Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO EM TELHAS CERÂMICAS FRENTE À SIMULAÇÃO DA AÇÃO DE GRANIZO EM UM SISTEMA DE COBERTURA

J. KASPARY
Acadêmico de Engenharia Civil
Unisinos/itt Performance
Rio Grande do Sul; Brasil
jordankaspary@unisinos.br

V. K. ORTOLAN
MSc. Eng. Civil
Unisinos/ itt Performance
Rio Grande do Sul; Brasil
vortolan@unisinos.br

P. H. LEUCK
Acadêmico de Engenharia Civil
Unisinos/itt Performance
Rio Grande do Sul; Brasil
pedro_leuck@hotmail.com

U. C. M.QUININO
Prof. Dr. Eng. Civil
Unisinos/ itt Performance
Rio Grande do Sul; Brasil
uquinino@unisinos.br

RESUMO

Devido às intensas chuvas com reincidências de temporais e ocorrência de granizo no último semestre do ano de 2015, o Estado do Rio Grande do Sul teve mais de 60 cidades atingidas as quais sofreram grandes estragos. Com isso, buscou-se quantificar o desempenho dos elementos de cobertura tipo telha cerâmica quanto à sua resistência ao impacto de corpo duro, seguindo o procedimento de ensaio da ABNT NBR 15.575:2013 para sistemas de cobertura, simulando, , a ação do granizo. As telhas cerâmicas utilizadas são do tipo americana, instaladas em uma inclinação de 35% sobre uma estrutura de madeira, convencionalmente adotada nas edificações (caibros e ripas), devidamente espaçadas conforme especificação do fabricante destas telhas. Uma vez montado, o sistema de cobertura foi submetido à ação de carga proveniente de energias de impacto (1,0 J, 1,5 J e 2,5 J)aplicada em diferentes pontos das telhas. Em uma área de 5 m², dentre esta região, 9 telhas foram submetidas ao ensaio, verificando e registrando eventuais danos após cada energia de impacto do corpo duro. Quando os impactos são realizados na região convexa da telha, denominada de capa, as colisões não são suficentes para causar danos que comprometam a estanqueidade do conjunto. Entretanto, ao submeter o canal da telha aos impactos com energia de 1,5 J, estes já são suficientes para causar fissuras, caracterizadas por fendas que não atravessam totalmente a espessura da telha. Para os impactos com 2,5 J de energia, a ação causa o surgimento de fissuras que atravessam, totalmente, a espessura da telha. A partir dos resultados e obervações realizadas ao longo dos testes, constata-se que, impactando-se na região da capa da telha, o nível de desempenho deste elemento é superior. Contudo, a região do canal das telhas possui o nível de desempenho intermediário.
Palavras-chave: Telhado, Ação do Granizo, Corpo Duro, Telha Cerâmica, Sistema de Cobertura.

ABSTRACT

Due to intense rain activity, storms and, mainly, hail occurrence in the year of 2015, more than 60 towns in the state of Rio Grande do Sul were affected and got damaged. So, the aim is quantifying the performance of clay tiles on roofing systems at hail impact resistance tests, following the ABNT NBR 15.575:2013 testing procedures. The clay tiles used are American-type, fixed with a 35% roof's pitch over a battens and rafters' structure, whose offsetting is indicated by the tile's manufacturer. The roofing system was submitted to 1.0, 1.5, and 2.5 J impact energies on different points on the tile, on a 5 m^2 area. In this region, 9 tiles were tested, verifying and registering possible damages right after each energy was impacted. When the impacts are made on the curved part of the tile, collisions are not enough to cause tightness damages. On the other hand, when impacting the tile's plain part, the 1.5 J energy is enough to cause fissures, which are slots that do not cross the entire tile's thickness though. However, the 2.5 J impact energy generates fissures that cross the clay tile's thickness. Concluding, when the curved part is tested, the tile's performance is superior. When collisions occur at the plain part though, performance is intermediate.
Key-words: Roof, Hail, Rigid Body, Clay Tile, Roofing System.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a Região Sul do Brasil vem sofrendo com corriqueiras atuações de fenômenos atmosféricos severos, caracterizadas pelos índices pluviométricos acima da média, prolongados meses de estiagem e tempestades que, frequentemente, são acompanhadas de ventos com velocidades muito altas, associadas à precipitação de granizo. Em estudo realizado por Magnago (2015) sobre a ocorrência de desastres naturais no Estado de Santa Catarina, no período de 2011 a 2013, a precipitação de granizo é responsável por 6% dos fenômenos naturais registrados [1]. Completa ainda que a época com maior propenção de observar a ação do granizo está compreendida entre os meses de setembro e novembro. Ou seja, é na estação da primavera em que há o maior número de registros destes fenômenos.

Sabe-se que a formação do granizo, conforme Herrmann (2006), é um fenômeno natural que se origina a partir de gotículas de água, as quais se acumulam na parte superior das nuvens convectivas ascendentes (Cumulonimbus), as quais possuem temperaturas muito baixas no topo, em altitudes entre 3 e 6 km [2]. Devido às condições térmicas inerentes ao fenômeno, associadas as correntes de ar, a precipitação da água em estado sólido ocorre quando este gelo torna-se demasiadamente pesado para ser suportado pelas correntes ascendentes. Dependendo das condições atmosféricas , o granizo pode apresentar, aproximadamente, 75% de sua geometria na forma esférica e sua densidade varia entre 0,7e 0,91 g/cm³, sendo esse último valor a densidade do gelo puro (CRENSHAW e KOONTZ, 2002) [3]. Em destaque, de acordo com Rinehart (2004), o granizo é definido como uma precipitação em forma de gelo, tendendo a configurar formas arredondadas com diâmetro maior ou igual a 5 mm [4]. Porém, para Marcelino et al. (2004), o diâmetro do granizo pode variar entre 5 e 150 mm, chegando em casos extremos a 200 mm [5]. No entanto, para o mesmo autor, na grande maioria dos casos o diâmetro médio se aproxima aos 15 mm e 20 mm.

Na tentativa de mensurar a energia com que o granizo possa impactar o alvo, após a precipitação, vários autores propõem relações que quantificam a velocidade no instante do contato. Se considerarmos que a densidade do granizo é de aproximadamente 0,91 g/cm³ e que a densidade do ar, em condições normais de pressão e temperatura, corresponde a cerca de 1,2 kg/m³, a velocidade terminal do granizo (m/s), ao se chocar com o solo, pode ser expressa pela Equação 1 abaixo [6], sendo "R" o raio do granizo em metros.

$$v_t \cong 1{,}7 \times 10^3 \sqrt{R} \quad (1)$$

Adicionalmente, Silveira completa que a energia cinética máxima do granizo, no instante em que se colide com o solo, em Joule, é expressa pela equação abaixo:

$$K_{máx} = 5{,}5 \times 10^7 \times R^4 \quad (2)$$

Dessa forma, uma pedra de granizo com raio de 30 mm resulta, no instante da colisão, numa velocidade final de, aproximadamente, 29 m/s - o equivalente a 110 km/h - e energia cinética máxima equivalente a 45 J. Vale salientar que, ao propor estas equações, o autor desconsidera a ocorrência de ventos fortes no momento da queda.

Estudos sobre o assunto são realizados desde a década de 60, quando Laurie quantificou a energia cinética máxima e a velocidade terminal do granizo. Os resultados da pesquisa estão reunidos na Tabela 1 [7]. Observa-se uma relação muito similar com os valores de energia de impacto e na velocidade terminal propostos por Silveira.

Tabela 1 – Velocidade terminal e energia de impacto do granizo

Diâmetro (mm)	Velocidade Terminal (m/s)	Energia de impacto aproximada (J)
25	22,3	<1,36
32	25,0	5,42
38	27,4	10,85
45	29,6	18,96
51	32,0	29,80
64	35,7	71,90
70	37,8	109,80
76	39,6	162,70

As pedras de granizo podem atingir dimensões maiores de que 25 mm de diâmetro, podendo ser consideradas prejudiciais causando sérios danos materiais, tanto nas zonas rurais como nas zonas urbanas. Nas áreas rurais, são

grandes os danos causados nos setores da agricultura e da pecuária. Nas localidades urbanas, dentre os principais alvos atingidos pela ação de destruição dos granizos estão os automóveis, aeronaves e sistemas de cobertura. Os telhados merecem destaque, haja vista o elevado número de casos observados e as consequências causadas pelo impacto na quedado granizo, ou seja, apesar do dano ser de pequena proporção, pode ocorrer de surgir rachaduras posteriores e/ou vazamentos prejudiciais.

Espera-se que os elementos de cobertura de uma edificação, tais como telhas, possam garantir a proteção desta contra o efeito do vento, a sua estanqueidade frente a chuva e a proteção apropriada diante da entrada do sol. Nesse sentido, faz-se necessário prever projeto adequado, com requisitos e especificações bem definidos. Sendo asssim, diante dos danos causados nos sistemas de cobertura, a principal contribuição deste trabalho consiste em avaliar os requisitos da norma brasileira ABNT NBR 15575-5:2013 – Requisitos para os Sistemas de Cobertura [8] quanto ao desempenho e resistência mecânica da telha cerâmica frente à ação do granizo, como descreve o Anexo C da norma.

2. REVISÃO NORMATIVA

Para avaliar a resistência do sistema de cobertura frente à ação do granizo, existem uma série de normas que apresentam métodos para qualificar a resistência à ação do granizo. Fez-se um levantamento das normas internacionais publicadas que abrangem esta análise a fim de expor suas peculiaridades quanto ao tema.

A Tabela 2 abaixo reúne as diferentes normas sobre o assunto e suas particularidades. Nesta tabela é possível observar os requisitos adotados pelas normas: ASTM D 3746 – *Standard test method for impact resistance of bituminous roofing systems*[9], FMRC 4470 – *Susceptibility to hail Damage, test standard for class 1 roof cover*[10], UL 2218 – *Impact resistance of prepared roof coverings*[11] e ABNT NBR 15575-5:2013 – *Edificações habitacionais- Desempenho- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.*Todas as normas prescrevem que o projetil que simula a ação do granizo deve ser uma esfera metálica, possuindo diâmetro e massa diferentes entre si.

Tabela 2 – Diferenciação entre métodos de ensaio para simular a ação do granizo

Norma	Diâmetro (mm)	Massa (g)	Altura (mm)	Energia (J)
ASTM D 3746	50	2270	1355	30
FM Class I-SH	45	360	5400	19
FM Class I-MH	51	737	1500	10,8
UL Class 1	32	127	3700	4,6
UL Class 2	38	218	4600	9,8
UL Class 3	46	358	5200	18,3
UL Class 4	51	521	6100	31,2
NBR 15575	25,4	65,6	1500 2300 3800	1,0 1,5 2,5

A norma ASTM reconhece a importância de simular a temperatura e o envelhecimento do material a ser ensaiado, justificando a influência destes fatores para o conhecimento da resistência dos materiais. Para Cullen (1992), não se pode considerar válido o resultado do ensaio de resistência ao granizo em materiais novos, já que a exposição ao ambiente real pode alterar esta propriedade [12].

Contudo, há outra proposta de ensaio que utiliza esferas de gelo, em vez de metálicas, a fim de simular e aproximar a ação do granizo em uma situação no ambiente real. Greenfeld (1969) utiliza velocidade, energia e dimensão da esfera apontada por Laurie, porém, sendo de gelo. As esferas de gelo irão se comprimir, esmagar ou romper no momento do impacto com uma superficie de dureza mais elevada, como é o caso de uma telha de concreto. Nos casos em que são adotados os projéteis metálicos, que possuem uma dureza superficial maior que as superficie de contato, não irão apresentar falhas ao alcançar o alvo, elevendo assim a probabilidade de falha do sistema [13].

Crenshaw (2001) complementa esta teoria com estudo comparativo variando apenas o projétil. Na sua investigação, observou que as telhas (de concreto ou cerâmica), para uma energia de impacto de 18,3 J,com esfera de aço de diâmetro 46 mm, falharam.Todavia, quando sumetidas à energia de impacto da esfera de gelo com 46 mm de diâmetro, telhas de mesmas características apresentaram comportamento satisfatório. Conclui, inclusive, que ensaios com esferas de gelo são mais realistas para verificar a resistência do sistema de cobertura quanto à ação do granizo, pois se aproxima da real ação do granizo, mas não deve ser considerada como ação identica à natureza [14].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3. MÉTODO

O corpo de prova analisado trata-se de um sistema de cobertura, definido pela sobreposição de telhas cerâmicas compostas de encaixe do tipo Americana, nas dimensões de 43cm de comprimento, 27cm de largura e espessura média de 11 mm (Figura 1) instaladas sobre uma estrutura de madeira formada pela união de ripas e caibros - as ripas de dimensão de seção 4x3 cm, espaçadas a cada 37cm, por sua vez fixadas sobre caibros de seção retangular 10x13 cm, afastados a cada 90cm (Figura 2). A telha possui parte da superfície plana, denominada "calha", com 17cm de largura e 10 cm de capa, região curva da telha responsável por transferir a água para a calha.

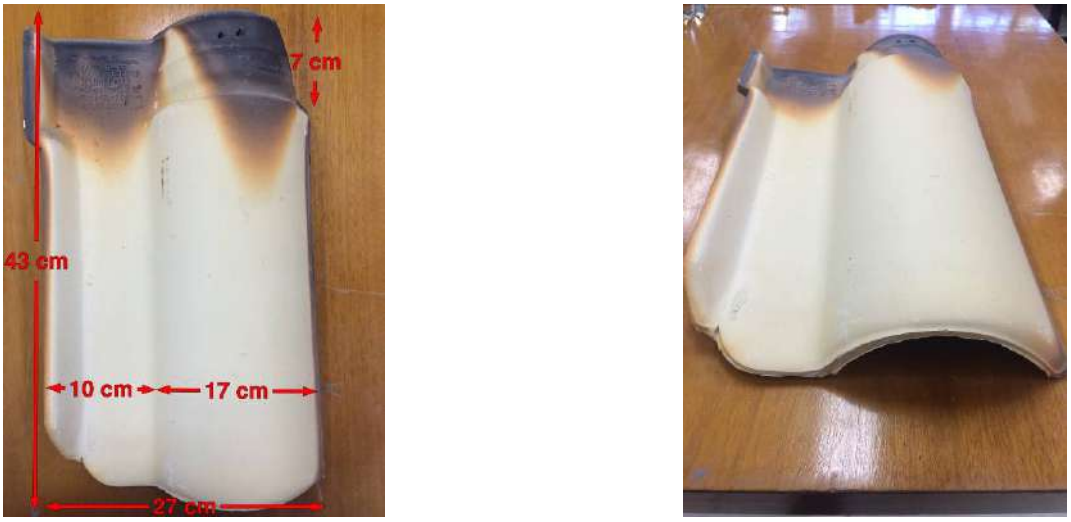

Figura 1 – Telha utilizada para a confecção da amostra

O sistema de cobertura é composto em uma estrutura metálica de laboratório apropriada para o ensaio que permite a inclinação de 35% do sistema, conforme solicitação do fabricante (Figura 3).



Figura 2 – Estrutura de caibros e ripas



Figura 3 – Amostra do Sistema de cobertura

A instalação das telhas obedece especificação do fabricante, que recomenda fixar a primeira fiada (referente as telhas próximas à calha) junto às ripas com arame queimado. As demais foram simplesmente posicionadas e transpassadas (sem nenhum artifício de fixação), conforme ilustra a Figura 3.

Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos prescritos pela norma ABNT NBR 15575-5:2013, especificados no item 7.5 – Ação de granizo e outras cargas acidentais em telhados – e no Anexo C. Para a realização do ensaio, utilizou-se uma esfera maciça metálica (Figura 4), com massa de 65,6 gramas e diâmetro de 25,4 mm. Além da esfera, um tubo de PVC de diâmetro 50 mm (superior à dimensão da esfera, portanto, não há contato da esfera com a parede do tubo) (Figura 5) foi utilizado como guia para o impacto do corpo duro em queda livre na telha.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 4 – Esfera maciça metálica



Figura 5 – Equipamento guia para impacto

Conforme a norma ABNT NBR 15575-5:2013, o impacto dever ocorrer na posição mais desfavorável da telha, enquanto que a área de telhado deve ser de no mínimo 1 m² ou maior vão entre os apoios e o maior balanço permitido pelo fabricante. Para o ensaio foi escolhido o maior vão entre os apoios
Este procedimento busca avaliar o telhado sobre a incidência de granizo. Desse modo, o telhado não pode sofrer ruptura ou transpassamento em face da aplicação de impacto, com energia igual a 1,0 J. A ocorrência de falhas superficiais, como fissuras, lascamentos e outros danos que não impliquem na perda de estanqueidade do telhado é tolerada.

As energias de ensaio abrangidas pela norma ABNT NBR 15575-5:2013 são mostradas na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Energias de impacto e níveis de desempenho

Energia (J)	Nível de Desempenho
1,0	Mínimo
1,5	Intermediário
2,5	Superior

De forma a atingir os objetivos solicitados, desenvolveu-se uma matriz (Figura 6) sobre a região de ensaio para distribuição e análise dos impactos, para todas as energias. Para cada energia foram utilizados 3 componentes “telha”. Iniciou-se o ensaio pelo ponto 1, localizado na calha da telha, seguido dos pontos 2 e 3. Os demais impactos foram realizados na capa da telha, que são identificados como os pontos 4, 5 e 6. Após o impacto na capa e na calha da primeira energia, o corpo de prova foi descartado e outro corpo de prova, do mesmo lote,foi recolocado para a energia seguinte. Com esta matriz, há uma garantia que todas as regiões da telha foram sumetidas aos impatos, inferior (3 e 6), superior (1 e 4) e região central da telha (2 e 5). Salienta-se, então, que nenhum ponto, de qualquer uma das telhas, sofreu mais de um choque da esfera.

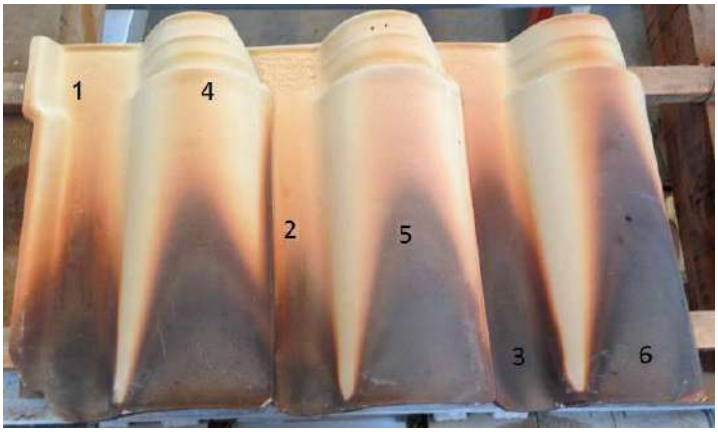

Figura 6 – Matriz de distribuição

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

4. RESULTADOS

Na tabela 4 elenca-se as principais observações realizadas como resultados dos ensaios.

Tabela 4 – Resultados do ensaio da ação do granizo

Energia impacto [J]	Ponto impacto	Ocorrência de Falha		
		Mossa no ponto impacto	Fissura na superfície inferior	Ruptura corpo de prova
1,0	1	X		
	2	X		
	3	X		
	4	X		
	5	X		
	6	X		
1,5	1	X		
	2	X		
	3	X		
	4	X		
	5	X	X	
	6	X		
2,5	1			X
	2	X	X	
	3			X
	4	X		
	5	X		
	6	X		

Por se tratar de uma telha com duas regiões distintas, uma delas plana e outra curva, foi possível perceber a diferença de impacto em cada região da telha. Quando ensaiada na região da capa, independente da energia de impacto, não houve qualquer tipo de falha ou dano que comprometesse a sua capacidade de manter estanqueidade. Quando ensaiada na região definida como calha, em alguns casos, dependendo da energia, surgiram falhas, a exemplo das fissuras e, até mesmo, a ruptura do exemplar.

A rigidez geométrica da região curva, associada ao tipo de material, faz com que o elemento telha, nesta região, apresente uma resistência ao impacto maior, o que não ocorre tão facilmente com a região plana (calha). Vale salientar que os pontos 1 e 3, além de localizados na região plana, estão situados mais próximos aos cantos da telha, sendo estes pontos mais susceptíveis aos danos provocados pelo impacto.

Nos corpos de prova avaliados para os impactos de energia 1,0 J, independente da região impactada, o único dano observado foi a formação de mossas com pequenas profundidades. Nestes casos, não foram constatadas falhas que comprometessem a estanqueidade das telhas.

Com relação à energia de impacto equivalente a 1,5 J, constatou-se que a região capa da telha se manteve, predominantemente, íntegra após as colisões da esfera, podendo ser observadas mossas na superfície. Entretanto, quando os impactos foram aplicados no canal, a energia foi suficiente para causar fissuras de pequenas dimensões, sem que as mesmas atravessassem a espessura da telha (Figura 7). Com o impacto no ponto 5, foi possível obervar que o componente “telha” possuía fissuras apenas na sua superfície inferior, indicando, de forma visual, que não se tratava de um comprometimento da estanqueidade do sistema, pois a fissura não foi propagada até a superfície superior da telha.



Figura 7 – Fissuras destacadas em vermelho no ponto 5 com energia de 1,5J

Para impactos com energia de 2,5 J, localizados nos pontos 1 e 3, os corpos de prova não foram capazes de manter a sua integridade, pois o impacto foi suficiente para comprometer a capacidade de estanqueidade do sistema de cobertura, uma vez que a região da calha se rompeu nestes pontos.

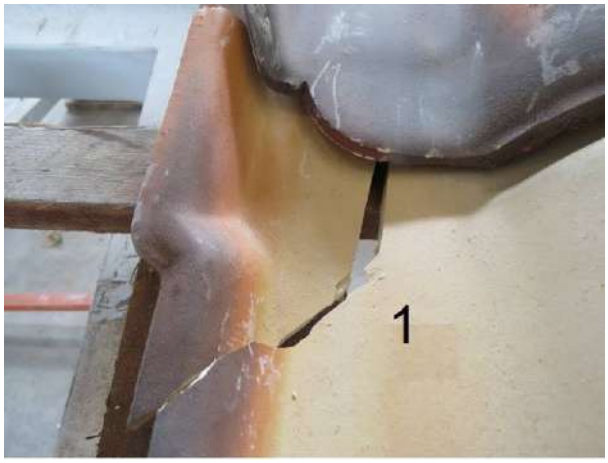

Figura 8 – Falha no ponto 1 com energia de 2,5J

5. CONCLUSÃO

Diante das considerações acima destacadas, pode-se constatar que o sistema de cobertura teve um comportamento adequado diante das especificações da norma de desempenho - ABNT NBR 15575-5:2013. Para a região denominada de capa da telha, o nível de desempenho foi considerado superior e para a região do canal, o nível de desempenho foi intermediário.

Dessa forma, o sistema de cobertura atingiu o nível de desempenho Intermediário (I) em relação à resistência à ação do granizo e outras cargas acidentais em telhados, com a ressalva de que deve seguir as especificações de projeto e dimensões ensaiadas, para que seja válida a adequada utilização do telhado sob ação do granizo.

Levando-se em consideração a revisão bibliográfica realizada, conclue-se que a norma ABNT NBR 15575-5:2013 especifica critérios menos rigorosos se levados em consideração os critérios estabelecidos pelas normas internacionais citadas neste trabalho.

Tomando como base as equações propostas por Silveira (2015), é possivel verificar-se que para impactos de corpo duro com energia de 2,5 J, o diâmetro equivalente de um granizo seria na ordem de 29,2 mm. Considerando-se os registros das últimas ocorrências de granizo no Estado do Rio Grande do Sul o diâmetro médio ficou entre 40 mm e 50 mm , e uma massa superior a 500 g. Em decorrência desses fatos torna-se necessária uma reavaliação dos critérios estabelcidos na NBR 15575 – Parte 5 . Para a realidade observada nas tempestades de granizo no RS os parâmetros da referida norma estão brandos e não representam os efeitos gerados nas edificações.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

6. REFERÊNCIAS

[1] Magnago, R. F. *et al*. "Incidência de desastres naturais em Santa Catarina de 2011 a 2013", Revista Gestão &Sustentabilidade Ambiental, v. 4, n. 1, p. 156-175, 2015.
[2] Herrmann, M. L. de P. "Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina", Florianópolis: IOESC, p. 117-120, 2006.
[3] Crenshaw, V. A.; Koontz, J. D. *"Hail: Sizing It Up!"*,Western Roofing Magazine, 2002.
[4] Rinehart, R. E. *"Radar for Meteorologists",* 4. ed. Columbia: Rinehart Publications, 2004. 482p.
[5] Marcelino, I. P. V. de O. *et al*. "Ocorrências de granizo no estado de Santa Catarina", Simpósio brasileiro de desastres naturais, Florianópolis, 2004. GEDN/UFSC, 2004, p. 795-805. (CD-ROM).
[6] Silveira, F. L. "Velocidade das pedras de granizo", Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 2015.
[7] Laurie, J. A. P. *"Hail and its Effects on Buildings"*, Council for Scientific and Industrial Research, 1960.
[8] ANBT NBR 15575-5:2013 – *Edificações habitacionais- Desempenho- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.*
[9] ASTM D 3746 – *Standard test method for impact resistance of bituminous roofing systems*
[10] FMRC 4470 – *Susceptibility to hail Damage, test standard for class 1 roof cover*
[11]UL 2218 – *Impact resistance of prepared roof coverings*
[12] Cullen, W. C. *"Hail Damage to Roofing: Assessment and Classification"*, Proceedings of the Fourth International Symposium on Roofing Technology, NRCA/NIST, 1992.
[13] Greenfeld, S. H. *"Hail resistance of roofing products"*. National Bureau of Standards Washington DCInstfor Applied Technology, 1969.
[14] Crenshaw, V. A.; Koontz, J. D. *"Simulated Hail Damage and Impact Resistance Test Procedures for Roof Coverings and Membranes"*,RCI Interface, v. 19, n. 5, p. 5-10, 2001.