sem amianto - Parte 2: Ensaio.

ABNT-NBR 15.210-3: 2014 - Telhas de fibrocimento sem amianto - Parte 3: Amostragem e inspeção.

ALVES, Valdir. Avaliação de imóveis urbanos baseada em métodos estatísticos multivariados. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Campo Mourão, 2005.

DANTAS, Rubens Alves. Engenharia de avaliações: uma introdução à metodologia científica. 1ª Ed. São Paulo: Pini, 1998.

Márcio C. Fredel, Patricia Ortega e Edson Bastos. Propriedades Mecânicas: Ensaio Fundamentais Vol. 1, Márcio C. Fredel, Patricia Ortega e Edson Bastos, 2012.

Trabalho de Ensaio Mecânico – Ensaio de Impacto. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfO4kAD/trabalho-ensaios-mecanicos-ensaios-impacto>>. Acesso em: 18 set. 2016.

SILVEIRA, Fernando Lang - Velocidade das pedras de Granizo - Instituto de Física – UFRGS, Rio Grande do Sul, Outubro, 2015

SOUZA, Sergio Augusto de. Ensaio mecânico de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos. 5ª Edição Blucher, 1982.

XAVIER, Fábio Grisard. Determinação dos fatores que alteram os preços de apartamentos em Curitiba. 2014. 57. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

APÊNDICE A - AMOSTRAS ENSAIADAS E SUAS VARIÁVEIS

Dado	Material ensaiado	Observação	Valores de flexão (N)	Energia aplicada (J)	Espessura da telha	nº de impactos	região do impacto	Percentual de absorção	Deformação (mm)	Tipo de telha	Diâmetro do grânulo
1	Telha concreto ondulada	Nova e saturada 24hs	2279,00	2,78	13,75	12	1	5	1,40	3	3,00
2	Telha concreto ondulada	Nova e saturada 24hs	2279,00	6,59	13,75	2	1	5	1,40	3	3,62
3	Telha concreto ondulada frisada	Nova e saturada 24hs	2576,00	2,78	12,93	17	1	3	1,60	3	3,00
4	Telha concreto ondulada frisada	Nova e saturada 24hs	2576,00	2,78	12,93	3	0	3	1,60	3	3,00
5	Telha concreto ondulada frisada	Nova e saturada 24hs	2576,00	6,59	12,93	2	1	3	1,60	3	3,62
6	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	2,78	12,79	6	0	2	0,98	3	3,00
7	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	6,59	12,79	2	0	2	0,98	3	3,62
8	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	2,78	12,79	5	0	2	0,98	3	3,00
9	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	6,59	12,79	2	0	2	0,98	3	3,62
10	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	4,44	12,79	1	0	2	0,98	3	3,17
11	Telha concreto ondulada	Nova e saturada 24hs	2279,00	22,24	13,75	1	0	5	1,40	3	4,74
12	Telha concreto ondulada frisada	Nova e saturada 24hs	2576,00	22,24	12,93	1	0	3	1,60	3	4,74
13	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	22,24	12,79	1	0	2	0,98	3	4,74
14	Telha concreto ondulada frisada	Nova e saturada 24hs	2576,00	22,24	12,93	1	0	3	1,60	3	4,74
15	Telha concreto plana	Nova e saturada 24hs	1279,00	22,24	12,79	1	0	2	0,98	3	4,74
16	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	0,55	4	1	0	2	17,26	1	2,00
17	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	2,78	4	1	1	2	17,26	1	3,00
18	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	0,82	4	1	0	2	17,26	1	2,28
19	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	0,32	4	1	1	2	17,26	1	1,66
20	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	2,78	5	1	1	4	23,91	1	3,00
21	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	4,44	5	1	0	4	23,91	1	3,17
22	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	2,56	5	1	0	4	23,91	1	2,64
23	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	4,44	5	3	1	4	23,91	1	3,17
24	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	4,44	6	1	0	2	18,78	1	3,17
25	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	4,44	6	2	1	2	18,78	1	3,17
26	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	2,78	4	1	1	2	17,26	1	3,00
27	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	2,78	4	1	1	2	17,26	1	3,00
28	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	2,78	4	1	1	2	17,26	1	3,00
29	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	2,56	4	1	0	2	17,26	1	2,64
30	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	4,44	4	1	1	2	17,26	1	3,17
31	Telha fibrocimento 4mm	Nova e saturada 24hs	431,80	6,59	4	1	1	2	17,26	1	3,62
32	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	1,87	5	1	0	4	23,91	1	2,62
33	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	8,65	5	1	1	4	23,91	1	3,46
34	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	8,65	5	1	0	4	23,91	1	3,46
35	Telha fibrocimento 5mm	Nova e saturada 24hs	913,80	2,56	5	1	1	4	23,91	1	2,64
36	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	12,87	6	1	1	2	18,78	1	4,20
37	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	8,65	6	2	1	2	18,78	1	3,46
38	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	4,44	6	2	1	2	18,78	1	3,17
39	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	5,01	6	1	0	2	18,78	1	3,07
40	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	5,01	6	1	1	2	18,78	1	3,07
41	Telha fibrocimento 6mm	Nova e saturada 24hs	1366,00	6,59	6	1	1	2	18,78	1	3,62
42	Telha barro francesa	Nova e saturada 24hs	900,40	8,654	13,9	1	0	20	1,39	2	3,68
43	Telha barro francesa	Nova e saturada 24hs	900,40	6,59	13,9	1	0	20	1,39	2	3,62
44	Telha barro francesa	Nova e saturada 24hs	900,40	22,24	13,9	1	0	20	1,39	2	4,74
45	Telha barro romana	Nova e saturada 24hs	2072,00	8,654	12,9	1	1	15	2,61	2	3,68
46	Telha barro romana	Nova e saturada 24hs	2072,00	6,59	12,9	1	1	15	2,61	2	3,62

47	Telha barro romana	Nova e saturada 24hs	2072,00	2,78	12,9	1	0	15	2,61	2	3,00
48	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	8,654	12,2	1	1	12	1,43	2	3,68
49	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	6,59	12,2	1	0	12	1,43	2	3,62
50	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	2,78	12,2	2	0	12	1,43	2	3,00
51	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	8,654	10,68	1	1	10	2,82	2	3,68
52	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	6,59	10,68	1	1	10	2,82	2	3,62
53	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	2,78	10,68	4	0	10	2,82	2	3,00
54	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	2,78	8,07	1	0	10	1,60	2	3,00
55	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	0,554	8,07	14	0	10	1,60	2	2,00
56	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	8,654	8,07	1	1	10	1,60	2	3,68
57	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	6,59	8,07	1	1	10	1,60	2	3,62
58	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	2,78	8,07	3	1	10	1,60	2	3,00
59	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	2,78	8,07	2	1	10	1,60	2	3,00
60	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	2,78	10,68	2	1	10	2,82	2	3,00
61	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	2,78	12,2	1	0	12	1,43	2	3,00
62	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	2,78	12,2	3	1	12	1,43	2	3,00
63	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	8,654	12,2	1	1	12	1,43	2	3,68
64	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	12,87	10,68	1	1	10	2,82	2	4,20
65	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	14,971	10,68	1	1	10	2,82	2	4,15
66	Telha barro portuguesa esmaltada	Nova e saturada 24hs	2792,00	6,59	10,68	1	1	10	2,82	2	3,62
67	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	12,87	8,07	1	0	10	1,60	2	4,20
68	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	14,971	8,07	1	0	10	1,60	2	4,15
69	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	6,59	8,07	1	0	10	1,60	2	3,62
70	Telha barro francesa	Nova e saturada 24hs	900,40	5	13,9	1	0	20	1,39	2	3,46
71	Telha barro portuguesa	Nova e saturada 24hs	1911,00	5	12,2	1	0	12	1,43	2	3,46
72	Telha barro romana	Nova e saturada 24hs	2072,00	4,436	12,9	1	0	15	2,61	2	3,17
73	Telha barro romana	Nova e saturada 24hs	2072,00	5	12,9	1	0	15	2,61	2	3,46
74	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	4,436	8,07	1	0	10	1,60	2	3,17
75	Telha cerâmica portuguesa	Nova e saturada 24hs	2032,00	5	8,07	1	0	10	1,60	2	3,46

* variáveis/dados desconsiderados

Tabela 16 – Dados das amostras ensaiadas
Fonte: autor

APÊNDICE B - RELATÓRIO ESTATÍSTICO

CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

DADOS		VARIÁVEIS	
Total da Amostra	: 75	Total	: 9
Utilizados	: 69	Utilizadas	: 6
Outlier	: 0	Grau Liberdade	: 63

MODELO LINEAR DE REGRESSAO – Escala da Variável Dependente: y

COEFICIENTES		VARIACÃO	
Correlação	: 0,79931	Total	: 20,51397
Determinação	: 0,63889	Residual	: 7,40778
Ajustado	: 0,61023	Desvio Padrão	: 0,34291

F-SNEDECOR		D-WATSON	
F-Calculado	: 22,29250	D-Calculado	: 1,70914
Significância	: < 0,01000	Resultado Teste	: Não auto-regressão 95%

NORMALIDADE			
Intervalo	Classe	% Padrão	% Modelo
-1 a 1		68	72
-1,64 a +1,64		90	94
-1,96 a +1,96		95	98

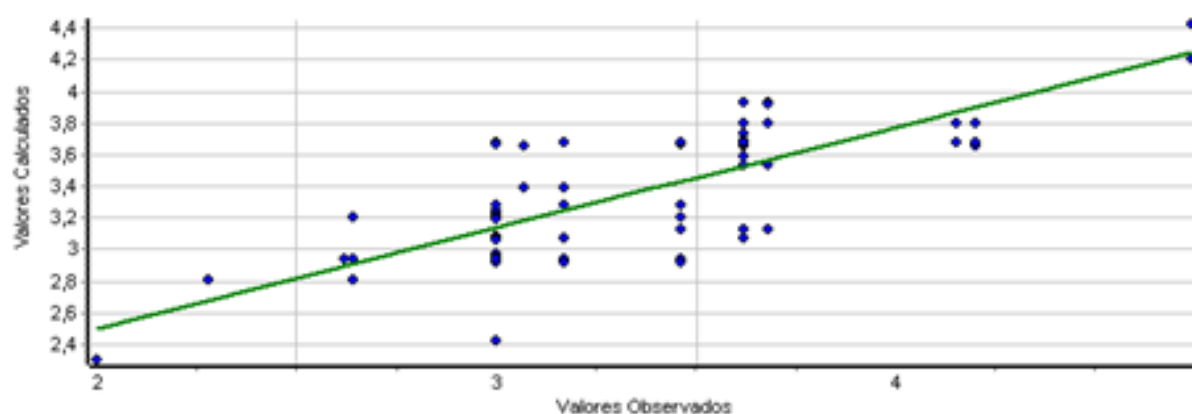
MODELO UTILIZADO NA ESTIMATIVA DE VALOR

$$Y = -1,573283 + 0,507755 * \ln(X_1) + 1,477034 * 1/X_2 + 0,262646 * X_3 + -0,342629 * \ln(X_4) + 1,104254 * 1/X_5$$

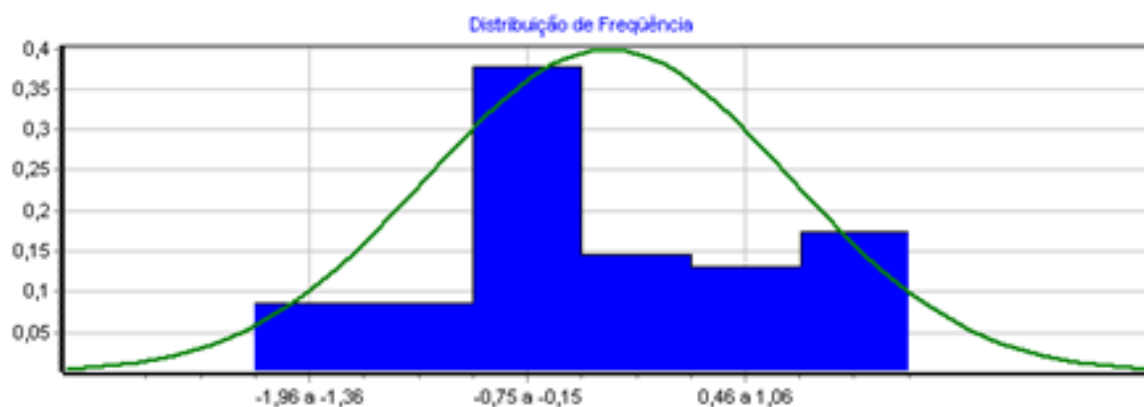
MODELO DE ESTIMATIVA – PRINCIPAIS INDICADORES

AMOSTRA		MODELO	
Média	: 3,38	Coefic. Aderência	: 0,63889
Varição Total	: 20,51	Varição Residual	: 7,41
Variância	: 0,297304	Variância	: 0,117584
Desvio Padrão	: 0,545256	Desvio Padrão	: 0,342905

GRAFICO DE ADERENCIA (Valor Observado X Valor Calculado)



Histograma de Resíduos Padronizados X Curva Normal Padrão



Distribuição de Valores Ajustados X Resíduos Padronizados



DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

X₁ Valores de flexão

Valor médio de flexão obtido em laboratório para 3 amostras de cada tipo de telha em N.

Fibrocimento 4mm = 431,80

Fibrocimento 5mm = 913,80

Fibrocimento 6mm = 1.366,00

Barro francesa = 900,40

Barro romana = 2.072,00

Barro portuguesa = 1.911,00

Barro portuguesa esmaltada = 2.792,00

Cerâmica esmaltada = 2.032,00

Concreto ondulada = 2.279,00

Concreto ondulada frisada = 2.576,00

Concreto plana = 1.279,00

Tipo: Quantitativa

Amplitude: 431,80 a 2792,00

Impacto esperado na dependente: Positivo

10% da amplitude na média: 2,68 % na estimativa



* Espessura da telha

Espessura da telha em mm medida com paquímetro

Tipo: Quantitativa

Amplitude: 4,00 a 13,90

Impacto esperado na dependente: Positivo

X₂ n° de impactos

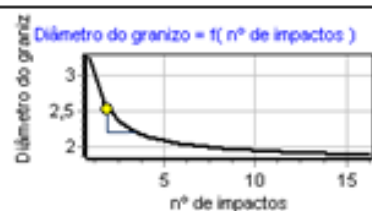
Número de impactos até a ruptura ou trinca nas telhas

Tipo: Quantitativa

Amplitude: 1 a 17,00

Impacto esperado na dependente: Negativo

10% da amplitude na média: -13,10 % na estimativa



X₃ região do impacto

Região do impacto da esfera

Parte curva superior = 1

Parte inferior = 0

Tipo: Dicotômica Isolada

Amplitude: 0 a 1

Impacto esperado na dependente: Positivo

Diferença entre extremos: 10,90 % na estimativa

Micronumerosidade: atendida.



X₄ Percentual de absorção

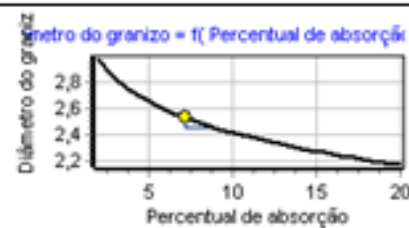
Percentual médio de absorção de água da telha.

Tipo: Quantitativa

Amplitude: 2,00 a 20,00

Impacto esperado na dependente: Negativo

10% da amplitude na média: -3,03 % na estimativa



* Energia aplicada

Energia aplicada no rompimento da telha (em Joules).

Tipo: Quantitativa

Amplitude: 0,554 a 22,24

Impacto esperado na dependente: Positivo

X₅ Deformação

Deformação da telha no esforço máximo antes da ruptura (em mm).

Fibrocimento 4mm = 17,26

Fibrocimento 5mm = 23,91

Fibrocimento 6mm = 18,78

Barro francesa = 1,39

Barro romana = 2,61

Barro portuguesa = 1,43

Barro portuguesa esmaltada = 2,82

Cerâmica esmaltada = 1,60

Concreto ondulada = 1,40

Concreto ondulada frisada = 1,60

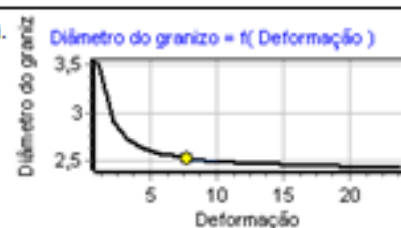
Concreto plana = 0,98

Tipo: Quantitativa

Amplitude: 0,98 a 23,91

Impacto esperado na dependente: Negativo

10% da amplitude na média: -1,28 % na estimativa



* Tipo de telha

1 - Fibrocimento

2 - Cerâmica

3 - Concreto

Tipo: Código Alocado

Amplitude: 1 a 3,00

Impacto esperado na dependente: Positivo

Micronumerosidade: atendida.

Y Diâmetro do granizo

Diâmetro equivalente do granizo em cm

Tipo: Dependente

Amplitude: 2,00 a 4,74

Micronumerosidade para o modelo: atendida.

PARÂMETROS DE ANÁLISE DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

VARIÁVEL	Escala Linear	T-Student Calculado	Significância (Soma das Caudas)	Determ. Ajustado (Padrão = 0,61023)
X ₁ Valores de flexão	ln(x)	5,08962	0,01	0,45856
X ₂ nº de impactos	1/x	8,93655	0,01	0,12995
X ₃ região do impacto	x	2,85619	0,58	0,56664
X ₄ Percentual de absorção	ln(x)	-5,22331	0,01	0,45016
X ₅ Deformação	1/x	6,35068	0,01	0,37070

MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS (Valores em percentual)

- MATRIZ SUPERIOR – PARCIAIS
- MATRIZ INFERIOR – ISOLADAS

Variável	Forma Linear	Valores de flexão	nº de impactos	região do impacto	Percentual de absorção	Deformação	Diâmetro do grânulo
X ₁	ln(x)		56	7	65	16	54
X ₂	1/x	-28		37	63	66	75
X ₃	x	-1	-7		19	52	34
X ₄	ln(x)	53	13	-10		48	55
X ₅	1/x	47	-36	-36	34		62
Y	y	32	35	0	7	34	

GRAFICO DE PROJEÇÃO

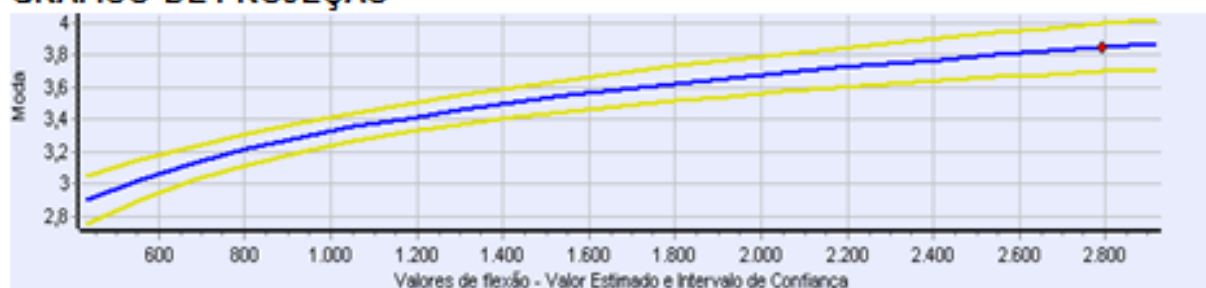


Figura 62 – Gráfico de projeção (modelo estatístico)
Fonte: autor

Gráfico – diâmetro do granizo (cm) x valores de flexão (N)

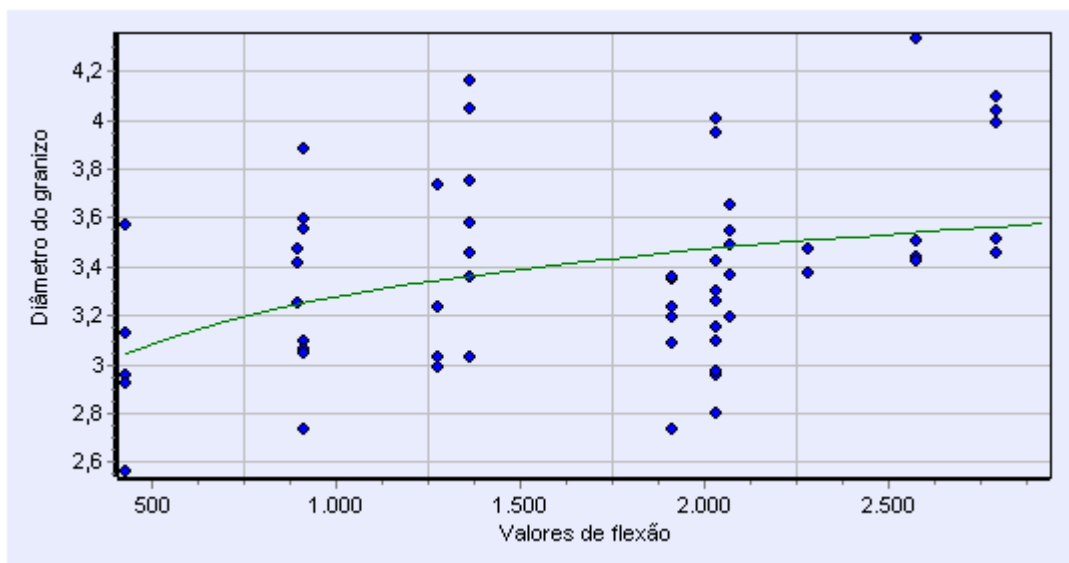


Figura 63 – Gráfico diâmetro do granizo X variável flexão
Fonte: autor

Gráfico - diâmetro do granizo (cm) x nº de impactos (n)

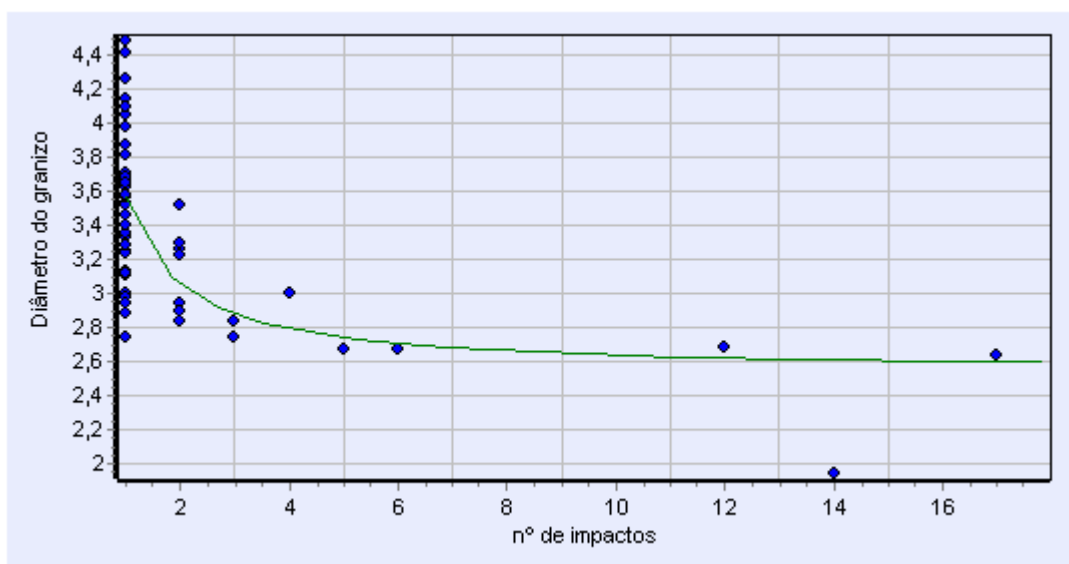


Figura 64 – Gráfico diâmetro do granizo X variável nº de impactos
Fonte: autor

Gráfico - diâmetro do granizo (cm) x região do impacto

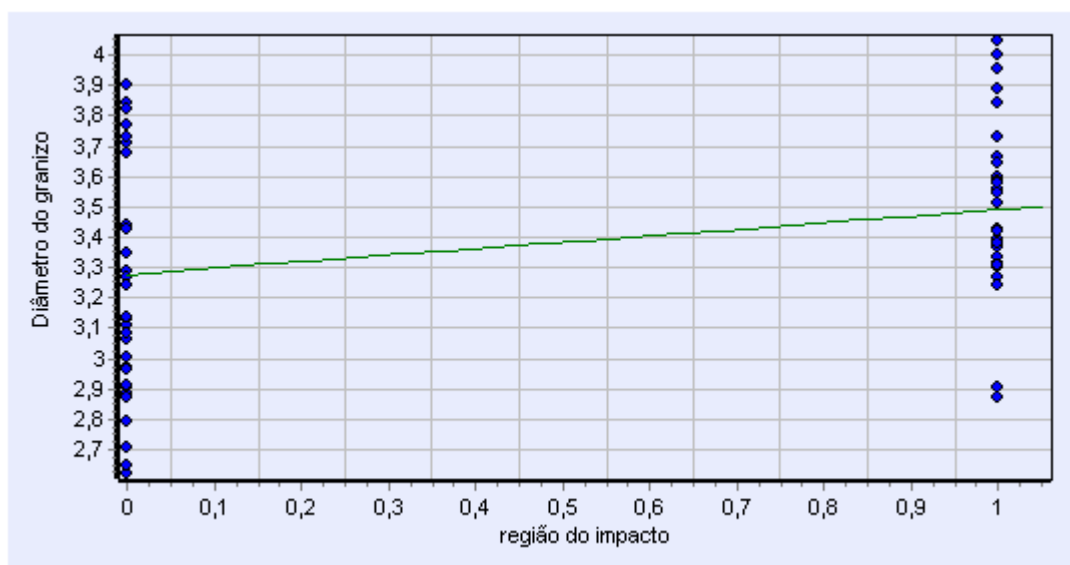


Figura 65 – Gráfico diâmetro do granizo X variável região do impacto
Fonte: autor

Gráfico - diâmetro do granizo (cm) x percentual de absorção (%)

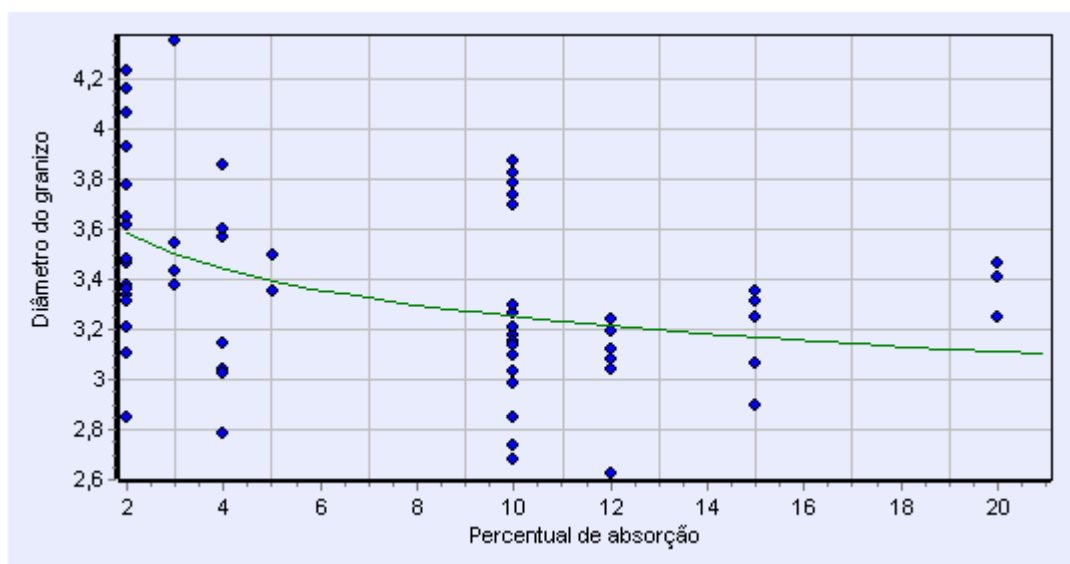


Figura 66 – Gráfico diâmetro do granizo X variável percentual de absorção
Fonte: autor

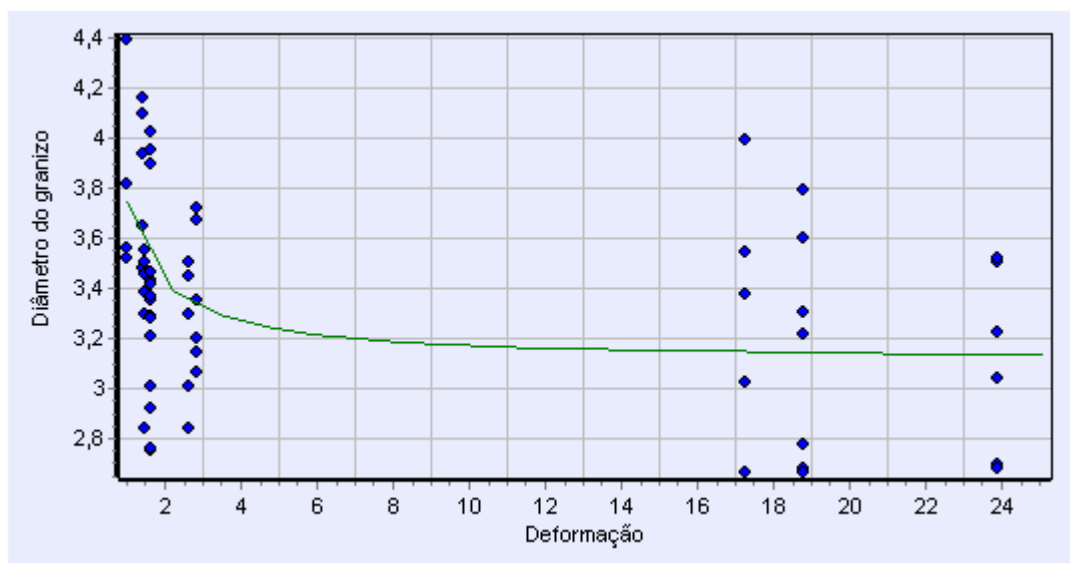
Gráfico - diâmetro do granizo (cm) x deformação (mm)

Figura 67 – Gráfico diâmetro do granizo X variável deformação
Fonte: autor

