

COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE PAREDES EM GESSO – AVALIAÇÃO DA ADEQUABILIDADE A ZONAS CLIMÁTICAS DO BRASIL

ALMAÍ DO NASCIMENTO DOS SANTOS

Tese submetida para obtenção do grau de
DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Professor Doutor João Manuel do Paço Quesado Delgado

JANEIRO DE 2017

PROGRAMA DOUTORAL EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Programa Doutoral em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A Deus e a todos que amo.

Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa.

Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Douto Nuno Manuel Monteiro Ramos, pela disponibilidade, dedicação, e sempre boa disposição para com este trabalho. Agradeço a proposta do tema, de carácter inovador e estimulante.

Ao Doutor João Manuel Delgado, pelas colaborações.

A Joana Maia por todo carinho, incentivo, apoio, disponibilidade e colaboração no esclarecimento de dúvidas. Amiga muito querida.

Às empresas SUPERGESSO, TECOMAT e ao ITEP, e seus colaboradores, pelo apoio recebido e disponibilidade para a produção desta tese.

A UNIVASF, em especial aos colegas e colaboradores do laboratório de materiais de construção e de mecânica dos solos.

A todos os colegas de curso, pelo companheirismo ao longo destes anos, em especial a Niubis Luperon, Claudia Ferreira, Sara Freitas, Pedro Pereira, Antonio Augusto e Paulo Pinto.

À minha família, mãe e irmãos, em especial aos meus filhos Ana Carolina, Camila, Paula e Nicolás Freire, razão de minhas conquistas.

Ao meu esposo Paulo Freire, os meus mais sinceros agradecimentos, por estar sempre ao meu lado e por me apoiar de forma incondicional em todos os momentos vividos.

RESUMO

Atualmente, os blocos de gesso estão destinados à realização de paredes interiores de edifícios residenciais e comerciais, em estruturas de betão armado ou similar. No Nordeste brasileiro, a indústria da construção tem também aplicado alvenarias de blocos de gesso em fachadas, apesar da falta de enquadramento normativo e regulamentar.

A humidade constitui uma das principais causas de deterioração dos edifícios e dos materiais de construção, em particular, a variação do teor de humidade e da humidade relativa em paredes, onde a ausência de cuidado em relação à avaliação do comportamento higrotérmico dos edifícios pode levar à ocorrência de patologias.

O desempenho higrotérmico de uma edificação tem sido objeto de grande exigência, por parte de profissionais da área da construção, no que se refere a obras de engenharia de novas e de reabilitação de antigas edificações. A escolha adequada de materiais, elementos construtivos e de tecnologias de construção é, cada vez mais, sustentada por simulação numérica, que reproduz o comportamento dos edifícios. Neste caso, são as propriedades higrotérmicas dos materiais, que representam a base fundamental para a realização dessas simulações higrotérmicas.

Para atingir as condições ideais do conforto higrotérmico no interior de uma edificação, é necessário um maior controlo dos fatores que as condicionam, seja da temperatura e da humidade relativa no interior, que são afetadas pelo clima exterior e pela utilização dos edifícios, assim como, pelas características referentes à geometria, localização e constituição da fachada.

Este trabalho tem como objetivo fundamental avaliar o comportamento higrotérmico de paredes de gesso na diversidade climática do Brasil, com base na ação e interação entre os agentes externos de origem climática e o elemento de fachada. Realizou-se, numa primeira parte, uma caracterização experimental para determinação laboratorial de propriedades dos materiais de gesso e dos diferentes teores de hidrofugação, que condicionam o seu comportamento higrotérmico, especialmente a permeabilidade ao vapor, capilaridade, curva de retenção e condutibilidade térmica. Posteriormente, os blocos de gesso foram também testados relativamente ao seu comportamento mecânico, através de ensaios de resistência à flexão e à compressão, aderência à tração e dureza superficial. Também o desempenho do sistema de parede foi avaliado tendo em conta a sua estanqueidade.

A outra parte do trabalho incidiu na avaliação do comportamento higrotérmico de paredes de gesso do tipo standard e do tipo hidro (sem e com hidrofugação, respetivamente), por meio de simulação numérica, utilizando o programa WUFI Pro 5.2 como ferramenta de simulação higrotérmica. Esta análise teve como intuito verificar a influência de diversos fatores como a constituição da parede, a solicitação climática exterior, através da localização geográfica, e também clima interior, o revestimento das paredes, a orientação das fachadas e a chuva incidente nas mesmas.

Os resultados mostraram a possibilidade de aplicação de alvenarias de gesso em fachadas, mas apenas em contextos climáticos favoráveis, com baixa pluviosidade e elevada insolação. Só trabalhos futuros que incluam campanhas in-situ poderão suportar a justificação da aplicação das soluções estudadas no exterior.

PALAVRAS-CHAVE: Comportamento higrotérmico, Paredes de gesso, Chuva incidente, Simulação numérica.

ABSTRACT

Currently, gypsum based blocks are destined to residential and commercial buildings interior walls, reinforced concrete structures or similar constructions. In the Northeast of Brazil, the construction industry has also applied gypsum based blocks in facades, despite the lack of legal framework and regulation.

Moisture is a major cause of deterioration in buildings and its materials, in particular, the water content and relative humidity variation in walls, where the lack of care in the assessment of hygrothermal behavior of buildings can lead to occurrence of pathologies.

Buildings hygrothermal performance has been a subject of great demand, by construction professionals, as regards the new construction and rehabilitation. The proper choice of materials, building elements and building technology is increasingly supported by numerical simulation that replicates the buildings' behavior. In that case, the materials hygrothermal properties represent the fundamental basis for achieving these hygrothermal simulations.

To achieve the ideal conditions of hygrothermal comfort inside a building, it is necessary to have greater control of the factors that influence those conditions, both interior temperature and relative humidity, which are affected by climatic conditions and the use of the buildings, as well as the characteristics relating to the geometry, location and facade composition.

This work has the aim to evaluate the hygrothermal behavior of gypsum walls in Brazil's climatic diversity, based on the action and interaction between external climatic agents and the facade element. Firstly, it was carried out a laboratory experimental characterization of the gypsum materials properties and different waterproofing contents, which determine their hygrothermal behavior, particularly water vapor permeability, capillarity absorption, retention curve and thermal conductivity. Secondly, gypsum blocks were also tested for their mechanical behavior, by flexural and compressive strength tests, tensile adhesion and surface hardness. The wall system performance was also evaluated in terms of its watertightness.

The other part of this work was focused on the evaluation of the hygrothermal behavior of the standard and the hydrophobic gypsum based walls by means of numerical simulation, using WUFI Pro 5.2 program as hygrothermal simulation tool. This analysis was intended to assess the influence of various factors such as the wall constitution, the climatic conditions by geographical location, and also the interior conditions, the wall coatings, the orientation of the facades and the driving rain.

The results showed the possibility of gypsum based masonry application on facades, but only in favorable climatic contexts, with low precipitation and high solar radiation. Only future works, including in-situ campaigns may support the justification for applying the studied solutions in facades.

KEYWORDS: Hygrothermal behavior, Gypsum based walls, Driving rain, Numerical simulation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA	4
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. O GESSO E A CONSTRUÇÃO BRASILEIRA	7
2.1.1. UTILIZAÇÃO DE GESSO NO MUNDO	7
2.1.2. DISPONIBILIDADE DE GESSO NO BRASIL	8
2.1.3. APLICAÇÃO DO GESSO NO BRASIL	10
2.1.4. HIDROFUGAÇÃO DO GESSO	17
2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE GESSO	18
2.2.1. NORMALIZAÇÃO EUROPEIA	18
2.2.2. NORMALIZAÇÃO AMERICANA	24
2.2.3. NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA	25
2.2.4. SÍNTESE DE EXIGÊNCIAS NORMATIVAS	28
2.3. CHUVA INCIDENTE EM PAREDES	28
2.3.1. AÇÃO DA CHUVA INCIDENTE OU DIRIGIDA	29
2.3.2. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE	30
2.3.3. MÉTODOS E MODELOS DE QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA	31
2.3.4. MÉTODOS E MODELOS DE QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA UTILIZADOS	32
2.3.4.1. Modelo de Straube e Burnett	33
2.3.4.2. Modelo do WUFI	37
2.3.4.3. Modelo ASHRAE	38
2.3.4.4. Modelo da EN ISO 15 927-3	39
2.4. MODELAÇÃO HIGROTÉRMICAS DE PAREDES	46
2.4.1. ENQUADRAMENTO	46

2.4.2. PRINCÍPIOS DE MODELAÇÃO	47
2.4.2.1. Configuração do elemento construtivo	48
2.4.2.2. Orientação, Inclinação do Elemento e Coeficientes de Chuva Incidente.	51
2.4.2.3. Coeficiente de Transferência à Superfície.	51
2.4.2.4. Condições iniciais de temperatura e humidade relativa e período de cálculo.	52
2.4.2.5. Condições Climáticas	53
2.4.3. SAÍDA DOS RESULTADOS	54

3. METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. ENQUADRAMENTO	55
3.2. MATERIAIS E COMPONENTES	57
3.2.1. GESSO STANDARD PARA BLOCOS	57
3.2.2. GESSO HIDRO PARA BLOCOS.....	58
3.2.3. GESSO HIDRO PARA REBOCO	58
3.2.4. GESSO COLA HIDRO	59
3.2.5. BLOCOS.....	59
3.2.6. PAREDES.....	60
3.3. ABSORÇÃO CAPILAR	61
3.3.1. CONCEITOS	61
3.3.2. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO	64
3.3.3. EQUIPAMENTOS	66
3.3.4. PROVETES	67
3.4. CURVA DE RETENÇÃO	68
3.4.1. CONCEITO	68
3.4.2. NORMA E DESCRIÇÃO DE ENSAIO	69
3.4.3. EQUIPAMENTOS	71
3.4.4. PROVETES.....	71
3.5. PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	72
3.5.1. CONCEITO	72
3.5.2. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO	74
3.5.3. EQUIPAMENTO	76
3.5.4. PROVETES.....	77
3.6. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA	77

3.6.1. CONCEITO	77
3.6.2. NORMA E DESCRIÇÃO DE ENSAIO	78
3.6.3. EQUIPAMENTO	78
3.6.4. PROVETES.....	79
3.7. RESISTÊNCIA À FLEXÃO	80
3.7.1. NORMA E DESCRIÇÃO DE ENSAIO	80
3.7.2. EQUIPAMENTO	81
3.7.3. PROVETES.....	82
3.8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	82
3.8.1. NORMA E DESCRIÇÃO	82
3.8.2. EQUIPAMENTO	82
3.8.3. PROVETES.....	83
3.9. DUREZA SUPERFICIAL	84
3.9.1. NORMA E DESCRIÇÃO.....	84
3.9.2. EQUIPAMENTO	84
3.9.3. PROVETES.....	84
3.10. ESTANQUIDADE	85
3.10.1. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO.....	85
3.10.2. EQUIPAMENTO E PROVETES	87
3.11. ARRANCAMENTO POR TRAÇÃO	88
3.11.1. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO.....	88
3.11.2. EQUIPAMENTO E PROVETES	90
3.12. RESISTÊNCIA AO IMPACTO.....	90
3.12.1. CORPO MOLE	91
3.12.2. CORPO DURO.....	92
 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	 95
4.1. ABSORÇÃO CAPILAR.....	95
4.1.1. GESSO PARA BLOCOS.....	95
4.1.2. GESSO PARA REVESTIMENTO	99
4.1.3. GESSO COLA.....	100
4.1.4. ANÁLISE COMPARATIVA.....	101
4.2. CURVA DE RETENÇÃO	102

4.3. PERMEABILIDADE AO VAPOR	105
4.4. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA	107
4.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	107
4.6. RESISTÊNCIA À FLEXÃO	108
4.7. DUREZA SUPERFICIAL	110
4.8. ESTANQUIDADE	110
4.9. ARRANCAMENTO POR TRAÇÃO	112
4.10. RESISTÊNCIA AO IMPACTO	114
4.10.1. CORPO MOLE	114
4.10.2. CORPO DURO	115
 5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PAREDES DE GESSO	 117
5.1. MODELAÇÃO DE PAREDES DE GESSO NO WUFI	117
5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	117
5.1.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	118
5.1.3. CONDIÇÕES FRONTEIRAS	119
5.2. CHUVA INCIDENTE EM PAREDES DO BRASIL	121
5.2.1. MODELAÇÃO APLICADA	121
5.2.2. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DO WUFI	122
5.2.3. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DA ASHRAE	122
5.2.4. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DE STRAUBE E BURNETT	123
5.2.5. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DA EN 15 927-3	124
5.2.6. COMPARAÇÃO DE MODELOS	125
5.3. ESTUDO DE SENSIBILIDADE	127
5.3.1. CENÁRIOS CONSIDERADOS	127
5.3.2. INFLUÊNCIA DO TEOR DE HIDROFUGAÇÃO	130
5.3.3. INFLUÊNCIA DE QUANTIDADE DE CHUVA INCIDENTE	133
5.3.4. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DA PAREDE	142
5.3.5. INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DA PAREDE	146
5.3.6. INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO	153
 6. CONCLUSÕES	 161
6.1. CONCLUSÕES	161

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	165
---	------------

BIBLIOGRAFIA.....	167
--------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Casa de Gesso construída em Gravatá - PE.....	2
Fig. 2 - Fachadas em blocos de gesso Hidro - Edifício em Petrolina- PE	2
Fig. 3 - Casa de gesso em Petrolina- PE.....	3
Fig. 4 - Conjunto de apartamentos construído em Gesso: Belém do São Francisco- PE.....	3
Fig. 5 - Extremo oeste do estado de Pernambuco. Fonte: Fundação Araripe (2001).	9
Fig. 6 - Bloco de gesso Standard.	14
Fig. 7 - Bloco de Gesso Hidro.	15
Fig. 8 - Bloco de Gesso com reforço de fibra de vidro.	15
Fig. 9 - Bloco de gesso reforçado com fibra de vidro e hidrofugado.	16
Fig. 10 - Mapa com índices de precipitação anual por regiões do Brasil, Fonte: INMET (2008).	31
Fig. 11 - Influência das coberturas na deflexão do vento. Fonte: Straube, (2010).	34
Fig. 12 - Valor de RAF segundo Straube e Burnett: a) edifício baixo com $H/W \ll 1$; b) edifício alto (>10 m) com $H/W \gg 1$ onde H representa a altura do edifício e W o comprimento; c) edifício baixo com cobertura inclinada e beiral. Fonte: Straub, 2010.	34
Fig. 13 - Parâmetros para determinar TOF , em colina (Straube, 2010).	35
Fig. 14 - Parâmetros para determinar TOF , em escarpa (Straube, 2010).	36
Fig. 15 - Tipos de exposição segundo Straube e Burnett (Straube, 2010).	37
Fig. 16 - Definição dos parâmetros para determinar C_T , onde (1) corresponde à direção do vento e (2) ao ponto mais alto (EN ISO 15 927-3: 2007).	43
Fig. 17 - Fator s para escarpas. (EN ISO 15 927-3: 2007).	44
Fig. 18 - Fator s para colinas (EN ISO 15 927-3: 2007).	44
Fig. 19 - Curva de retenção de materiais de construção em função da umidade relativa (IBP, 2016).	49
Fig. 20 - Coeficientes de transferência à superfície (WUFI).	51
Fig. 21 - Condições climáticas exteriores - (WUFI).	53
Fig. 22 - Condições climáticas Interiores através da EN 15 026-(WUFI).	54
Fig. 23 - Fluxograma da primeira etapa do trabalho experimental	56
Fig. 24 - Fluxograma da segunda etapa do trabalho experimental - Absorção por Capilaridade.	56
Fig. 25 - Fluxograma da segunda etapa do trabalho experimental – Blocos e Parede.	57
Fig. 26 – Provetes de gesso standard e hidro (1ª etapa).	57
Fig. 27 - Molde metálico para fabricação de provetes e provetes de gesso para blocos hidro (2ª etapa).	58
Fig. 28 - Misturador mecânico para argamassas (2ª etapa).	59
Fig. 29 - Dosagem mecânica e confecção dos blocos hidro na linha de produção da fábrica (2ª etapa).	60
Fig. 30 - Blocos em paletes e no processo de caracterização (2ª etapa).	60

Fig. 31 - Paredes para ensaio de impacto de gesso hidro (2º etapa).....	61
Fig. 32 - Paredes para ensaio de estanquidade e gesso cola hidro para assentamento (2ºetapa).	61
Fig. 33 - Material com porosidade aberta (a) com porosidade fechada (b) (adaptado por Freitas <i>et al</i> , 2008).....	61
Fig. 34 - Fenómeno de capilaridade (adaptado por Freitas <i>et al</i> , 2008).	62
Fig. 35 - Representação de ensaios de líquidos molhantes e não molhantes em capilares	62
Fig. 36 - Modelo teórico cilíndrico de sucção e pressão (adaptado por Freitas <i>et al</i> , 2008).	63
Fig. 37 - Impermeabilização das faces dos provetes.	65
Fig. 38 - Imersão e pesagem dos provetes no ensaio de capilaridade.....	65
Fig. 39 - Provetes em imersão	66
Fig. 40 - Pesagem individual dos Provetes.	66
Fig. 41 - Argamassadeira mecânica e balança FILIZOLA.	67
Fig. 42 - Recipiente e balança para dosagem do produto hidrofugante	67
Fig. 43 - Provetes para ensaios com dimensões 40x40x160 mm e serrados com dimensões 40x40x80 mm.....	68
Fig. 44 - Medição dos Provetes com o auxílio de um paquímetro.	68
Fig. 45 - Representação da curva de retenção (Ramos, 2007).	69
Fig. 46 - Pesagem e condicionamento de provetes para determinação de W_{80}	70
Fig. 47 - Imersão total e pesagem dos provetes de gesso.	71
Fig. 48 – Preparação de provetes para o W_{80}	71
Fig. 49 - Amostras dos provetes para ensaio de saturação (W_{sat}).....	72
Fig. 50 - Desenho esquemático do fluxo de vapor dos métodos da tina seca e tina húmida Fonte (Ramos, 2007)	72
Fig. 51 - Soluções para ensaio de tina seca.	75
Fig. 52 - Soluções para ensaio de tina Húmida.	75
Fig. 53 - Etapas do ensaio de permeabilidade ao vapor.....	76
Fig. 54 – Câmara climática para ensaio.....	77
Fig. 55 - Representação da tina de ensaio (Ramos, 2008).....	77
Fig. 56 - Equipamento Holometrix GHP-300.....	78
Fig. 57 - Esquema de ensaio (Ramos e Pereira, 2009).	79
Fig. 58 - Equipamento Holometrix.	79
Fig. 59 - Dispositivos para o ensaio de flexão.....	81
Fig. 60 - Prensa EMIC para ensaio de resistência à flexão.	81
Fig. 61 - Preparação e aplicação do provete no ensaio de resistência à flexão.....	82
Fig. 62 - Prensa EMIC para 600KN servo-controlada.	83
Fig. 63 - Proвете de gesso para ruptura.....	83
Fig. 64 - Durómetro MAINARD SHORE C.	84
Fig. 65 - Ensaio de dureza superficial	84
Fig. 66 - Paredes de gesso hidro e gesso cola hidro.....	85

Fig. 67 - Procedimento do ensaio de estanquidade.....	86
Fig. 68 - Área de avaliação do ensaio de estanquidade	86
Fig. 69 - Detalhe da câmara de ensaio NBR 15575-4 (2013).....	87
Fig. 70 - Preparação das amostras para o ensaio de aderência.	88
Fig. 71 - Preparação das amostras para ruptura.	89
Fig. 72 - Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento	90
Fig. 73 - Esquema de ensaio de resistência ao impacto de corpo mole	91
Fig. 74 - Elementos construtivos avaliados (corpo mole).	92
Fig. 75 - Detalhe esquemático do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro	93
Fig. 76 - Elementos construtivos avaliados (corpo duro).	93
Fig. 77 - Curva de absorção de água por capilaridade nos provetes Standard.	96
Fig. 78 - Curva de absorção de água por capilaridade nos provetes Hidro.	96
Fig. 79 - Curva de absorção de água por capilaridade nos provetes para blocos com diversos teores de hidrofugação.....	98
Fig. 80 - Curva de absorção de água nos Provetes para revestimento.....	100
Fig. 81 - Curva de absorção de água nos provetes para o gesso cola.	101
Fig. 82 – Análise comparativa da absorção de água por capilaridade para os diferentes tipos de gesso para bloco e para revestimento.....	102
Fig. 83 - Teor de humidade de saturação.	104
Fig. 84 – Teor de humidade de referência e teor de humidade de saturação, em provetes de gesso para blocos.	105
Fig. 85 - Fator de resistência ao vapor de água do gesso Standard.	106
Fig. 86 – Fator de resistência ao vapor de água do gesso Hidro.	106
Fig. 87 – Resultado visual do ensaio de determinação de resistência à compressão.	107
Fig. 88 - Resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos de gesso Hidro.....	108
Fig. 89 – Resultado visual do ensaio de resistência à flexão do bloco de gesso Hidro.	109
Fig. 90 - Resultados do ensaio de resistência à flexão dos blocos de gesso Hidro.....	109
Fig. 91 - Resultados da comparação do ensaio de dureza superficial do bloco de gesso Hidro.	110
Fig. 92 - Amostras tipo de blocos com teor de hidrofugação de 0,1%.	111
Fig. 93 - Amostras tipo de blocos com teor de hidrofugação de 0,3%.	111
Fig. 94 - Tipos de ruptura obtidos no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento	112
Fig. 95 – Identificação das moedas do ensaio de corpo duro.....	115
Fig. 96 - Orientação, inclinação e altura da fachada (WUFI).	117
Fig. 97 - Mapa das regiões climáticas brasileiras e climogramas do Brasil – clima e pluviosidade das regiões.....	120
Fig. 98 - Mapa de divisão do zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT 1998).	120
Fig. 99 - Condições climáticas Interiores através da EN 15 026 (2007) (WUFI).	121

Fig. 100 - Chuva incidente determinada segundo o modelo WUFI.	122
Fig. 101 – Chuva incidente determinada segundo o modelo ASHRAE.	123
Fig. 102 - Chuva incidente determinada segundo o modelo de Straube e Burnett.	124
Fig. 103 - Chuva incidente determinada segundo o modelo da EN 15927-3 (2007).	125
Fig. 104 – Chuva incidente de acordo com os quatros métodos aplicados.	126
Fig. 105 – Intensidade de precipitação anual em Recife, Passo Fundo e Curitiba.	126
Fig. 106 - Chuva incidente segundo os modelos semi-empíricos, tendo em conta a localização.	127
Fig. 107 – Denominação das siglas das cidades simuladas.	128
Fig. 108 - Pontos de monitorização da parede de gesso.	130
Fig. 109 - Humidade Relativa na parede de gesso ao longo de um ano, a 1 cm da face exterior) em função do teor de hidrofugação, nas cidades de Curitiba e Petrolina para orientação Leste.	131
Fig. 110 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrolina para orientação Leste.	132
Fig. 111 – Frequência acumulada da humidade relativa no ponto de monitorização das paredes de gesso para as cidades de Curitiba e Petrolina.	133
Fig. 112 – Frequência acumulada do teor de humidade no ponto de monitorização das paredes de gesso para as cidades de Curitiba e Petrolina.	133
Fig. 113- Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba.	134
Fig. 114 - Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina.	135
Fig. 115 - Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba.	136
Fig. 116 - Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina.	136
Fig. 117 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba para orientação Leste - M1.	137
Fig. 118 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina para orientação Leste - M1.	137
Fig. 119 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba.	138
Fig. 120 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina.	139
Fig. 121 - Influência da quantidade da chuva incidente na humidade relativa para Curitiba.	140
Fig. 122 - Influência da quantidade da chuva incidente na humidade relativa para Petrolina.	140
Fig. 123 - Influência da quantidade da chuva incidente no teor de humidade para Curitiba.	141
Fig. 124 - Influência da quantidade da chuva incidente no teor de humidade para Petrolina.	141

Fig. 125 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da orientação das paredes de gesso na cidade de Curitiba, para os materiais M1 e M2.....	142
Fig. 126 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da orientação das paredes de gesso na cidade de Petrolina para os materiais M1 e M2.	143
Fig. 127 - Teor de humidade no ponto de monitorização das paredes de gesso ao longo de um ano, em função da orientação na cidade de Curitiba.....	144
Fig. 128 - Teor de humidade no ponto de monitorização das paredes de gesso ao longo de um ano, em função da orientação na cidade de Petrolina.	144
Fig. 129 - Influência da orientação da parede na humidade relativa – Material M1.	145
Fig. 130 - Influência da orientação da parede na humidade relativa- Material M2.....	145
Fig. 131 - Influência da orientação da parede no teor de humidade – Material M1.	146
Fig. 132 - Influência da orientação da parede no teor de humidade – Material M2.	146
Fig. 133 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.	147
Fig. 134 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de 10 anos, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.	148
Fig. 135 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.	149
Fig. 136 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de 10 anos, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.	150
Fig. 137 - Influência do revestimento na humidade relativa para 1 ano e 10 anos na cidade de Curitiba.	151
Fig. 138 - Influência do revestimento na humidade relativa para 1 ano e 10 anos na cidade de Petrolina.	152
Fig. 139 - Influência do revestimento no teor de humidade para 1 ano e 10 anos na cidade de Curitiba.	152
Fig. 140 - Influência do revestimento no teor de humidade para 1 ano e 10 anos na cidade de Petrolina.	153
Fig. 141 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso- Material M1.	154
Fig. 142 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso- Material M2.	154
Fig. 143 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso – Material M1.	155
Fig. 144 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso- Material M2.	155
Fig. 145 - Influência da localização na humidade relativa.	156
Fig. 146 - Influência da localização no teor de humidade.....	156

Fig. 147 - Teor de humidade no ponto de monitorização em função da orientação e da precipitação.	
.....	158
Fig. 148 - Teor de humidade no ponto de monitorização em função da orientação e da radiação solar.	
.....	158
Fig. 149 - Teor de humidade em função da localização.	160

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Uso do gesso como material construtivo ao longo do tempo	8
Tabela 2 - Características dos blocos de gesso para alvenaria de vedação (ATUAL 2009, apud Neves, 2011).	13
Tabela 3 - Características do bloco Standard (ABNT PN. 02: 013-40-010).	14
Tabela 4 - Característica do gesso cola Standard (S) e Hidrofugado (H) - (SINAT-2012).	17
Tabela 5 - Normas Europeias aplicáveis ao uso do gesso na construção.	18
Tabela 6 - Exigências para Argamassas de Gesso EN 13279 (2008).	20
Tabela 7 - Exigências para argamassas de gesso para fins especiais EN 13279-2 (2008).	21
Tabela 8 - Classificação dos blocos de gesso. EN 12 859 (CEN, 2008).	22
Tabela 9 - Dimensão, Densidade e Massa dos blocos de gesso - EN 12 859 (CEN, 2008).	22
Tabela 10 - Carga mínima de ruptura da resistência à flexão dos blocos de gesso - NF EN 12859 (CEN, 2008).	22
Tabela 11 - Teor de humidade, ph, capacidade de absorção, dureza superficial e planicidade dos blocos de gesso - EN 12 859 (CEN, 2008).	23
Tabela 12 - Normas Americanas aplicáveis ao uso do gesso na construção.	24
Tabela 13 - Exigências químicas do gesso para construção - NBR 13.207 (2004).	25
Tabela 14 - Exigências com relação às propriedades físicas e mecânicas do gesso - NBR 13.207 (2004).	25
Tabela 15 - Exigências com relação às propriedades granulométricas do gesso - NBR 13.207 (2004).	26
Tabela 16 - Especificação de granulometria para o gesso cola - NBR 13.207 (2004).	27
Tabela 17 - Especificação química para o uso de gesso cola. Fonte: NBR 13.207 (2004).	27
Tabela 18 - Especificação com relação às propriedades físicas e mecânicas da pasta de gesso cola NBR 13.207 (2004).	28
Tabela 19 - Parâmetros para determinar TOF (Straube, 2010) e adaptado de Freitas, 2011.	36
Tabela 20 – Valores segundo Straube e Burnett (Straube, 2010).	37
Tabela 21 - Valores de R_2 (WUFI).	38
Tabela 22 - Valores de Fator de exposição F_E (ASHRAE).	39
Tabela 23 - Valores do fator de deposição F_D – (ASHRAE).	39
Tabela 24 - Categorias do terreno e parâmetros para cálculo de calcular o C_R . ISO 15927-3 (2007). ..	42
Tabela 25 - Comprimento efetivo, L_E - Fonte: ISO 15 927-3 (2007).	43
Tabela 26 - Valores do Factor de Obstrução (EN ISO 15 927-3: 2007).	45
Tabela 27 - Fator de fachada (W) - ISO 15927-3 (BS, 2009); adaptada de Zanoni, 2014.	46
Tabela 28 - Aproximação para D_{ws} e D_{ww} (WUFI).	50
Tabela 29 - Propriedade de transmissão ao vapor de água (CEN, 2000).	73
Tabela 30 - Propriedades de transmissão ao vapor de água de alguns materiais de construção	74

Tabela 31- Condições dos ensaios de transmissão de vapor.	76
Tabela 32 - Dimensões das placas de gesso.	80
Tabela 33 - Coeficiente de absorção dos provetes Standard.	97
Tabela 34 - Coeficiente de absorção dos provetes Hidro.	97
Tabela 35 - Classificação de materiais quanto à absorção de água segundo a norma DIN 52.617(1987).	97
Tabela 36 - Resultados de Dw no gesso analisado.	98
Tabela 37 - Coeficiente de absorção dos blocos.	99
Tabela 38 - Coeficiente de absorção do gesso para revestimento.	100
Tabela 39 - Coeficiente de absorção do gesso cola.	101
Tabela 40 – Teor de humidade de saturação obtido nos provetes de gesso, com diferentes teores de hidrofugação.	103
Tabela 41 – Teor de humidade de referência e de saturação para diferentes tipos de blocos de gesso.	104
Tabela 42 - Condutibilidade térmica do gesso tipo Standard e do tipo Hidro.	107
Tabela 43 - Valores médios da resistência à compressão dos blocos de gesso.	108
Tabela 44 - Valores médios da resistência à flexão dos blocos de gesso.	109
Tabela 45 - Valores médios da dureza superficial dos blocos de gesso.	110
Tabela 46 - Condições de ensaio de estanquidade à água de SVVE.	111
Tabela 47 - Características e resultado do material após 7 horas de ensaio.	112
Tabela 48 - Resultados da resistência de aderência à tração das argamassas/cola aplicadas sobre blocos de gesso.	113
Tabela 49 – Resultado do impacto de corpo mole de acordo com a NBR 15 575-4 (2013).	114
Tabela 50 - Impacto de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, sem função estrutural NBR 15 575-4 (2013).	114
Tabela 51 – Resultados do impacto de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas).	115
Tabela 52 – Impacto de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas), de casas térreas, sem função estrutural NBR 15 575-4 (2013).	116
Tabela 53 - Propriedades básicas dos materiais	118
Tabela 54 - Coeficientes de transferência à superfície.	119
Tabela 55 - Tabela de correspondência.	128
Tabela 56 - Resumo das características das simulações na cidade de Curitiba.	129
Tabela 57 – Valores da Humidade Relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrolina para orientação Leste.	131
Tabela 58 – Valores do Teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrolina.	132
Tabela 59 - Parâmetros utilizados nas simulações para comparação da intensidade da chuva incidente, com o modelo da ASHRAE.	134

Tabela 60 – Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente para M1.	135
Tabela 61 – Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente para M2.	136
Tabela 62- Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente nas cidades de Curitiba e Petrolina- M1.	138
Tabela 63 – Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente nas cidades de Curitiba e Petrolina- M2.	139
Tabela 64 – Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da orientação da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina com M1.	143
Tabela 65 - Dados estatísticos da humidade relativa na parede de gesso ao longo de um ano, em função da orientação da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina com M2.	143
Tabela 66 - Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do revestimento da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina.	148
Tabela 67 - Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do revestimento da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina.	151
Tabela 68 - Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de 10 anos, em função do revestimento da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina.....	151
Tabela 69 – Precipitação anual das cidades brasileiras em estudo.	157
Tabela 70 – Radiação solar anual das cidades brasileiras em estudo.	158

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a	Parâmetro para calcular TOF [-]
$\bar{A}$	Coeficiente de absorção de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$]
A_w	Coeficiente de absorção de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$]
b	Incremento da condutibilidade térmica induzido pela humidade [%M.-%]
b'	Factor de aproximação [-]
c	Calor específico [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
C_R	Coeficiente de rugosidade [-]
C_T	Coeficiente de topografia [-]
C_{RP}	Coeficiente de protecção da chuva [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0.5})$]
D	Direcção horária média do vento a partir do Norte [°]
DRF	Factor de chuva incidente [-]
D_w	Coeficiente de difusividade hídrica [m^2/s]
D_{ws}	Coeficiente de difusividade hídrica para a sucção [m^2/s]
D_{ww}	Coeficiente de difusividade hídrica para a redistribuição [m^2/s]
D_ϕ	Coeficiente de condução líquida [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$]
D_{pred}	Diâmetro predominante das gotas [mm]
d_{medio}	Diâmetro médio das gotas [mm]
e	Espessura [m]
F_D	Factor de deposição da chuva [-]
F_E	Factor de exposição à chuva [-]
FF	Fator de forma
g_w	Densidade do fluxo de humidade [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
H	Valor geométrico [m]
H'	Entalpia [J/m^3]
HR	Humidade relativa [%]
h_1	Calor latente da mudança de fase [J/kg]
I	Índice de chuva incidente [m^2/s]
I_A	Índice anual para campo aberto [l/m^2]
I_S	Índice de chuva persistente para campo aberto [l/m^2]
$\dot{I}_S$	Índice de chuva persistente para cada período de chuva incidente mais gravosa, para campo aberto [l/m^2]

I_{WA}	Índice anual para a fachada [l/m^2]
I_{WS}	Índice de chuva persistente para a fachada [l/m^2]
I_{rs}	Componente da radiação solar normal à superfície [W/m^2]
K	Parâmetro para calcular TOF [-]
k	Coeficiente de chuva incidente [s/m]
K_R	Factor do terreno [-]
L	Valor geométrico [m]
m_{abs}	Quantidade de água absorvida [kg/m^2]
m_{seca}	Quantidade de água que seca [kg/m^2]
N	Número de anos de dados disponíveis [-]
O	Factor de obstrução [-]
P_i	Precipitação em superfície horizontal para o intervalo elementar de tempo considerado [m]
p_{sat}	Pressão de saturação [Pa]
q_s	Densidade de fluxo de calor absorvido pela superfície devido à radiação solar incidente [W/m^2]
RAF	Factor de admissão de chuva [-]
R_1	Coeficiente dependente do tipo de elemento construtivo [-]
R_2	Coeficiente dependente da localização na fachada [s/m]
R_h	Intensidade de precipitação horizontal [$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ou mm/h]
R_{WDR}	Quantidade de chuva incidente [$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ou mm/h]
s	Factor para calcular C_T [-]
S_{max}	Parâmetro para calcular TOF [-]
S_d	Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m]
T	Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
TOF	Factor de topografia
t_{chuva}	Período de tempo de chuva [h]
t_{seco}	Período de tempo de seco [s]
t	Tempo [s]
U	Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
U_{ref}	Coeficiente de transmissão térmica de referência [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
V	Velocidade do vento [m/s]
V	Volume [m^3]

$V(z)$	Velocidade do vento a z [m] acima do solo [m/s]
V_{10}	Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s]
V_i	Velocidade do vento para o intervalo elementar de tempo considerado [m/s]
V_t	Velocidade terminal das gotas [m/s]
W	Factor da fachada [-]
w_{80}	Teor de humidade de referência [kg/m ³]
w_{sat}	Teor de humidade de saturação [kg/m ³]
w	Teor de humidade [kg/m ³]
x	Distância a partir do ponto mais alto da colina/escarpa [m]
z_0	Comprimento da rugosidade aerodinâmica [m]
z_{min}	Altura mínima [m]
$\dot{Z}$	Altura acima do ponto mais alto da colina/escarpa [m]
z	Altura acima do solo [m]
C_p	Calor específico do material [J/kg.k]
α_s	Coefficiente de absorção solar [-]
α	Exposição [-]
γ	Relação entre uma unidade do índice de chuva incidente e a quantidade de chuva incidente [l/m ²]
δ_p	Permeabilidade ao vapor do material [kg/(m·s·Pa)]
δ_a	Permeabilidade ao vapor de água [kg/(m.s.Pa)]
δ_{ar}	Coefficiente de permeabilidade ao vapor de água no ar [kg/(m·s·Pa)]
Δp	Variação da pressão de vapor entre o pano de alvenaria molhado por baixo do reboco e o ar exterior durante o período seco [Pa]
E	Porosidade [m ³ /m ³]
θ	Ângulo entre o Norte e a normal à parede [°]
θ_i	Ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede para o intervalo elementar de tempo considerado [-90° < θ_i < 90°]
θ	Ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede [°]
$\ddot{\theta}$	Temperatura [°C ou K]
λ_0	Condutibilidade térmica do material seco [W/(m·K)]
λ_w	Condutibilidade térmica do material húmido [W/(m·K)]
M	Factor de resistência à difusão [-]
ρ_s	Massa volúmica do material seco [kg/m ³]
φ	Humidade relativa [-]

Φ	Diâmetro das gotas [mm]
Φ	Factor para calcular C_T [-]
CO ₂	Dióxido de carbono
SO ₂	Dióxido de enxofre
CASO ₄	Sulfato de cálcio
SVVE	Sistema de vedação vertical externa
CFD	Computational fluid dynamics
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
EM	Estação Meteorológica
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
HAM	Heat-Air-Moisture
IBP	Institute for Building Physics
IM	Instituto de Meteorologia
LFC	Laboratório de Física das Construções
OMM	Organização Meteorológica Mundial
TRY	Test Reference Year
WDR	Wind-driven rain
HR	Humidade relative (%)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT-PR	Associação Brasileira de Normas Técnicas – Projeto de Norma
AFNOR	Associação Francesa de Normalização
ATEDY	La Asociación Técnica y Empresarial del yeso
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CEN	Comitê Europeu de Normalização
DIN	Deutsches Institut für Normung – (Instituto Alemão para Normalização)
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GRG	Glass Reinforced Gypsum
GRGH	Glass Reinforced Gypsum Hidro
ISO	International Organization for Standardization
LFC	Laboratório de Físicas das Construções
WUFI	Wärme Instationär Feuchte Und – transferência de calor e umidade

NF	Norma Francesa
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PRODEC	Programa Doutoral em Engenharia Civil
PTI	Projeto de Tese e Investigação
SEBRAE	Serviço Brasileiro de apoio às micros e pequenas empresas.
SINDUGESSO	Sindicato da Indústria de Gesso do Estado de Pernambuco
SVVE	Sistema Vertical de Vedação Externa.
LabEEE	Laboratório de eficiência energética de edificações

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

O uso de blocos de gesso na construção brasileira é restrito, devido especialmente à falta de conhecimento da tecnologia e da localização das jazidas de gipsita distante dos grandes centros consumidores (Rocha, 2007). A aplicação de blocos de gesso em paredes interiores, não deve ser considerada uma inovação tecnológica já que há registros de casos em edifícios multi-pavimentos (acima de 12 pavimentos), construídos há mais de 10 anos na cidade de Jaboatão do Guararapes em Pernambuco (Pires Sobrinho, 2009).

Notadamente observa-se uma procura crescente no uso dos blocos de gesso nas paredes interiores em edifícios de múltiplos pavimentos, em grandes cidades do Nordeste brasileiro e até mesmo no interior, mais precisamente nos estados de Pernambuco, Ceará e Sergipe (Neves, 2011). Há por outro lado um grande desconhecimento a respeito da sua tecnologia de produção, bem como do seu comportamento, ocasionado pela falta de normalização nacional, sendo fundamental a realização de investigação sobre o assunto (Lordsleem Jr, 2009).

Os blocos de gesso estão destinados à realização de paredes interiores de edifícios residenciais e comerciais, em estruturas de betão armado ou similar. Têm como componente principal, blocos pré-moldados de gesso, podendo ser permeáveis, se de uso exclusivo como divisórias internas, ou com características hidro-repelentes, se utilizados em paredes exteriores e ou em áreas com presença de água (Costa e Inojosa, 2007).

Embora não exista uma legislação pertinente à utilização de paredes de fachadas em blocos de gesso, algumas construtoras do país fazem esse tipo de aplicação, como é o caso dos registros de imóveis construídos nas cidades de Belém do São Francisco, Gravatá, Petrolina e zona praieira no estado de Pernambuco, bem como na cidade do Rio de Janeiro, conforme se pode verificar nas Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4.

Segundo Peres *et al* (2001), graças à tecnologia de fabricação, o sistema em blocos de gesso apresenta facilidade de aplicação promovendo uma melhor precisão e economia de espaço. Os blocos apresentam acabamento perfeito nas suas superfícies obtendo-se uma superfície plana e pronta para receber acabamento. Os blocos de gesso permitem ainda várias formas de acabamento, como aplicação de fórmicas e colagem de papel de parede, bem como assentamento de cerâmica e pinturas.



Fig. 1 - Casa de Gesso construída em Gravatá - PE



Fig. 2 - Fachadas em blocos de gesso Hidro - Edifício em Petrolina- PE



Fig. 3 - Casa de gesso em Petrolina- PE



Fig. 4 - Conjunto de apartamentos construído em Gesso: Belém do São Francisco- PE

Para Ciarlini, (2001), as paredes divisórias de gesso reduzem em 2/3 o peso das paredes interiores, quando comparadas com as de alvenarias convencionais de blocos cerâmicos vazados. Pois enquanto as alvenarias convencionais pesam na estrutura da edificação 180 kg/m^2 as alvenarias de blocos de gesso pesam 60 kg/m^2 e as divisórias com gesso cartonado pesam 25 kg/m^2 .

Apesar das vantagens no uso dos blocos de gesso, existem poucas empresas que utilizam este tipo de solução no Brasil. Uma das principais razões decorre do pouco conhecimento do desempenho deste subsistema nas edificações, da falta de conhecimento técnico sobre projeto e execução e de exemplos de casos que mostrem resultados de durabilidade com a aplicação dessa tecnologia (Pires Sobrinho *et al*, 2010).

Segundo Moura (2009), um dos grandes entraves à disseminação do uso dos blocos de gesso nas outras regiões do país pode ser identificado pela escassez de trabalhos técnico-científicos sobre o tema

e a inexistência de normas técnicas sobre blocos de gesso, tornando sua aplicação pouco fiável, já que não se tem parâmetros para seu controle de qualidade.

Para o autor, ter um material fiável e de qualidade, é necessário não só que se assegurem as suas características técnicas iniciais, mas também que essas características se comportem de maneira satisfatória ao longo da vida útil do material, ou seja, que se tenha uma durabilidade adequada à utilização requerida.

Diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de avaliar a durabilidade dos materiais alternativos sob diferentes formas de avaliação e utilização. No Brasil, a avaliação de durabilidade das paredes em bloco de gesso é realizada de acordo com a diretriz SINAT-008 analisando-se a Vida Útil de Projeto (VUP), o manual de operação, uso e manutenção, a exposição à agressividade ambiental dos blocos de gesso, a resistência à corrosão dos dispositivos de fixação e a resistência ao crescimento de fungos desses blocos (SINAT-008/2012).

A avaliação da durabilidade depende do conhecimento aprofundado do comportamento higrotérmico do sistema e seus componentes. Segundo Jorne (2010), o comportamento higrotérmico depende de vários parâmetros que normalmente torna impossível estabelecer soluções construtivas que tenham um comportamento adequado em qualquer região. Assim, nos últimos tempos tem havido um enorme esforço científico pelo desenvolvimento de modelos higrotérmicos que possam ajudar a analisar este problema.

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

Para o bom desempenho higrotérmico dos edifícios é necessária uma análise do comportamento dos elementos construtivos para a obtenção do conforto, qualidade, durabilidade e redução no consumo de energia para os seus utilizadores.

O objetivo fundamental desta tese consistiu em avaliar o comportamento higrotérmico de paredes de gesso na diversidade climática do Brasil. Para atingir o objetivo central, definiu-se um conjunto de objetivos parciais necessários à sua materialização, que se descrevem em seguida:

- Elaboração do estado da arte sobre a avaliação da aplicabilidade de gesso na construção brasileira;
- Seleção de um programa de cálculo higrotérmico, adequado à análise do comportamento das paredes em estudo e identificação dos dados de entrada necessários à sua aplicação;
- Determinação laboratorial de propriedades dos materiais, que condicionam a sua capacidade de armazenamento de humidade especialmente a permeabilidade ao vapor, capilaridade, curva de retenção e condutibilidade térmica;
- Análise laboratorial da capacidade de armazenamento de humidade sob a influência de diferentes teores de hidrofugação em elementos de gesso;
- Confecção de blocos de gesso e construção de paredes com diferentes teores de hidrofugação para ensaios de caracterização e avaliação de desempenho;
- Análise dos diferentes modelos de chuva incidente disponíveis, avaliação de quatro desses modelos comparando-os entre si, e elaboração de mapas de chuva incidente de diferentes zonas bioclimáticas do Brasil;
- Análise de sensibilidade através de simulações numéricas, avaliando a influência que o teor de hidrofugação, a orientação, o revestimento e a localização têm no processo de humidificação das paredes de gesso.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

A presente tese está dividida em seis capítulos:

- Capítulo 1: enquadra o trabalho realizado e resume os seus objetivos;
- Capítulo 2: corresponde a uma síntese do estado da arte relacionado com a disponibilidade, recurso, utilização, características e composição dos tipos de gesso brasileiro, bem como apresenta os diversos tipos de blocos para paredes de gesso utilizadas em obras de edifícios. Enquadra as normas aplicáveis ao uso do gesso como material de construção e conceituam-se as propriedades higrotérmicas dos materiais de construção porosos no que se refere à condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor, curva de retenção e absorção capilar. Define métodos de quantificação da chuva incidente nas fachadas dos edifícios e sistematiza a formulação teórica da modelação higrotérmica de edifícios adotada neste trabalho;
- Capítulo 3: descreve a metodologia experimental enquadrando as normas e equipamentos dos ensaios em estudo, no que se refere às propriedades dos materiais do gesso para blocos, revestimento e cola, através dos ensaios de absorção de água por capilaridade, determinação da curva de retenção, teor de humidade de saturação, permeabilidade ao vapor de água, condutibilidade térmica, resistência à compressão e à flexão e dureza superficial. Descreve ainda o desempenho de componentes de gesso com diferentes teores de hidrofugação quanto à resistência ao impacto, arrancamento por tração e estanquidade;
- Capítulo 4: descreve o resultado experimental dos materiais e componentes de gesso a partir dos diferentes teores de hidrofugação, das propriedades desses materiais e do desempenho dos componentes de gesso hidrofugado;
- Capítulo 5: apresenta o processo de validação do modelo de simulação adotado e analisa o comportamento da chuva incidente nas fachadas, efetuando uma análise de sensibilidade tendo em conta as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, o teor de hidrofugação, o revestimento das paredes e a localização geográfica;
- Capítulo 6: apresenta as principais conclusões resultantes deste estudo e perspectiva o desenvolvimento de trabalhos futuros nesta mesma área.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O GESSO E A CONSTRUÇÃO BRASILEIRA

2.1.1. UTILIZAÇÃO DE GESSO NO MUNDO

O gesso é um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem e seu emprego remonta ao 8º milénio a.C. Algumas descobertas arqueológicas importantes confirmam que o emprego do gesso era bastante utilizado em obras de arte e decorações. As argamassas em gesso e cal serviam de suporte a peças decorativas, na produção de pisos e fabricação de recipientes (Peres *et al*, 2001).

O gesso é bastante conhecido na grande pirâmide erguida por Quéps, rei do Egito, da 4ª dinastia, no ano de 2.800 antes da nossa era, que consiste numa das mais antigas contradições do emprego do gesso na construção, pois, sua execução seguiu uma técnica até hoje não esclarecida, nas juntas de assentamento estanques, de precisão, entre imensos blocos de aproximadamente 16 toneladas que constituem o monumento (Gourdin e Kingery, 1975).

Entretanto, o filósofo Theofraste, que viveu entre o século III e século IV a.C, tornou-se conhecido pelo seu “Tratado de Pedra”, que é a documentação mais antiga relacionada com a atividade de extração do minério e produção do gesso. É também o mais antigo e o mais documentado dos autores que se interessava pelo gesso. Theofraste citou a existência de geseiras em Chipre, na Fenícia e na Síria, e indicava que o gesso era utilizado, como argamassa, para a ornamentação e na confecção de estátuas (Angeleri *et al*, 1982; Peres *et al*, 2001).

Na África, foi com um gesso de altíssima resistência que foram construídas as barragens e os canais, que garantiram, por muitos séculos, a irrigação das palmeiras de Mozabe, assim como utilizaram o gesso em blocos de terra para construção de habitações (Peres *et al*, 2001).

Segundo Silveira *et al*, (2007), o período compreendido entre o século XII e o século XVIII é marcado pelo alastramento do uso do gesso na Europa, em especial, com a utilização de argamassas de gesso em habitações antigas em Portugal. A partir do século XVIII, o uso do gesso popularizou-se, passando a ser bastante utilizado na construção bem como na correção de solos (Baltar *et al*, 2005).

A partir de 1768, foi através de Lavoisier que se iniciaram os estudos científicos dos processos envolvidos na preparação de gesso, evitando então, que sua fabricação continuasse a ser executada de forma empírica e elementar (Da Rocha, 2007),

A Renascença foi marcada pelo domínio do emprego do gesso para a decoração e, na época do barroco, foi largamente chamado gesso de estuque (massa preparada com gesso, cal e água para revestimento e ornatos). No século XIX, através de Van T`hoff e Lê Chatelier, além de outros autores, foi possível através de uma abordagem científica conhecer o processo de desidratação da gipsita, transformando a mesma em gesso (Le Plântre, 1982).

A partir do século XX, em função da evolução industrial e de um maior avanço tecnológico dos equipamentos para a fabricação do gesso, melhora-se o produto facilitando sua forma de aplicação (Le Plâtre, 1982). Com o desenvolvimento industrial, novas tecnologias foram agregadas à produção do gesso que favoreceu a fabricação de materiais como: revestimento de paredes na forma de argamassa e pasta, confecção de componentes pré-moldados para forros e divisórias (blocos e painéis de gesso cartonado) e elementos decorativos. Os produtos passaram também a apresentar maior qualidade e desempenho nas suas diferentes aplicações (Cincotto *et al*, 1988a).

No contexto internacional, o Brasil destaca-se pelas suas extensões territoriais e várias riquezas naturais, incluindo a gipsita, matéria-prima bastante empregada na odontologia, agricultura e construção civil, por possuir alto teor de pureza devido a sua exploração a céu aberto e ser de grande viabilidade econômica (Peres *et al*, 2008).

Os Estados Unidos têm na indústria do gesso o benefício das altas taxas de construção de edificações do país, sendo considerado o maior produtor, consumidor e importador do gesso. Na China, a maior parte da produção do gesso é consumida internamente pela indústria do cimento, ficando o restante para serem consumidos pelas indústrias cerâmicas e de produtos para a construção civil. A Espanha além de ser o maior produtor e exportador de gesso da Europa, comercializa sua produção para os Estados Unidos e outros países da Europa (Peres *et al*, 2008). Na França, o consumo de placas de gesso no ano de 2005, ultrapassou 260 milhões de m². Uma média de 4m² por habitante (Les Industries du Plâtre, 2009).

Segundo Gourdin e Kingery (1975) apud Pinheiro (2011), a utilização do gesso como material de construção inclui três fases: (1) A fase que compreende o uso do material desde a antiguidade até ao século XVIII; (2) a fase em que se desenvolveu o conhecimento científico durante os séculos XVIII e XIX e (3), a partir do século XX, com o uso do gesso agregado a tecnologias (Tabela 1).

Tabela 1 - Uso do gesso como material construtivo ao longo do tempo
(Gourdin e Kingery, 1975) apud Pinheiro (2011).

Fase	Período	Ocorrência
1	7.000 a.C. a 2.800 a.C	Argamassa, frescos, moldes e moldagens.
	300 a.C. a 222 a.C.	Extração de gipsita e início do uso na Europa Ocidental.
	Séc. V a XVII	Disseminação do uso na Europa.
2	Séc. XVIII a XIX	Estudos científicos.
3	Séc. XX	Agregação de tecnologia - revestimentos, componentes para a construção, elementos decorativos - uso mundial.

2.1.2. DISPONIBILIDADE DE GESSO NO BRASIL

No Brasil, a reserva de gipsita do país é suficiente para o equivalente a 500 anos de exploração. Está presente no Polo Gesseiro do Araripe onde são gerados 13,9 mil empregos diretos e 69 mil indiretos, resultantes da operação de 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e cerca de 750 indústrias de pré-moldados, que geram uma faturação anual na ordem de R\$ 1,4 bilhões/ano (SINDUSGESSO, 2014).

As principais reservas de gipsita natural no Brasil estão agregadas a cinco bacias sedimentares: (1) A bacia Amazônica (Amazonas e Pará); (2) do Parnaíba (Maranhão e Tocantins); (3) Potiguar (Rio Grande do Norte); (4) do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); e (5) do Recôncavo (Bahia). Divididas em 42,7% para o estado da Bahia; 30,3% para o estado do Pará e 25,1% para Pernambuco, ficando as demais reservas distribuídas entre os estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Amazonas e Tocantins, em ordem decrescente (BRASIL, 2009).

As cidades que possuem melhores condições de exploração econômica no Brasil, segundo estimativas de 2001, estão situadas na bacia do Araripe, localizada no estado de Pernambuco, no polo gesseiro do Araripe (Fig. 5), formados pelos municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi, Ouricuri e Trindade (BRASIL, 2001). A gipsita explorada nessa área é considerada a de melhor qualidade do mundo, com a pureza do minério variando entre 88% e 98% (Baltar *et al.*, 2003; Araújo, 2004).

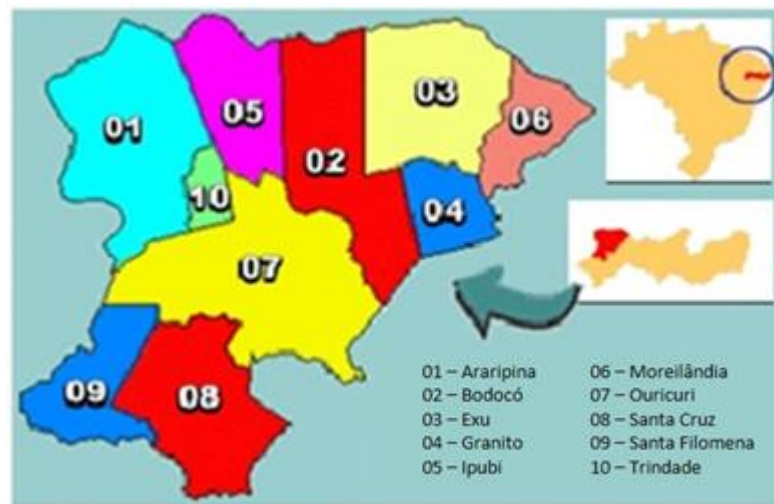


Fig. 5 - Extremo oeste do estado de Pernambuco. Fonte: Fundação Araripe (2001).

Segundo o Brasil (2010), a reserva lavrável de gipsita no Brasil, no final de 2010, atingiu o valor de 230 milhões de toneladas, das quais 93% estão concentradas no estado de Pernambuco. Estima-se que depois do Irão, China, Canadá e México, as reservas brasileiras de gipsita apresentam o quinto maior volume do mundo.

Em virtude da alta demanda por gesso, o Pólo Gesseiro cresceu 30% no ano de 2010. Apesar da grande quantidade de empresas presentes no setor, seis empresas são responsáveis por aproximadamente 70% de toda a produção nacional (Brasil, 2010).

Para Pinheiro (2011), a viabilidade de exploração econômica das reservas de gipsita depende da localização em relação aos centros consumidores, da existência de infraestrutura, da facilidade de exploração (minas de superfície ou subterrâneas) e da pureza do seu minério.

A produção mundial de gipsita em 2014 foi estimada em 246 milhões de toneladas, apresentando um aumento de 0,4% em relação ao ano de 2013, segundo o United States Geological Survey - USGS. A China, o maior produtor com 132 Milhões de toneladas, representa 53,7% de toda a produção de 2014. O Brasil é o maior produtor da América do Sul e o 13º do mundo, com uma produção de aproximadamente 3,4 milhões de toneladas em 2014, 1,4% do total mundial (Brasil, 2015).

Pernambuco é o principal estado produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável por 84,3% da produção do país no ano de 2013 (Brasil, 2015). A grande participação do estado de Pernambuco na produção nacional de gipsita e gesso deve-se ao desenvolvimento do Pólo Gesseiro do Araripe, local de maior concentração desse minério, de onde parte aproximadamente 95% do gesso consumido no Brasil.

O setor de calcinação destina o seu produto, em ordem decrescente, aos segmentos de fundição, revestimentos, moldes cerâmicos e outros, sendo responsável pelo consumo de 58% da produção nacional de gipsita (Brasil 2009). O setor de pré-moldados, segundo Ribeiro (2006), consome 61% do gesso produzido no Brasil. Onde 46,7% são destinados para confecção de placas, blocos e elementos decorativos, e 14,3% destinados à produção de chapas acartonadas (Marcondes, 2007).

2.1.3. APLICAÇÃO DO GESSO NO BRASIL

No Brasil o gesso é classificado levando em consideração o tipo de minério, grau de impureza e aplicação (Leitão, 2005). São adotadas as seguintes classificações:

- Tipo A → para fabricação do gesso alfa (α), utilizado no setor odontológico, ortopédico ou cerâmico.
- Tipo B → para fabricação do gesso beta (β), utilizado na construção civil para uso em revestimento ou fundição.
- Tipo C → para refugo, ou para uso como corretivo de solo, na forma de gipsita, com partículas de 0 a 5 mm.

Segundo Peres *et al*, (2001), o gesso apresenta-se na forma de um pó fino e branco podendo ter várias composições e misturas de gesso beta, anidrita e gesso alfa, conforme pode ser visto a seguir.

- Hemidrato de cálcio beta ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) – β
O Hemidrato de cálcio beta possui massa molecular de 145 g, 93,8% de sulfato de cálcio (CaSO_4) e 6,2% de água de cristalização. É o principal componente do gesso utilizado na construção civil e na fabricação de pré-moldados de gesso.
- Mistura de Hemidrato de cálcio beta ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) com Anidrita III ativa (CaSO_4)
Uma mistura instável, que em função do tempo e das condições de seu armazenamento, apresenta tempo de presa curto e variável. Muito utilizado em fábricas de gesso conjugadas com fábricas de pré-moldados.
- Mistura de Hemidrato de cálcio beta ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) com Anidrita II (CaSO_4)
Essa mistura é normalmente utilizada para a produção de gesso para revestimentos, que necessita de uma maior trabalhabilidade por ser uma mistura estável com tempo de presa prolongado. Apresenta uma composição formada por 2/3 de hemidrato e 1/3 de anidrita II.
- Hemidrato de cálcio alfa ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) - α
O hemidrato de cálcio alfa apresenta cristais grandes, compactos e facilmente solúveis em água. A pasta de gesso alfa se também comparado ao gesso beta, apresenta maior fluidez para a mesma relação água/pó. Este aspeto torna-o recomendável para a produção de elementos pré-moldados por fundição, quando se deseja, após sua secagem, obter um alto desempenho mecânico das peças utilizando pouca água.

Em Pernambuco, são produzidos dois tipos de gesso: o gesso alfa e o gesso beta. A diferença entre ambos consiste no tamanho e na forma do cristal. O gesso alfa (gesso pedra) apresenta cristais mais

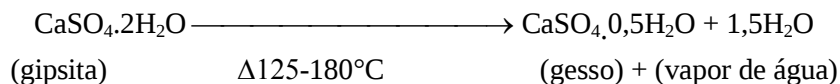
densos, de formas mais prismáticas e de tamanhos regulares. Enquanto que o gesso beta (gesso comum) apresenta cristais mais esponjosos, com forma e tamanho mais irregulares (CETEM, 2008).

O gesso alfa, por ser mais homogêneo e menos poroso, apresenta maior resistência mecânica e menor consistência, proporcionando maior trabalhabilidade com menor relação água/gesso. É utilizado nas indústrias farmacêuticas, cerâmicas, automobilísticas, cervejas, odontológicas e medicina. O seu preço é seis vezes superior ao do gesso beta (Baltar *et al* 2005).

O gesso beta caracteriza-se pelos seus cristais mal formados e heterogêneos, de elevada porosidade, e necessita de uma maior relação água/gesso para sua formação. Possui baixa resistência mecânica, com capacidade em formar produtos com menor tempo de presa. É utilizado na construção civil (placas, blocos, molduras, etc), indústrias cerâmicas e indústrias de modelagens (Baltar *et al* 2005; Kanno, 2009).

O gesso é um aglomerante aéreo, de origem mineral, constituído essencialmente por sulfato de cálcio hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). A sua matéria-prima é o gipso originário da gipsita, mineral constituído por sulfato de cálcio bihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Segundo Cunha e Silva (2007), a origem das grandes massas de gipso contidas nas rochas sedimentares, deve ser atribuída à evaporação dos mares antigos e/ou, em casos especiais, formados pela ação de gases e águas sulfúricas que atuam sobre o calcário.

A gipsita tem a propriedade de perder e recuperar a sua água de cristalização. Quando calcinada a uma temperatura entre 125°C e 180°C, perde parte da água de cristalização e assume a forma de hemidrato (gesso), verificado na reação a seguir:



A partir de 180°C a 250°C a gipsita perde todas as moléculas de água e, devido à ação do calor, passa por transformações originando vários tipos de gesso, com diferentes propriedades e diferentes aplicações. Entre 700°C e 900°C a gipsita forma-se num produto inerte, sem nenhuma aplicação para a indústria. A partir dos 900°C acontece a dissociação do sulfato de cálcio com formação do CaO livre (Rodrigues, 2008).

Para John e Cincotto (2007), o gesso é um material que encontra na construção civil um elevado campo de aplicação, por ser resistente ao fogo, não abrasivo e ser produzido com baixo consumo de energia térmica. Além disso, apresenta grandes possibilidades de reciclagem, tornando viável a sua utilização como material construtivo por um longo período de tempo.

O gesso aplicado na construção civil é obtido a partir de um minério com grau de pureza superior a 75% (Dominguez e Santos, 2001). No processo de calcinação produz-se um hemidrato β que, dependendo do processo, pode-se obter o gesso para fundição (gesso rápido) ou gesso para revestimento (Júnior, 2008).

De acordo com a ABNT NBR 13207 (2004), estão disponíveis três tipos de gesso no mercado da construção: o gesso para fundição, o gesso para revestimento e os gessos especiais. No entanto, apenas se encontram normalizados o gesso para fundição e o gesso para revestimento (Peres *et al*, 2001).

O material destinado à fundição é usado na fabricação de pré-moldados, como peças para decoração, placas para forro, blocos de gesso, chapas de gesso acartonado, entre outros (Peres *et al*, 2001). É constituído essencialmente de hemi-hidrato- β podendo conter certa fração de anidrita solúvel.

Segundo a NBR 13 207 (2004), o gesso para fundição é classificado em: gesso grosso para fundição, quando o seu módulo de finura é maior que 1,10, e gesso fino para fundição, quando o seu módulo de finura é menor que 1,10. A norma determina ainda o tempo de presa inicial de 4 a 10 minutos e de 20 a 45 minutos para o final de presa para os dois tipos de gesso.

O gesso para revestimento é constituído basicamente por hemi-hidrato – β e anidrita insolúvel, podendo conter cerca de 2% de impurezas como sílica, sulfato de magnésio, carbonatos, argilas e óxidos de ferro e alumínio. É um gesso desenvolvido para a produção de revestimentos de paredes, tetos e lajes (Peres *et al*, 2001).

Segundo Petrucci (1998), para o revestimento, basta adicionar certa quantidade de cal à mistura de gesso com a finalidade de retardar a presa e facilitar sua aplicação. O gesso, ao contrário de outros aglomerantes, não necessita da adição de um agregado para uso como revestimento (Yazigi, 2002).

No que se refere às paredes verticais, são produzidos blocos de gesso utilizados para a execução de paredes e divisórias internas nas edificações. São constituídos por uma mistura de água e gesso, com ou sem adições de forma a conferir as propriedades necessárias a seu uso (Peres, Benachour e Santos, 2001).

A utilização de alvenaria em blocos de gesso em substituição às tradicionais alvenarias em blocos cerâmicos ou de betão fornece uma alternativa viável à realização de fachadas de edifícios. Em especial no que diz respeito ao peso na estrutura; as dimensões na área plana, ao acabamento e facilidade de embutir as redes de instalações, na produtividade e diminuição das etapas de execução e no tempo total para recebimento do acabamento final (Pires Sobrinho, 2010).

Os blocos podem ser vazados ou maciços. Em relação aos blocos maciços, o bloco vazado é 25% mais leve e por isso é utilizado quando se deseja diminuir a sobrecarga da estrutura, sendo ideal para substituição de paredes sobre lajes antigas (Costa e Inojosa, 2007).

Os blocos para aplicação em paredes de gesso são normalmente apresentados como tendo características vantajosas como componentes de alvenaria, de acordo com a Tabela 2 (Atual, 2009).

No mercado da construção brasileira os blocos de gesso são conhecidos como:

- Blocos de Gesso Standard (S);
- Blocos de Gesso Hidro (H);
- Blocos de Gesso GRG- (Glass Reinforced Gypsum);
- Bloco de Gesso GRGH- (Glass Reinforced Gypsum Hidro).

O bloco de gesso Standard, ou S, é utilizado em divisórias de internas para separação de compartimentos de apartamentos, tanto em novas construções como em reabilitação (Fig. 6). São comercializados na versão maciça e vazados, de cor branca e em duas espessuras diferentes, 70 mm e 100 mm. A Tabela 3 apresenta as principais características do bloco de gesso Standard (SINDUSGESSO, 2009).

Os blocos de gesso tipo Hidro ou Hidrofugado (Fig. 7), diferenciam-se por serem blocos de gesso especial, composto por aditivos hidrofugantes, que são normalmente utilizados em áreas interiores onde pode haver presença de água. A hidrofugação da massa do bloco pode ser feita com aditivos que possibilitam a diminuição da porosidade do bloco, podendo ser à base de silanos ou, ainda, com a adição de surperplastificantes (SINDUSGESSO, 2009).

Tabela 2 - Características dos blocos de gesso para alvenaria de vedação (ATUAL 2009, apud Neves, 2011).

Características	Descrição
Incombustibilidade	Apresenta grande resistência à propagação das chamas.
Isolamento térmico	Apresenta baixo coeficiente de condutibilidade térmica, devido à elevada micro porosidade, aliada a baixa densidade.
Isolamento acústico	Apresenta elevado índice de redução sonora. Os blocos maciços de 100 mm poderá obter uma redução de 38 decibéis para frequência de 500 a 800 Hz.
Higro-atividade	Apresenta micro porosidade e permeabilidade ao ar úmido, possibilitando a obtenção de equilíbrio higrotérmico.
Estabilidade/precisão dimensional	Apresenta baixo coeficiente de dilatação térmica e hidráulica, possibilitando obter os componentes com precisão e padrão de dimensão.
Leveza	Apresenta baixa densidade por área construída, tendo em vista os blocos serem confeccionados com dimensões (0,33m ²).
Maior Produtividade	A produtividade média para elevação das paredes é de 25m ² /homem/dia, tendo em vista o tamanho do bloco e a facilidade na montagem em virtude da precisão dimensional e do encaixe.
Racionalização das etapas de construção	Devido à precisão dimensional, acabamento e encaixe dos blocos, são produzidas paredes niveladas e planas eliminando a necessidade de correção no revestimento.
Menor desperdício de materiais	Devido à facilidade de corte dos blocos, do aproveitamento dos pedaços e do tempo estendido da duração da cola.
Facilidade de reforma e ampliação	De fácil execução e sem grandes danos, permite o corte e a recomposição dos blocos sem maiores dificuldades. Faz-se necessário apenas os blocos e a cola de gesso para a reforma e ou ampliação.
Facilidade nas Instalações elétricas e Hidráulicas	Os rasgos podem ser executados sem provocar grandes danos à alvenaria. Basta cortar as paredes com máquina apropriada, colocar os tubos para a instalação e fechar o rasgo com cola de gesso.



Fig. 6 - Bloco de gesso Standard.

Tabela 3 - Características do bloco Standard (ABNT PN. 02: 013-40-010).

Espessura do bloco em mm	70 (Vazado)	70 (Maciço)	100 (Maciço)
Dimensão em cm	66x50	66x50	66x50
Peso médio em kg de um bloco	18	24	34
Peso médio em kg/m ²	54	72	102
Dureza-Solidez superficial em (u.s.c)	≥55	≥55	≥55
Resistência ao fogo grau corta-fogo	2h	3h	4h
Índice de redução acústica dB(A)	32	34	38
Resistência térmica m ² °C/W	0,23	0,20	0,29
Acréscimo de peso após duas horas de imersão	>50%	>50%	>50%
Resistência a Flexão (MPa)	2,0 - 3,0		
Resistência a Compressão (MPa)	4,5 - 5,5		

A hidrofugação do bloco pode ser feita diretamente na massa, durante a fabricação do bloco, ou superficialmente, após a fabricação do bloco. Os aditivos hidrofugantes introduzidos na massa do bloco podem ser líquidos ou em pó, compostos de silicones e materiais celulósicos que dependerão do Ph do gesso e de seu processo de fabricação (Moura 2009).

Assim como os blocos standard, os blocos hidro são produzidos em duas dimensões podendo ser adquiridos na versão maciça ou vazados. É recomendada para uso em instalações sanitárias, áreas de serviço e cozinhas em divisórias de adegas, garagem e subsolos ou em todo o local que possam estar expostos à humidade (Peres *et al* 2001)).

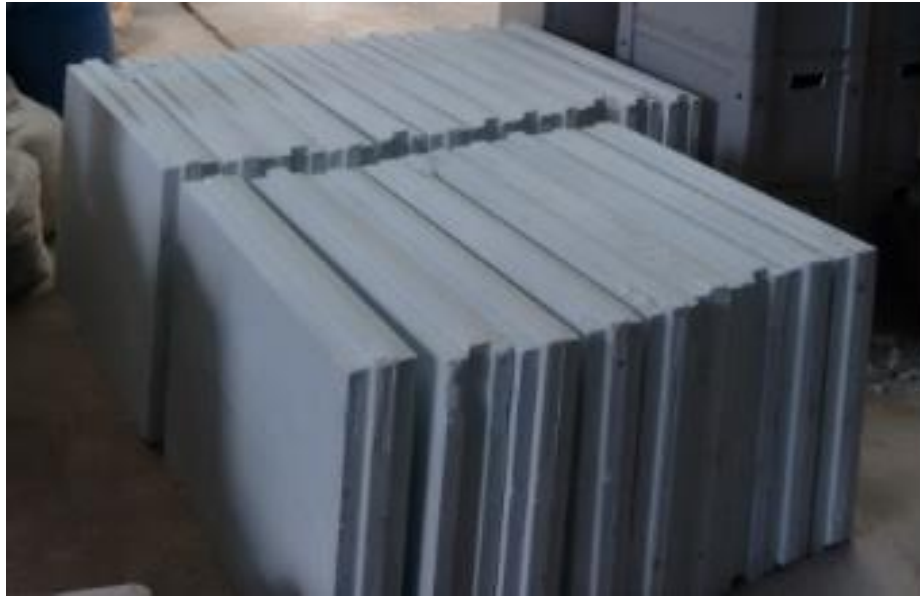


Fig. 7 - Bloco de Gesso Hidro.

É aconselhável a colocação do bloco de gesso hidro na execução das primeiras fiadas das paredes de uma edificação que estejam sujeitas a presença de águas constantes e ou periódicas (Moura 2009). O uso dos blocos hidro serve para prevenção de um eventual risco de inundação por ruptura de canalizações, entupimentos, etc. Os blocos de gesso hidro apresentam características idênticas às dos blocos Standard (Tabela 3), exceto no acréscimo de peso após duas horas de imersão ($< 5\%$).

O Bloco de gesso “GRG” (Glass Reinforced Gypsum) de cor verde é um bloco de gesso especial, aditivado e reforçado com fibras de vidro (Fig.8). Utilizado na construção de paredes que serão submetidas a esforços de cargas suspensas e de impactos ou em áreas de grande aglomeração de pessoas. Este tipo de bloco oferece maior resistência ao fogo por manter a parede estruturada e sem descamar (Peres *et al*,2001; Costa e Inojosa, 2007).



Fig. 8 - Bloco de Gesso com reforço de fibra de vidro.

Aconselha-se o uso de blocos GRG em paredes que necessitem de uma maior resistência à colocação de cargas suspensas como: armários, quadros, suporte de televisão; e em edifícios de grandes solicitações como: hospitais, universidades, cinemas etc. O uso deste bloco elimina a necessidade de reforços com fibras (Sisal, Agave) (Atual, 2009; Neves, 2011).

As características do bloco GRG coincidem com as do bloco Standard (Tabela 3) exceto na resistência à flexão (3,0 MPa – 4,0 MPa).

O bloco de gesso GRGH (Glass Reinforced Gypsum Hidro) (Fig. 9) é um bloco que reúne características do bloco hidro (aditivos hidro-repelentes) com o bloco GRG (aditivado com fibras de vidro). deve ser utilizado para construção de paredes em áreas que necessitam de um desempenho especial. No Brasil, é comercializado na cor rosa e nas versões de 70 mm e 100 mm (Costa e Inojosa, 2007). As propriedades coincidem com as da Tabela 3 exceto pelo acréscimo de peso (< 5%) e pela flexão (3,0 Mpa – 4,0 Mpa).



Fig. 9 - Bloco de gesso reforçado com fibra de vidro e hidrofugado.

Em se tratando do gesso cola, para Peres; Benachour; Santos (2001) é um produto constituído basicamente por gesso e pequenas quantidades de aditivos retentores de água, reguladores de presa, agentes de consistência, etc., podendo conter também cargas inertes.

Segundo Souza (2009), o gesso cola possui uma resistência à tração superior ao bloco e uma excelente aderência, possibilitando uma perfeita junção entre blocos de gesso e entre blocos com outros materiais.

A relação água/pó pode ser determinada no local de aplicação para que se obtenha uma consistência desejada, sendo normalmente utilizado 1 litro de água para 1,5kg de gesso cola de acordo com as características dos materiais a serem colados (SENAI, (2003); Peres; Benachour; Santos, (2008); Costa; Inojosa, (2013)). Deve ser armazenada em local seco, sobre pálets de madeira e protegido contra intempéries (SENAI, (2003); Peres; Benachour; Santos, (2008)).

No Brasil, existem dois tipos de gesso cola. O gesso cola Standard (utilizada na colagem de blocos de gesso de paredes internas de áreas secas) e o gesso cola hidrofugada (em paredes de divisórias internas

de áreas molhadas e molháveis) (Souza, 2009). As características técnicas das colas podem ser verificadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Característica do gesso cola Standard (S) e Hidrofugado (H) - (SINAT-2012).

Variáveis	Unidade	Standard	Hidro
Relação Água/gesso	%	0,63 a 0,67	0,63 a 0,67
Espalhamento	Cm	10 a 12 (consistência pastosa)	10 a 12 (consistência pastosa)
Tempo para início de aplicação	Min	3	3
Tempo para fim de aplicação	Min	60	60
Absorção de água	%	30 - 40	< 5
Resistência ao arrancamento	MPa	≥ 6,0	≥ 6,0

2.1.4. HIDROFUGAÇÃO DO GESSO

Na produção de pré-moldados de gesso hidro, faz-se necessário o uso de aditivos repelente a água. No momento do preparo, é possível utilizar dois tipos de produtos: os que são misturados à água de empastamento no momento da fundição, e os que são utilizados como pintura em pistolas, ou por imersão. Como exemplo, podem-se citar os derivados de silicone, os quais, incorporados na massa de gesso, produzem determinado nível de impermeabilização (SUPERGESSO, 2013).

Sayil e Çolak (1999) com o objetivo de descobrir um meio para superar a fraca resistência à humidade do gesso combinaram separadamente resinas acrílicas, silicone e polímeros à base de epóxi, com o gesso, em quantidades variáveis, no intuito de determinar a mistura com melhor desempenho na resistência à humidade e com melhor durabilidade à ação da água. Os resultados mostraram que os provetes de gesso modificados com 0.5% de silicone no ensaio de capilaridade, apresentam uma melhor durabilidade contra a humidade, até mesmo quando comparado com o maior grau de durabilidade apresentado pela resina epóxi na proporção de 10% e no desempenho da resina acrílica com 43%. Segundo os autores, embora nenhum composto de gesso obtivesse 100% de resistência à humidade, a resina de silicone não apenas possui um caráter repelente à água, como favorece o material com a qualidade de ser resistente à humidade, demonstrando que o gesso modificado desta forma pode ser utilizado como um material exterior.

Okino *et al.* (2004, 2005) estudaram a incorporação de um aglomerado de cimento no gesso e obtiveram melhores propriedades físicas e mecânicas do aglomerado de cimento e gesso, mesmo quando comparados com ensaios por Frick (1988) para placas de gesso-madeira, com igual aglomerado de cimento. Os resultados obtidos por Okino *et al.* (2004, 2005) apresentaram menor absorção de água, uma maior estabilidade dimensional e uma resistência mecânica superior.

Deng *et al.* (2006) estudou a influência de organo-silícios sobre as propriedades físicas e mecânicas das placas de gesso. Os autores (Deng e Furuno, 2001 e 2002), acrescentaram fibras de polipropileno, fibras de juta e fibras de coco ao gesso aglomerado. No entanto, os resultados obtidos por estes autores não foram conclusivos, em relação à resistência à água do gesso testado.

Li *et al.* (2006) analisando os meios de impermeabilização em placas de gesso, optaram por utilizar os aditivos que pudessem ser adicionados à água de amassamento. A pintura de placas de gesso com

aditivos orgânicos impermeabilizantes apresentou efeitos temporários quanto à absorção de água pelo gesso.

Munhoz (2008) para reduzir a relação água/gesso e tornar o material menos poroso e consequentemente mais impermeável, resolveu conhecer o efeito de quatro diferentes tipos de aditivos em pasta de gesso em diferentes dosagens: o imperwall, masterfix, glenium 3200 HES e o silicone. Da análise, verificou que, na adição de glenium 3200 e silicone a taxa de absorção, após imersão, variou de 7% a 40% na relação água/gesso. Enquanto a adição apenas do silicone, provocou uma redução na taxa de absorção de 80%.

Feng Qing *et al.* (2012) apresentaram um estudo cujo principal objetivo era preparar um bloco de gesso resistente à água a partir de dessulfurização de gás de gesso. Assim, um agente resistente à água foi preparado a partir de escória granulada de alto-forno, com elevado teor em cinzas de cálcio volantes e alguns aditivos. A mistura foi adicionada ao gesso calcinado para formar a dessulfuração de gesso em pó modificado, para posterior utilização em blocos de gesso resistentes à água. Os resultados obtidos mostraram uma melhoria significativa da resistência à água dos produtos de gesso.

D. Bülichen e Plank (2013) analisaram a eficácia de retenção de água da adição de hidroxipropil-metil-celulose (HEMC) comercial ao gesso. Os resultados mostraram que o HEMC acumulado na interface do gesso reduz significativamente a porosidade da interface, diminuindo a capacidade de retenção de água. Os autores verificaram que os aniões sulfato impedem a formação de associados coloidais, processo chave para atingir a retenção de água. Esta observação explica as doses elevadas necessárias em sistemas de CaSO_4 . Assim, elevadas dosagens de hidroxipropil-metil-celulose mostraram que podem “transformar” o gesso num material com baixos valores de retenção de água comparáveis aos do cimento.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS DE GESSO

2.2.1. NORMALIZAÇÃO EUROPEIA

Nas prescrições normativas europeias aplicáveis ao uso do gesso na construção, destacam-se as normas da Tabela 5:

Tabela 5 - Normas Europeias aplicáveis ao uso do gesso na construção.

Norma	Ano	Diretriz da Norma
EN 12859	2008	<i>Gypsum blocks - Definitions, requirements and test methods</i>
EN 12860	2001	<i>Gypsum based adhesives for gypsum blocks - Definitions, requirements and test methods;</i>
EN 15318	2007	<i>Design and application of gypsum blocks</i>
EN 13279	2008	<i>Gypsum binders and gypsum plasters</i>
NF P72-202	1994	<i>"Ouvrages verticaux de plâtrerie nécessitant pas l'application d'un enduit au plâtre - Exécution des cloisons en carreaux de plâtre", composta por 3 partes.</i>

A norma Europeia EN 13 279 foi preparada pelo comitê Técnico CEN/TC 241 apoiado pela AFNOR. Suas características e desempenho de produtos em pó à base de gesso para construções, inclui argamassas para edificações em pré-misturado para reboco interno de paredes e tetos de um edifício.

A norma também se aplica a gesso para uso direto no local como para uso em blocos, placas, argamassa, alvenaria de gesso, etc. Define os testes de referência para características técnicas e prepara para avaliação de conformidade dos produtos cobertos por essa norma. As exigências da EN 13 279 estão divididas:

- Exigências ligadas à finalidade e condição de uso quanto:
 - a) Reação ao Fogo;
 - b) Resistência ao Fogo;
 - c) Desempenho Acústico (Isolamento de som aerotransportado direto e Absorção acústica);
 - d) Resistência Térmica;
 - e) Substâncias Perigosas.
- Exigência para Gesso
O gesso deve ter pelo menos 50% de teor de sulfato de cálcio e as propriedades da pasta devem ser determinada em acordo com a descrição da EN 13 279 parte 2.
- Exigência para Argamassa de Gesso
Quando determinadas pela norma, apresentam valores que estão representados na Tabela 6.
- Exigências para Argamassa de Gesso para Fins Especiais
As propriedades das argamassas de gesso para fins especiais devem estar de acordo com os valores apresentados pela Tabela 7, quando determinadas de acordo com EN 13 279-2.

Tabela 6 - Exigências para Argamassas de Gesso EN 13279 (2008).

Argamassa de Gesso	Conteúdo de gesso %	Tempo inicial de pega min		Resistência à flexão N/mm ²	Resistência à compressão N/mm ²	Dureza de superfície N/mm ²	Resistência de aderência N/mm ²
		Argamassa de gesso manual	Argamassa de gesso para projeção				
Reboco de Gesso	≥ 50						
Base de Gesso Estuque	< 50						
Gesso-Cal	*a						
Gesso Leve	≥ 50	> 20		≥ 1,0	≥ 2,0	-	A Fratura ocorre no fundo ou na argamassa, quando a ocorre na interface (argamassa/fundo), o valor deve ser ≥ 0,1
Base de Gesso Leve	< 50	*b	> 50				
Gesso-Cal Leve	*a						
Gesso com maior dureza Superficial	≥ 50			≥ 2,0	≥ 6,0	≥ 2,5	

*a- de acordo com o prescrito em argamassa de gesso para edificações; argamassa a base de gesso para edificações; argamassa de gesso-cal e argamassa de gesso leve para construção.

*b- Para algumas aplicações manuais é permitido um valor inferior a 20 min. Nesse caso, o tempo de configuração inicial deve ser declarado pelo produtor.

Tabela 7 - Exigências para argamassas de gesso para fins especiais EN 13279-2 (2008).

Argamassa de gesso		CaSO4. no gesso %	Finura				Tempo de pega inicial		Resistência à flexão		Resistência à compressão N/mm ²	Dureza de superfície	
			5000 μm	1500 μm	200 μm	100 μm	Min.		N/mm ²			N/mm ²	
							Vicat	Knife	2h	7d		2h	7d
C1	Argamassa fibrosa	>50	0	0	<1%	<10%	-	>8	>1,5	>3,0	-	>4,0	>10
C2	Argamassa para alvenaria	>50	0	-	-	-	>30	-	-	-	>2,0	-	-
C3	Argamassa acústica	-	-	-	-	-	>20	-	-	-	-	-	-
C4	Argamassa para isolamento térmico	-	-	-	-	-	>20	-	-	-	-	-	-
C5	Argamassa para proteção contra fogo	Desvio do conteúdo nominal <10%	-	-	-	-	>20	-	-	-	-	-	-
C6	Argamassa para camada fina	>50	-	0	-	-	>20	-	-	>1,0	>2,0	-	-

Tratando-se dos blocos de gesso produzidos na Europa, a norma EN 12859 (CEN, 2008), define três tipos de blocos e diferencia-os através das cores verde, azul e branco, classificando-os quanto à sua capacidade de absorção de água em H1, H2 e H3 respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8 - Classificação dos blocos de gesso. EN 12 859 (CEN, 2008).

Cor	Absorção de Água	Classificação
Branco	Sem exigência	H3
Azul	$\leq 5\%$	H2
Verde	$\leq 2,5\%$	H1

Segundo a norma europeia, são exigidas algumas características e especificações necessárias para os blocos de gesso, tais como: dimensão, densidade, massa, resistência à flexão, teor de umidade, pH, capacidade de absorção de água, dureza e planicidade. Essas características podem ser observadas nas Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11 a seguir:

Tabela 9 - Dimensão, Densidade e Massa dos blocos de gesso - EN 12 859 (CEN, 2008).

Dimensão		Densidade		Massa	
Espessura*	$50 \leq e \leq 150 \text{ mm}$	Alta densidade	Desvio do	Desvio máximo entre a média de 6 blocos	<5%
		$1100 \leq d \leq 1500 \text{ kg/m}^2$	valor médio encontrado		
Comprimento	$\leq 1000 \text{ mm}$	$800 \leq d \leq 1100 \text{ kg/m}^2$			
Altura	$\text{Área} \geq 0,2 \text{ m}^2$	$600 \leq d < 800 \text{ kg/m}^2$	<5%		

*Para paredes duplas admitem-se espessuras menores que 50 mm.

Tabela 10 - Carga mínima de ruptura da resistência à flexão dos blocos de gesso - NF EN 12859 (CEN, 2008).

Blocos*	Espessura	Carga Mínima de ruptura (kN)
Blocos maciços (densidade média)	50	1,7
	60	1,9
	70	2,3
	80	2,7
	100	4,0
Blocos vazados (densidade baixa)		1,7

*Para blocos de gesso inferior a 650 mm e ou com diferentes alturas de 500 mm, os valores na segunda coluna devem ser alterados em razão dos vãos e/ou alturas.

Tabela 11 - Teor de humidade, pH, capacidade de absorção, dureza superficial e planicidade dos blocos de gesso - EN 12 859 (CEN, 2008).

Teor de humidade		pH		Capacidade de absorção de água		Dureza superficial	Planicidade
Média do teor de humidade	< 6%	Bloco com Ph padrão	$6,5 \leq \text{pH} \leq 10,5$	Bloco H1	> 5%	Bloco H1 > 40 (u.s.c.)	
Valor individual do teor de humidade	< 8%	Bloco com Ph baixo	$4,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$	Bloco H2	$\leq 5\%$	Bloco H2 > 55 (u.s.c.)	< 1 mm
				Bloco H3	$\leq 2,5$	Bloco H3 > 80 (u.s.c.)	

A Tabela 9, recomenda a fabricação de blocos com 666 mm de comprimento, 500 mm de altura e espessuras de 50, 60, 70, 80 ou 100 mm. Admitindo espessura de blocos menores de 50 mm para paredes duplas. Em relação à densidade média do bloco, esta não deve ter desvios inferiores a 5% do valor médio encontrado em cada classe estabelecida (EN 12 859). A ruptura por resistência à flexão do bloco apresentado na Tabela 10 indica que nenhum valor individual da carga mínima da ruptura deve ser inferior a 10% da carga média.

Segundo a norma EN 12 859 (2008), o teor médio de humidade bem como o pH da superfície dos blocos de gesso, não devem ultrapassar os limites determinados pela Tabela 11. Sugere a dureza da superfície dos blocos de gesso, maior que 40 u.s.c., para o bloco H1; maior que 55 u.s.c. para o bloco H2 e maior que 80 u.s.c. para o bloco branco H3. Recomenda ainda, o desvio máximo admissível inferior a 1 mm quanto à planicidade dos blocos nas três categorias indicada na Tabela 11.

No que se refere à cola de gesso, a norma EN 12 860 (CEN, 2001) estabelece as seguintes características para ser utilizada na execução de paredes verticais:

- Dimensão máxima da partícula: As partículas da cola de gesso, retidas em uma peneira 200 μm , não devem ultrapassar a 10%, em peso, quando determinadas. Além disso, nenhuma partícula deve ser retida em uma peneira de 400 μm ;
- Trióxido de enxofre (SO_3): O teor do pó de trióxido de enxofre (SO_3), constituído na cola de gesso, não deve ser inferior a 30%;
- Tempo de presa inicial: O tempo de presa inicial da cola de gesso deve ser determinado e ser superior a 45 minutos;
- Resistência ao cisalhamento: A cola de gesso deve ser tal que não ocorra falha nos blocos, em pelo menos três dos quatro testes;
- pH: pH do bloco de gesso após a hidratação deve ser entre 6,5 e 10,5.

Segundo a norma, são três os tipos de cola de gesso no mercado europeu:

- Cola Tipo 1 e Tipo 2: Utilizadas de acordo com o tempo de utilização, do clima, do local onde será aplicada e do tipo de acabamento;
- Cola do tipo 3 - Utilizadas para blocos hidrofugados.

Na Espanha as marcas de qualidade reconhecidas para os produtos de gesso segundo ATEDY¹ (2009) são:

- Selo INCE², garante a qualidade do gesso e seus derivados (vinculados à AENOR³);
- AENOR, a gestão está confiada à Comissão Técnica de Certificação AEN/CTC-035 “gessos de construção seus pré-fabricados e produtos relacionados, cuja secretaria é mantida pela ATEDY”.

2.2.2. NORMALIZAÇÃO AMERICANA

Nas prescrições normativas americanas aplicáveis ao uso do gesso na construção, destacam-se as normas ASTM (*American Society for Testing and Materials*), por existirem em maior quantidade e conter exigências mais detalhadas que as normas em vigor no Brasil. As normas mencionadas neste estudo estão descritas na Tabela 12.

Tabela 12 - Normas Americanas aplicáveis ao uso do gesso na construção.

Norma	Ano	Diretriz da Norma
ASTM C 28	2005 b	<i>Standard specification for gypsum plasters</i>
ASTM C 471 M	2001	<i>Test methods for chemical analysis of gypsum and gypsum products</i>
ASTM C 1396	2004 a	<i>Specification for gypsum board</i>
ASTM C 35	2005 c	<i>Specification for inorganic aggregates for use in gypsum plaster</i>
ASTM C 11	2005 a	<i>Terminology relating to gypsum and related building materials and systems</i>
ASTM C 842	2005 d	<i>Specification for application of interior gypsum plaster</i>
ASTM E 11	2004 c	<i>Specification for wire cloth and sieves for testing purposes</i>
ASTM C 472	2004 b	<i>Test methods for physical testing of gypsum, gypsum plasters, and gypsum concrete</i>

A norma ASTM C 28 define a existência de quatro tipos diferentes de gesso que podem ser utilizados como revestimento de paredes e tetos. Sendo eles: O gesso com fibras de madeira, o gesso moído, gesso fino e gesso especial. As propriedades para a sua aplicação, de acordo com a referida norma são as seguintes:

- Pelo menos 66% de $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{H}_2\text{O}$ (Bassamita);
- Possuir resistência à compressão igual ou superior a 84 kgf/cm²;
- Início de presa sem aditivos retardadores entre 20 e 40 minutos;
- Passar na sua totalidade pela peneira ASTM nº 14 e pelo menos 60% na peneira ASTM nº100.

¹ ATEDY- Asociación Técnica y Empresarial del Yeso.

² INCE – Selo de certificação

³ AENOR – Asociación Española de Normalización y Certificación.

A ASTM 471M, especifica a análise química do gesso (método), enquanto a ASTM C 1396 apresenta as especificações para o uso do gesso em placas. As demais normas (ASTM C 35; ASTM C11; ASTM C842; ASTM E11; ASTM C 472), fazem referências a outras propriedades do gesso a ser utilizado como material de construção (Gomes, 2012).

2.2.3. NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA

No Brasil, o uso do gesso na construção civil é regulamentado pela norma brasileira de referência-NBR 13 207: Gesso para Construção Civil, de outubro de 2004. Sendo definida como sendo “*Material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores de tempo de pega*”.

A norma estabelece as condições químicas, físicas e mecânicas exigidas para o uso do gesso na construção e orientam quanto à forma de ensacamento, armazenamento e inspeção do mesmo. Sendo o método de ensaio determinado pelas normas:

- NBR 12127 – Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó – Método de ensaio
- NBR 12128 – Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta – Método de Ensaio.
- NBR 12129 – Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas da pasta – Método de Ensaio.
- NBR 12130 – Gesso para construção - Determinação de água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidro sulfúrico – Método de ensaio

As condições químicas, físicas e mecânicas exigidas para a utilização do gesso na construção civil podem ser observadas nas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 a seguir.

Tabela 13 - Exigências químicas do gesso para construção - NBR 13.207 (2004).

Determinações	Limites (%)
Água livre	1,3 (máx)
Água de cristalização	4,2 – 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	39,0 (min)
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	53,0 (min)

Tabela 14 - Exigências com relação às propriedades físicas e mecânicas do gesso - NBR 13.207 (2004).

Determinações físicas e mecânicas	Norma	Limite
Resistência à compressão	NBR – 12 129	>8,40
Dureza (N/mm ²)	NBR – 12 129	>30
Massa unitária (kg/m ³)	NBR – 12 127	>700

A diferença entre os gessos para fundição e os gessos para revestimento é determinada por meio do tempo de presa e pelo módulo de finura. As exigências em relação à norma são apresentadas pela Tabela 15.

Tabela 15 - Exigências com relação às propriedades granulométricas do gesso - NBR 13.207 (2004).

Classificação do gesso	Tempo de pega (min)		Módulo de finura NBR – 12 127
	NBR – 12 129 Início	NBR – 12 129 Fim	
Gesso fino/revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso/revestimento	> 10	> 45	> 1,10
Gesso fino/fundição	4 - 10	20 - 45	< 1,10
Gesso grosso/fundição	4 - 10	20 - 45	> 1,10

No que se refere aos blocos de gesso e à cola de gesso, vale ressaltar que no Brasil não existe normalização relacionada aos componentes e à técnica de execução de paredes da envolvente vertical com blocos de gesso. Os mesmos são regulamentados, utilizando como referência os projetos de normas descritos a seguir:

- Projeto de Norma 02: 013-40-009 ABNT - Bloco de gesso utilizado na vedação interna de edificações - Método de ensaio;
- Projeto de Norma 02: 013-40-010 ABNT - Bloco de gesso utilizado na vedação interna de edificações – Especificação;
- Projeto de Norma 02: 013-40-011 ABNT - Gesso cola utilizado na união de elementos pré-fabricados em gesso - Método de ensaio;
- Projeto de Norma 02: 013-40-012 ABNT – Gesso cola utilizado na união de elementos pré-fabricados em gesso – Especificação;
- Projeto de Norma 02: 013-40-014 ABNT - Execução de alvenaria de vedação em bloco de gesso - Procedimento. Devendo ser complementado obedecendo aos seguintes requisitos (1) e (2):

1- Para paredes de primeira fiada

- a) Deve estar nivelado, apresentar características de resistência e impermeabilidade;
- b) Utilizar blocos de gesso hidrófogos, assentados, nivelados e em prumo, utilizando gesso cola;
- c) O gesso cola deve apresentar homogeneidade e consistência adequada, devendo preencher todo o perímetro de contato entre os blocos.

2- Para paredes de elevação, as demais fiadas de blocos devem ser assentadas seguindo as seguintes recomendações:

- a) Nas paredes molháveis deve ser utilizado preferencialmente blocos de gesso hidro;
- b) As paredes de fachadas e estruturais devem ser construídas com blocos hidrofugados com espessura de 100 mm;

- c) Manter a modulação de maneira a garantir o máximo o travamento das paredes;
- d) O gesso cola deve apresentar homogeneidade e consistência adequada;
- e) Para ligação entre blocos e entre blocos e base deve ser utilizado martelo de borracha com auxílio de gabaritos que evitem choque direto do martelo e o bloco;
- f) Sobre os vãos de porta e janelas devem ser utilizados travamento ou utilizar detalhes construtivos de reforço que garantam a estabilidade e a não transmissão de cargas para a esquadria;
- g) Devem ser utilizados detalhes de corte e ligação entre blocos de forma a garantir o perfeito travamento e estabilidade aos esforços solicitantes.

No Brasil, as exigências para o uso do gesso cola constam no Anexo B – Gesso cola – especificações, da diretriz SINAT 008 (2012) e levam em consideração aos seguintes critérios:

- a) Temperatura de (24 ± 4) °C para a sala de ensaios, equipamentos e materiais;
- b) Humidade relativa do ar de (60 ± 5) °C;
- c) Amostra mantida em recipiente hermeticamente fechado;
- d) Equipamentos utilizados rigorosamente limpos;
- e) Uso de água destilada.

As Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18, apresentam as especificações para o uso do gesso cola na construção, que segundo a ABNT, é definido como sendo: “*gesso destinado para a colagem entre si de elementos pré-moldados de gesso, construído basicamente de gesso e pequenas quantidades de aditivos (retentores de água, reguladores de pega, entre outros), podendo conter cargas inativas*”.

Tabela 16 - Especificação de granulometria para o gesso cola - NBR 13.207 (2004).

Peneira ABNT (n°)	Abertura (mm)	Material que passa (%)
40	0,42	100
80	0,18	> 95

Tabela 17 - Especificação química para o uso de gesso cola.
Fonte: NBR 13.207 (2004).

Composto	Limites (%)
Anidrido Sulfúrico (em SO ₃)	> 50
Óxido de Cálcio (em CaO)	> 35

Tabela 18 - Especificação com relação às propriedades físicas e mecânicas da pasta de gesso cola NBR 13.207 (2004).

Determinações	Limites	
Tempo de Presa (min)	Início	> 60
	Fim	> 80
Consistência (mm)	30 – 36	
Retenção de água (%)	> 90	
Resistência à tração no arrancamento	> 0,3	

*Atualmente, esse projeto de normas encontra-se em fase de consulta pública para serem formalmente adotados.

2.2.4. SÍNTESE DE EXIGÊNCIAS NORMATIVAS

No estudo das aplicações das normas internacionais e brasileiras, foi possível observar algumas exigências importantes no que se refere ao uso e aplicação do gesso como material de construção. O requisito de qualidade imposto pelas normas do gesso utilizado nos Estados Unidos é mais completo que os referenciados nas normas brasileiras.

As normas ASTM C 35; ASTM C11; ASTM C842; ASTM E11; ASTM C 472, fazem referências importantes a outras propriedades do gesso a ser utilizado como material de construção, no entanto, são pouco consultadas no Brasil (Gomes, 2012).

O projeto de norma brasileiro ABNT PN. 02: 013-40-009 e ABNT PN. 02: 013- 40-010 estabelece para o bloco hidrofugado que, após duas horas de imersão em água, o valor de absorção seja inferior a 5%. Entretanto, a norma francesa EN 12859 (CEN, 2008) estabelece para o mesmo tipo de bloco, uma absorção inferior a 2,5% após duas horas de imersão.

O tempo de presa do gesso cola abordado segundo a EN 12 860 (2001), estabelece exigências para uso na execução de paredes exteriores, tempo inicial de 45 minutos, enquanto que, para a mesma finalidade, a norma brasileira NBR 13 207 (2004) determina tempo inicial de presa superior a 60 minutos.

As características do bloco de gesso Standard (S) são iguais às dos blocos Hidro (H), bloco reforçado com fibra de vidro (GRG) e do bloco com fibra e aditivo hidrofugante (GRGH), exceto pela resistência à flexão onde o bloco S/H (2,0 - 3,0 Mpa) e bloco GRG/GRGH (3,0 Mpa – 4,0 Mpa) e pela absorção de água Bloco S/ GRG (>50%) bloco Hidro/ GRGH (<5%).

2.3. CHUVA INCIDENTE EM PAREDES

Uma das causas das manifestações patológicas das edificações são problemas relacionados com o excesso de umidade nas paredes. Dependendo do tipo e da qualidade dos materiais empregados e da forma de execução envolvidos no processo de construção, estas poderão garantir uma maior ou menor proteção ao edifício.

Segundo Straube (2002), o efeito da chuva sobre paredes de um edifício é o agente principal da degradação de elementos das edificações, tendo em vista a ação direta da chuva nas fachadas. De acordo com Zanoni *et al* (2014), um dos principais agentes de degradação é a ação da chuva dirigida

que intensifica o humedecimento da fachada e as infiltrações. Segundo os autores, o aumento do teor de humidade dos materiais aumenta a condutibilidade térmica dos materiais, tornando as fachadas mais permeáveis ao calor.

2.3.1. AÇÃO DA CHUVA INCIDENTE OU DIRIGIDA

A chuva dirigida segundo PEREZ (1988) é traduzida como sendo a chuva que se projeta sobre a fachada e é decorrente da ação do vento. Na terminologia inglesa é denominada como *driving rain* ou *wind-driven rain (WDR)*, sendo influenciada por vários parâmetros (Bloken *et al*, 2010).

De entre os estudos de chuva dirigida no Brasil, vale salientar os trabalhos desenvolvidos por Bauer (1987) e Kazmierczak (1989). Bauer (1987) analisou os acontecimentos que envolvem a penetração de água de chuva em fachadas e o grau de exposição das fachadas diante à ação da chuva dirigida.

Para Bauer (1987), a penetração da água da chuva nas fachadas dos edifícios está relacionada com diversos fenómenos físicos (que determinam a incidência de chuva sobre as paredes), fenómenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos de acordo com a concepção das paredes, tais como: detalhes de projeto, tratamentos superficiais, componentes, etc. Para o autor, de acordo com o tipo de material, a água penetra de forma diferenciada.

Segundo Freitas (2011), o primeiro zoneamento de chuva dirigida foi elaborado por Hoppestad para a Noruega em 1955. Segundo o autor, o objetivo era caracterizar soluções construtivas para paredes construídas em diferentes zonas climáticas estabelecendo uma relação entre o vento e a precipitação.

O primeiro mapa de chuva dirigida no Brasil foi realizado por Lima e Morelli (2005). Os autores trabalharam com base no total de chuva anual e na média de vento do ano utilizando dados climatológicos de 2004. O objetivo foi determinar um mapa que apresentasse o grau de exposição das paredes, através das mudanças climáticas apenas para o ano de 2004.

Em Goiás, no Brasil, pesquisa realizada por Melo Jr (2010) identifica a influência da chuva dirigida na durabilidade dos revestimentos de fachada dos edifícios na cidade de Goiania. O resultado encontrado pelo autor demonstrou que as fachadas dos edifícios no período chuvoso estão expostas a diferentes níveis de humidade advinda da chuva em função da predominância dos ventos norte (N) e Noroeste (NO) daquela região.

Zanoni *et al* (2013), visando selecionar estratégias arquitetônicas que influenciam a vida útil das paredes, constata que os índices de chuva dirigida mensais na cidade de Brasília-DF estão presentes na direção Leste, Nordeste e Norte, demonstrando que estas fachadas estão expostas às condições mais agressivas de degradação decorrente dos efeitos ligados a chuva e o vento.

O primeiro e único zonamento climático de chuva incidente em Portugal, foi elaborado por J. V. Paiva (1969), considerando valores médios mensais da precipitação e da velocidade do vento. Do estudo, resultou a divisão do país em quatro zonas, que corresponde a diferentes graus de severidade de exposição (fraco, moderado, médio, severo).

Gaspar e Brito (2005), realizaram também levantamento em 150 cidades de Portugal e constataram que 25% dos problemas relacionados com a deterioração das fachadas com revestimento à base de cimento são devidos à chuva dirigida.

De acordo com Giongo (2007), diversos critérios influenciam na incidência da chuva dirigida em fachadas de um edifício, tais como: a geometria da edificação, topografia, orientação das fachadas,

velocidade e direção do vento, dimensão das gotas, duração do vento/chuva e intensidade da precipitação.

2.3.2. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE

Considerando a importância que a chuva incidente adquire nos processos de molhagem e secagem das superfícies porosas, vários estudos procuraram compreender melhor os mecanismos e seus efeitos. Quantificar a chuva dirigida é um procedimento complexo, devido ao grande número de variáveis que alteram a sua ação (Grüner, 2014).

A norma ISO 15 927 *Hygrothermal performance of buildings - Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data* (ISO EN, 2009) fornece um método para estimar a quantidade de chuva dirigida que se projeta em uma superfície vertical com uma dada orientação. No Brasil, nenhuma norma brasileira apresenta procedimentos ou recomendações para quantificação de chuva dirigida (Zanoni *et al* 2013).

Segundo Freitas (2011), a quantidade da chuva incidente em fachadas depende da precipitação horizontal na superfície da parede e da velocidade e direção do vento. Ou seja, para o autor, a quantidade da chuva depende do clima local, sendo fundamental conhecer seus dados horários para cálculo da simulação higrotérmica.

Segundo Petrucci (2000), a complexidade do fenómeno e as manifestações patológicas causadas em excesso pela humidade, aumentam a dificuldade de reparação. Segundo o autor, alguns países procuram mecanismos para quantificar os efeitos da ação da água da chuva por meio de equações empíricas, medições, ensaios e simulações do fenómeno.

Os programas de simulação higrotérmica exigem uma caracterização horária do clima exterior, em especial no que se refere à temperatura, humidade relativa, chuva incidente, etc. Segundo Freitas (2011), a maior parte das cidades de Portugal não dispõe de quantificações confiáveis da chuva incidente, sendo bastante complexo caracterizar a sua distribuição espacial e temporal (Blocken, 2010).

Hattge, (2004), afirma que em regiões com maior incidência de chuva, necessariamente não haverá maior incidência de efeitos patológicos referentes à humidade de infiltração. Afirma que a chuva por si só, não representa grandes danos para as paredes da edificação desde que não haja ação do vento.

O Brasil possui altos índices pluviométricos bem distribuídos durante todo o ano. Segundo o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2009) com base nos dados obtidos entre os anos de 1961 e 1990, é na região norte onde ocorrem os maiores índices de precipitação do país, com índices maiores que 2700 mm anuais em algumas localidades. Os menores índices estão na região nordeste onde a precipitação em algumas cidades, são inferiores a 700 mm anuais (Fig. 10).

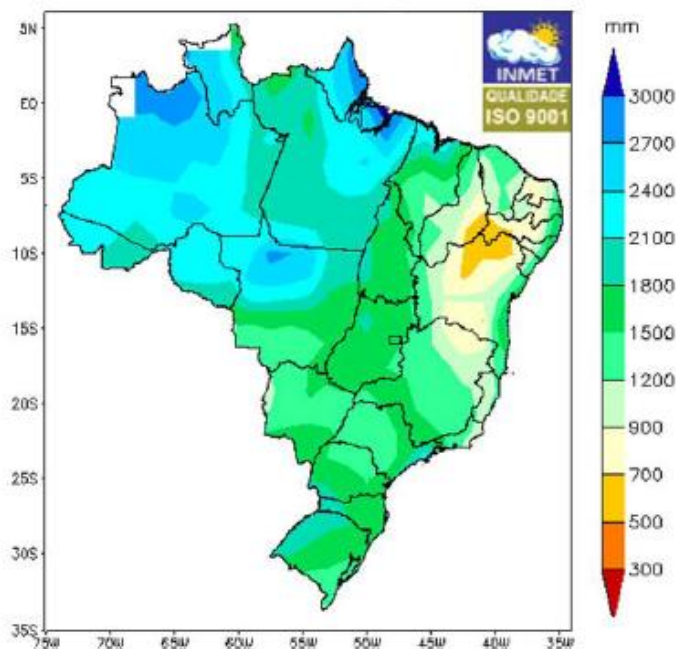


Fig. 10 - Mapa com índices de precipitação anual por regiões do Brasil, Fonte: INMET (2008).

2.3.3. MÉTODOS E MODELOS DE QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA

Segundo Blocken e Carmeliet (2010), os estudos de intensidade de chuva dirigida são realizados a partir de três métodos: (1) métodos experimentais (medições), (2) métodos semi-empíricos e (3) métodos numéricos - simulações numéricas baseadas em Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics- CFD*)).

O método experimental (medições) implica tempo, apresenta custo elevado e está sujeito a alguns erros (Blocken, 2010). O método semi-empírico permite quantificar de forma rápida e fácil a chuva incidente. São modelos com bases teóricas que necessitam da utilização de coeficientes que são em parte determinados por medições. O método CFD (*computational fluid dynamics*) permite um maior rigor, mas é complexo e, por isso, não é tão fácil e rápido de usar como os semi-empíricos (Blocken, 2004).

O Método Experimental possibilita a percepção da interação da chuva com os edifícios além de permitir validar os métodos semi-empíricos e numéricos, muito embora as medições *in situ* possam conter erros significativos. Para a medição da chuva incidente utilizam-se pluviômetros verticais (*Wind-driven rain gauges*), que são caracterizados por terem uma abertura vertical para recolher a chuva incidente (Blocken, 2004).

Para o autor, existem dois tipos de medições para utilização do método experimental: (1) medições em campo aberto e (2) medições nos edifícios. O primeiro permite obter uma ideia geral da chuva incidente e o segundo, permite obter a chuva incidente para uma localização específica levando em consideração um tipo específico de edifício. Além disso, podem ser utilizados túneis de vento embora este procedimento não seja muito comum.

O Método Semi-Empírico estabelece relações semi-empíricas que permitem a partir dos dados medidos, obter a quantidade de chuva incidente. Tendo em vista as estações meteorológicas não medirem a quantidade de chuva incidente e sim, velocidade, direção e precipitação do vento (Blocken, 2010).

Para Blocken e Carmeliet (2010), os três modelos de cálculo mais avançados e mais utilizados, embora sejam métodos experimentais que utilizam medições demoradas, caras e com possibilidades de erros, são: (1) o da norma ISO 15 927-3 do modelo semi-empírico; (2) o modelo semi-empírico Straube e Burnett (SB) e (3) o modelo de simulações numéricas baseadas em Dinâmica dos Fluidos Computacional, proposto por Choi e estendido para o domínio de tempo por Blöcken e Carmeliet.

Dentre os modelos existentes na literatura para utilização do método semi-empírico encontram-se:

- a) O modelo de Lacy (primeiro método incorporado nos modelos de transferência conjunta de calor, ar e humidade);
- b) O modelo de Henriques (neste modelo admite-se que não existem deflexões das gotas da chuva devido a alterações do fluxo de vento causadas por edifícios ou outros obstáculos);
- c) O modelo do Meteoronorm (é um dos métodos mais conservativos e utiliza para o cálculo da quantidade de chuva o modelo de Straube);
- d) O modelo de Straube e Burnett (este modelo sugere que se utilizem dados climáticos horários ou de 15 minutos e assume que todas as gotas têm o mesmo tamanho);
- e) O modelo do WUFI (o programa de cálculo automático WUFI estima a quantidade de chuva incidente numa superfície, utilizando valores horários);
- f) O modelo da ASHRAE (determina a quantidade de chuva incidente na superfície vertical de uma fachada utilizando valores horários);
- g) O modelo da EN ISO 15927-3 (utiliza dois métodos para a determinação da chuva incidente: o primeiro, utilizando dados climáticos horários permitindo determinar a intensidade de chuva que incide numa fachada para as diferentes orientações; e o segundo aplicável a países em que não existem dados simultâneos do vento e da precipitação horizontal).

Um estudo comparativo entre os modelos semi-empíricos de Lacy, Henriques, Straube e Burnett (SB), WUFI, Meteoronorm, ASHRAE 160 e ISO 15927-3 (2007), concluiu que a aplicação das diferentes fórmulas semi-empíricas conduz a diferentes quantidades de chuva dirigida e os dados climáticos utilizados neste método, desempenham um papel de grande importância na quantificação da chuva dirigida (Freitas, 2011).

Segundo Freitas (2001), não é possível definir qual o melhor método para quantificar a chuva dirigida em fachadas. No entanto, considera que o método proposto pela ISO 15 927-3(2003) apresenta metodologia mais adequada, tendo em vista envolver um maior número de fatores que leva em conta as características do edifício.

Zanoni *et al* (2014), utilizou a metodologia apresentada pela ISO 15 927-3(2003) num estudo de caso na cidade de Brasília, e verificou que o uso de dados climáticos horários aplicados ao modelo da ISO, 15927-3 permitiu prever a intensidade de água de chuva que é projetada sobre as fachadas, levando em consideração as condições de exposição da parede do edifício ao longo dos meses do ano. Segundo o autor, se considerar as condições locais de exposição da edificação na quantificação da água de chuva que é projetada na fachada, o resultado é mais preciso do que quando considerada a ação do vento sobre a precipitação em campo aberto.

2.3.4. MÉTODOS E MODELOS DE QUANTIFICAÇÃO DE CHUVA UTILIZADOS

No que se refere a este trabalho de tese, será utilizado o método semi-empírico, através dos modelos de Straube e Burnett; do WUFI; da ASHRAE e da EN ISO 15927-3. Serão estabelecidas relações semi-empíricas que permitam a partir de dados medidos, obter a quantidade de chuva incidente. Todos

os métodos são baseados no índice de chuva incidente ou na relação de chuva incidente apresentada pela equação 1 (Blocken, 2010).

$$R_{WDR} = k \cdot R_h \cdot V \cdot \cos \theta \quad (1)$$

Onde:

R_{WDR}	Quantidade de chuva incidente [$l/(m^2 \cdot h)$ ou mm/h]
k	Coefficiente de chuva incidente [s/m]
R_h	Intensidade de precipitação horizontal [$l/(m^2 \cdot h)$ ou mm/h]
V	Velocidade do vento [m/s]
θ	Ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede [°]

Segundo Blocken (2004), o coeficiente k além de possuir valor constante ao longo do tempo, distingue os métodos utilizados. Segundo o autor, experimentalmente, concluiu-se que pode variar entre 0,02 s/m a 0,26 s/m. Todos os métodos utilizam a relação $\cos \theta$, o que implica que só a componente da velocidade do vento perpendicular à fachada é considerada (Blocken, 2010).

A seguir, serão descritos os métodos semi-empíricos utilizados por este trabalho de tese.

2.3.4.1. Modelo de Straube e Burnett

Segundo Blocken (2010), este modelo sugere que se utilizem dados climáticos horários ou de 15 minutos e assume que todas as gotas têm o mesmo tamanho. Segundo Straube (2010), a expressão de cálculo do R_{WDR} está representada pela equação 2.

$$R_{WDR} = RAF \cdot DRF \cdot TOF \cdot R_h \cdot V_z \cdot \cos \theta \quad (2)$$

Onde:

R_{WDR}	Quantidade de chuva incidente [mm/h];
RAF	Fator de admissão de chuva [-];
DRF	Fator de chuva incidente [-];
TOF	Fator de topografia [-];
R_h	Intensidade de precipitação horizontal [mm/h];
V_z	Velocidade do vento a z [m] acima do solo [m/s];
θ	Ângulo entre a direcção do vento e a normal à parede [°].

Segundo Straube (2010), as coberturas podem redirecionar o fluxo de vento podendo apresentar um efeito significativo na deposição da chuva. Segundo o autor, um telhado inclinado pode reduzir a chuva incidente nas fachadas por desviar o vento, como mostra a Fig. 11.

Para Blocken (2010), o fator (*RAF*) permite converter a chuva incidente em campo aberto em chuva incidente na fachada do edifício. O valor de *RAF* segundo Straube (2010), é menor que 1 na maioria das áreas das fachadas de um edifício, e igual a 1, adequado para áreas próximas dos cantos superiores dos edifícios. No que se refere a pequenas áreas, com diferentes geometrias, o autor aconselha valores de *RAF* superiores a 1 (Fig. 12).

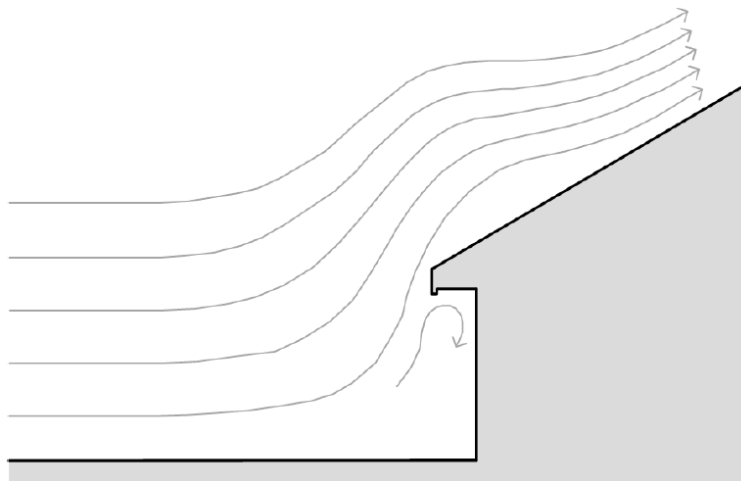


Fig. 11 - Influência das coberturas na deflexão do vento. Fonte: Straube, (2010)

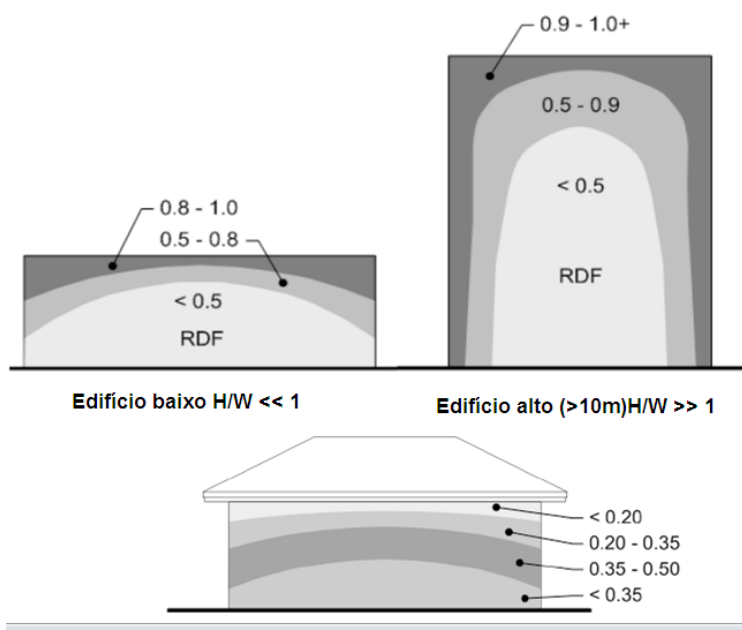


Fig. 12 - Valor de *RAF* segundo Straube e Burnett: a) edifício baixo com $H/W \ll 1$; b) edifício alto ($>10\text{ m}$) com $H/W \gg 1$ onde H representa a altura do edifício e W o comprimento; c) edifício baixo com cobertura inclinada e beiral. Fonte: Straub, 2010.

Segundo Blocken (2010), o Fator de chuva incidente (*DRF*) é calculado através da equação 3:

$$DRF = \frac{1}{V_t} \quad (3)$$

Onde V_t é determinada pela equação 4:

$$V_t = -0,16603 + 4,91884 \cdot \phi - 0,888016 \cdot \phi^2 + 0,054888 \cdot \phi^3, \quad \phi \leq 9,2 \quad (4)$$

E o diâmetro das gotas calculado pela equação 5:

$$\phi = d_{médio} = 1.105 \cdot R_h^{0,232} \quad (5)$$

Onde:

ϕ Diâmetro das gotas [mm]

$d_{médio}$ Diâmetro médio das gotas [mm]

Para Straube (2010), a forma da topografia (TOF) é determinada pela equação 6 sendo utilizada para corrigir a velocidade do vento, cujos parâmetros se encontram definidos nas Fig. 13 e Fig. 14 e, também na Tabela 19.

$$TOF = \left(1 + S_{máx} \cdot \frac{1-|x|}{K \cdot L} \cdot e^{\frac{-az}{L}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Onde:

H Valor geométrico [m]

L Valor geométrico [m]

x Distância a partir do ponto mais alto da colina/escarpa [m]

z Altura acima do ponto mais alto da colina/ escarpa [m]

S_{max} Parâmetro para calcular TOF [-]

a Parâmetro para calcular TOF [-]

K Parâmetro para calcular TOF [-]

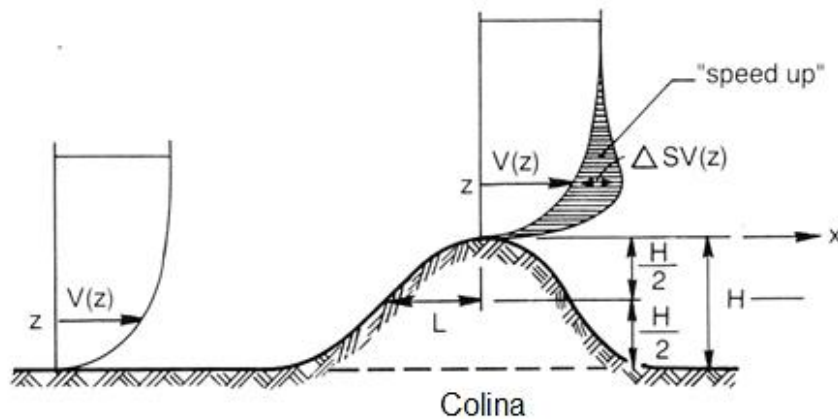


Fig. 13 - Parâmetros para determinar TOF , em colina (Straube, 2010).

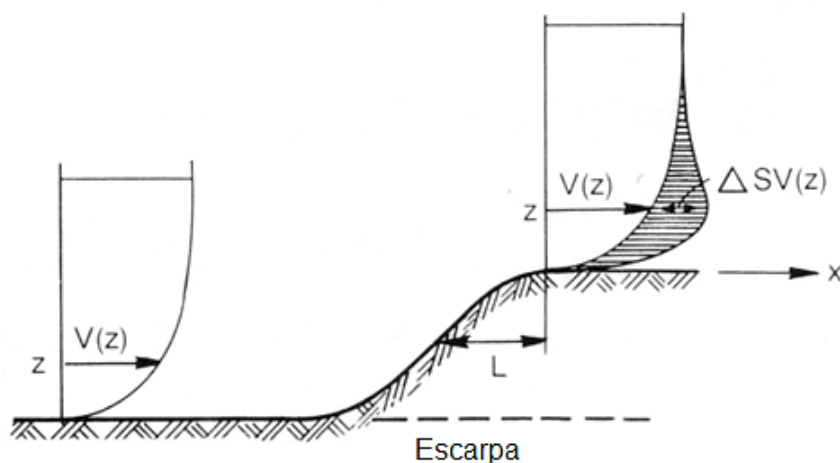


Fig. 14 - Parâmetros para determinar TOF, em escarpa (Straube, 2010).

Tabela 19 - Parâmetros para determinar TOF (Straube, 2010) e adaptado de Freitas, 2011.

Forma	Smax	α	K $x < 0$	K $x > 0$
	$2,2 \times H/L$	3	1,5	1,5
	$1,3 \times H/L$	2,5	1,5	4
	$1,6 \times H/L$	4	1,5	1,5

Segundo Straube (2010), as fachadas expostas a elevadas velocidades do vento estão sujeitas a maiores quantidades de chuva incidente. Para obter valores corretos da quantidade de chuva, é necessário que use a velocidade do vento para o ponto de análise. Segundo o autor, para cálculo da correção da velocidade do vento em relação à altura, utiliza-se a equação (7) aplicando um fator de 0,5 ao valor de $V(z)$ se o edifício estiver protegido, ou seja, se o edifício ou obstruções da altura do edifício estão a uma distância igual a duas vezes a sua altura.

$$V(z) = V_{10} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \quad (7)$$

Onde:

V_z Velocidade do vento a z [m] acima do solo [m/s]

V_{10} Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s]

α Exposição [-] observada na Fig. 15 e na Tabela 20.

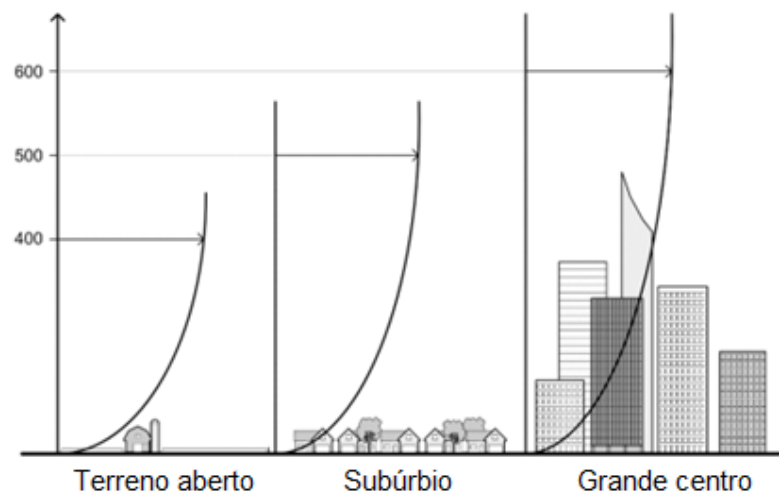


Fig. 15 - Tipos de exposição segundo Straube e Burnett (Straube, 2010).

Tabela 20 – Valores segundo Straube e Burnett (Straube, 2010).

Exposição	α
Terreno aberto: terreno plano com poucas obstruções	0,14
Suburbano: Áreas urbanas, áreas florestais ou centros de pequenas cidades.	0,25
Centro de cidade: grandes centros de cidade, com uma elevada concentração de edifícios altos, em que pelo menos metade tem mais de 4 pisos	0,36

2.3.4.2. Modelo do WUFI

Um dos parâmetros de entrada do programa de simulação WUFI, é a chuva dirigida. O programa de cálculo estima a quantidade de chuva incidente numa superfície, utilizando valores horários de precipitação, velocidade e direção do vento do arquivo climático com 8760 horas, fornecido para alimentar as simulações. Para tal, o WUFI utiliza a equação 8.

$$R_{WDR} = R_h (R_1 + R_2 \cdot V_{10} \cdot \cos \theta) \quad (8)$$

Onde:

- R_{WDR} Quantidade de chuva incidente [mm/h];
- R_h Intensidade de precipitação horizontal [mm/h];
- R_1 Coeficiente que depende do tipo do elemento construtivo [-];
- R_2 Coeficiente que depende da localização na fachada [s/m];

V_{10} Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s];

Θ Ângulo entre a direção do vento e a normal à parede [°].

Os valores de R_1 e R_2 dependem do tipo do elemento a ser construído e da localização da fachada. Foram calculados por Karagiozis et al (1997) para a determinação do fluxo das gotas de água, a partir de modelos avançados *Computational fluid dynamics-CFD*.

- $R_1 = 0$ para fachada; $R_1 = 1$ e $R_2 = 0$ para diferentes inclinações.
- R_2 apresenta valores tabelados e estão descritos na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores de R_2 (WUFI).

Tipo de edifício	R_2
Edifício baixo até 10m.	0,07
Edifício alto, zona inferior até 10 m.	0,05
Edifício alto, zona intermédia entre 10 e 20 m.	0,1
Edifício alto, zona superior acima de 20 m.	0,2

2.3.4.3. Modelo ASHRAE

O modelo da ASHRAE Standard 160P *Design Criteria for Moisture Control in Buildings* (ASHRAE, 2006), estima a quantidade da chuva incidente na superfície de uma fachada utilizando valores horários (equação 9).

$$R_{WDR} = R_h \cdot F_E \cdot F_D \cdot 0,2 \text{ s/m} \cdot V_{10} \cdot \cos \theta \quad (9)$$

Onde:

R_{WDR} Quantidade de chuva incidente [mm/h]

R_h Intensidade de precipitação horizontal [mm/h]

F_E Fator de exposição [-]

F_D Fator de deposição da chuva [-]

V_{10} Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s]

Θ Ângulo entre a direção do vento e a normal à parede [°]

Os valores de F_E representado pela Tabela 22 dependem da altura e das características de exposição que envolve o terreno do edifício e o parâmetro F_D descreve a influência do próprio edifício (Tabela 23).

Tabela 22 - Valores de Fator de exposição F_E (ASHRAE).

Alturas	Exposição		
	Aberta	Média	Protegida
< 10 m	1,3	1,0	0,7
10 – 15 m	1,3	1,1	0,8
15 – 20 m	1,4	1,2	0,9
20 – 30 m	1,5	1,3	1,1
30 – 40 m	1,5	1,4	1,2
40 – 50 m	1,5	1,5	1,3
> 50 m	1,5	1,5	1,5

*Abertas (incluem topos de colinas, zonas costeiras e zonas com vento convergente).

* Protegida (Inclui protecção de árvores, edifícios nas proximidades ou vales).

Tabela 23 - Valores do fator de deposição F_D – (ASHRAE).

Paredes	Valores
Em edifício com cobertura inclinada	$F_D = 0,5$
Em edifício com cobertura plana	$F_D = 1,0$
Sujeitas a escorrência	$F_D = 2,0$

Observa-se uma correspondência para o cálculo da chuva incidente nas paredes dos modelos da ASHRAE e o modelo do WUFI. Nota-se que para o caso de um edifício baixo com até 10m de altura, de cobertura inclinada ($F_D = 0,5$) e fator de exposição protegida ($F_E = 0,7$) no modelo ASHRAE, há uma correspondência com edifício baixo do WUFI para $R_2 = 0,07$; quando este mesmo edifício, com a mesma cobertura ($F_D = 0,5$) considerar fator de exposição média ($F_E = 1,0$), a correspondência será para um edifício alto, de zona intermediária ($R_2 = 0,1$). Para o caso de um edifício baixo com cobertura plana $F_D = 1,0$ e exposição média ($F_E = 1,0$), o R_2 corresponderá a um edifício alto, de zona superior ($R_2 = 0,2$).

2.3.4.4. Modelo da EN ISO 15 927-3

A ISO 15927-3 *Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data* permite, numa determinada orientação, calcular a possível quantidade de água de chuva incidente numa determinada fachada, considerando dados climáticos de velocidade e direcção do vento num determinado período de tempo. Segundo a norma, a chuva incidente pode ser determinada através de dois métodos:

- O Método A que tem como procedimento de cálculo introduzir dados climáticos horários de precipitação, velocidade e direcção do vento, permitindo determinar a intensidade de chuva que incide numa fachada para as diferentes orientações.

- O Método B apesar de bastante limitado e menos quantitativo que o método A permite aplicar a norma em países da Europa e em países que não existem dados conjuntos do vento e da precipitação horizontal. Este método utiliza a média do vento para doze horas e os dados qualitativos da presença e intensidade da precipitação para calcular a duração do período de tempo curto em que o risco de penetração aumenta.

Alguns aspectos devem ser considerados para a utilização dos dois métodos da norma: não deve ser aplicada em regiões montanhosas; não se aplicam a áreas em que mais de 25% da chuva anual tenha origem em tempestades severas (com duração menor que uma hora) ou em áreas ou períodos em que uma parte significativa da precipitação seja de neve ou granizo; deve-se decidir se a estação meteorológica mais próxima é representativa para o edifício em estudo; aconselha-se a realização de medições da chuva incidente, especialmente em áreas montanhosas.

O método A, permite calcular duas quantidades:

- I_A (Índice anual para campo aberto – uma medida da chuva média incidente);
- I_S (Índice de chuva persistente para campo aberto – uma medida da máxima exposição à chuva incidente).

Para o cálculo do índice I_A (equação 10) deve-se utilizar dados horários da velocidade do vento, direção do vento e precipitação da estação meteorológica mais próxima. O índice representa a quantidade de chuva incidente recolhida ao longo de um ano por um pluviómetro vertical em terreno aberto e por orientação. As séries temporais devem apontar no mínimo 10 anos. Sendo o ideal entre 20 e 30 anos.

Para obter a quantidade de chuva incidente na fachada por orientação, e para uma determinada localização da fachada (I_{WA}) utilizam-se quatro fatores de correção: C_R , C_T , O e W (equação 11).

$$I_A = \frac{2}{9} \cdot \frac{\sum V_{10} \cdot R_h^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D-\theta)}{N} \quad (10)$$

$$I_{WA} = I_A \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W \quad (11)$$

Onde:

I_A	Índice anual para campo aberto [l/m^2]
V_{10}	Velocidade do vento de referência a 10 m acima do solo [m/s]
N	Número de anos de dados disponíveis [-]
R_h	Intensidade de precipitação horizontal [mm/h]
D	Direcção horária média do vento a partir do Norte [$^\circ$]
θ	Ângulo entre o Norte e a normal à parede [$^\circ$]
I_{WA}	Índice anual para a fachada [l/m^2]
C_R	Coeficiente de rugosidade [-]

C_T	Coeficiente de topografia [-]
O	Factor de obstrução [-]
W	Factor da fachada [-]

O Índice de chuva persistente para campo aberto (I_s) refere-se à chuva incidente mais intensa com probabilidade de ocorrer num período de três anos.

O (I_s) pode acontecer antes ou depois de 96 horas em que o índice horário para campo aberto da equação 12 é menor ou igual a zero.

$$I_s = \left(\frac{2}{9} \cdot V_{10} \cdot R_h^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \theta) \right) \quad (12)$$

Segundo a norma, devem-se considerar apenas as horas em que o vento sopra em direção da parede, ou seja, a soma de todas as horas em que $\cos(D - \theta)$ é positivo.

Para cada período de chuva incidente mais intensa, o cálculo do I_s (equação 13), tem em consideração dados horários de precipitação e vento para 10 anos (sendo preferíveis 20 ou 30 anos).

$$\Gamma_s = \frac{2}{9} \cdot \sum V_{10} \cdot R_h^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \theta) \quad (13)$$

O I_s tem a possibilidade de ocorrer uma vez a cada três anos e é definido como o percentil 66% do Γ_s . O índice de chuva persistente para a fachada (I_{ws}) é calculada pela equação 14.

$$I_{ws} = I_s \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W \quad (14)$$

Onde:

Γ_s	Índice de chuva persistente para campo aberto para cada período de chuva incidente mais gravosa [l/m^2];
I_s	Índice de chuva persistente para campo aberto [l/m^2];
I_{ws}	Índice de chuva persistente para a fachada [l/m^2].

Para a quantidade de chuva incidente (R_{WDR}), a norma indica o cálculo da quantidade média da chuva incidente para um ano (equação 15).

$$R_{WDR} = \frac{2}{9} \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W \cdot V_{10} \cdot R_h^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \theta) \quad (15)$$

Onde:

R_{WDR} Quantidade de chuva incidente [$l/(m^2 \cdot h)$]

O coeficiente de rugosidade (C_R) depende da categoria do terreno (

Tabela 24), e deve considerar a variação da velocidade média do vento. Podendo ser calculado pela equação 16 ou através da equação 17. Se no local em análise existir uma variação da rugosidade do terreno a menos de 1 km, deve ser considerada a categoria de terreno menos rugosa que fornece um valor maior de C_R .

$$C_R(z) = K_R \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), \quad z \geq z_{min} \quad (16)$$

$$C_z(z) = C_R(z_{min}), \quad z < (z_{min}) \quad (17)$$

Onde:

Z Altura acima do solo [m]

K_R Fator do terreno [-]

Z_0 Comprimento da rugosidade aerodinâmica [m]

Z_{min} Altura mínima [m]

Tabela 24 - Categorias do terreno e parâmetros para cálculo de calcular o C_R - ISO 15927-3 (2007).

Categoria do Terreno	Descrição	K_R	Z_0	Z_{min}
I	Frente de mar; margens de lagos com pelo menos 5 km de água e campo plano sem obstáculos.	0,17	0,01	2
II	Terrenos agrícolas com sabes/vedações com estrutura agrícolas, casas e árvores ocasionais.	0,19	0,05	4
III	Áreas suburbanas ou industriais e florestas	0,22	0,3	8
IV	Áreas urbanas em que pelo menos 15% da superfície tem edifícios com uma altura superior a 15 m.	0,24	1	16

Para o cálculo do coeficiente de topografia C_T , verifica-se o aumento da velocidade média do vento, devendo ser de 1,0 a 1,6, em colinas isoladas e escarpas. Devem ser considerados também locais que estejam a mais de meia altura de uma colina, ou em locais que estejam situados a 1,5 vezes a altura de uma escarpa a partir de sua base. Sendo calculado através das equações 18, 19 e 20.

$$C_T = 1, \quad \text{para } \phi < 0,05 \quad (18)$$

$$C_T = 1 + 2s \phi, \quad \text{para } 0,05 \leq \phi \leq 0,3 \quad (19)$$

$$C_T = 1 + 0,6s, \quad \text{para } \phi > 0,3 \quad (20)$$

Onde:

s É o fator obtido a partir dos escalonamentos das curvas de níveis podendo variar de 0 a 1 (Fator para calcular C_T [-] obtido a partir das Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18 e da Tabela 25).

ϕ É a declividade a montante, H/L_u , na direção do vento, conforme Tabela 25 (Fator para cálculo C_T [-] que depende H/L_u).

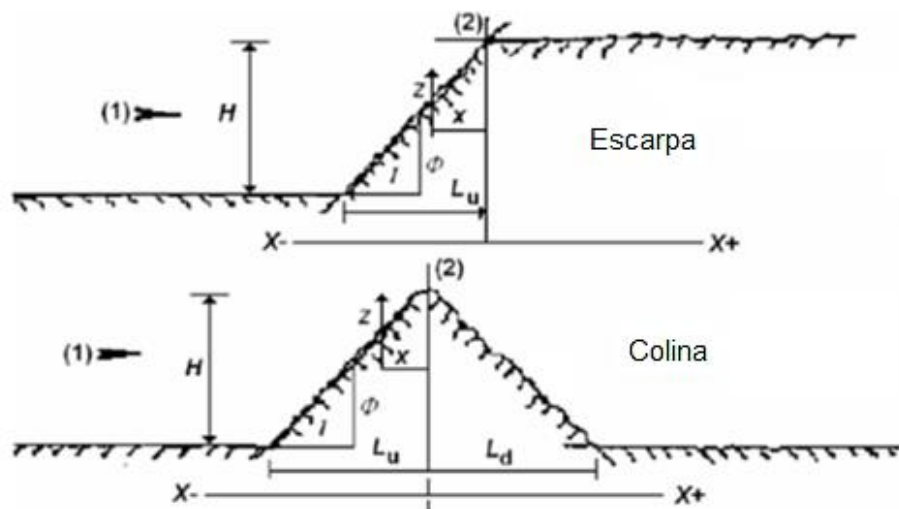


Fig. 16 - Definição dos parâmetros para determinar C_T , onde (1) corresponde à direção do vento e (2) ao ponto mais alto (EN ISO 15 927-3: 2007).

Tabela 25 - Comprimento efetivo, L_E - Fonte: ISO 15 927-3 (2007).

Declive a montante do vento $\phi = H/L_u$	
Raso $0,05 \leq \phi \leq 0,3$	Íngreme $\phi > 0,3$
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

Onde:

L_u Comprimento real do declive a montante, na direção do vento;

L_d Comprimento real do declive a jusante do vento;

- L_e Comprimento efetivo do declive a montante do vento;
 H Altura efetiva da elevação;
 x Distância horizontal a partir do local até o topo da crista;
 z Distância vertical a partir do local até o topo da crista.

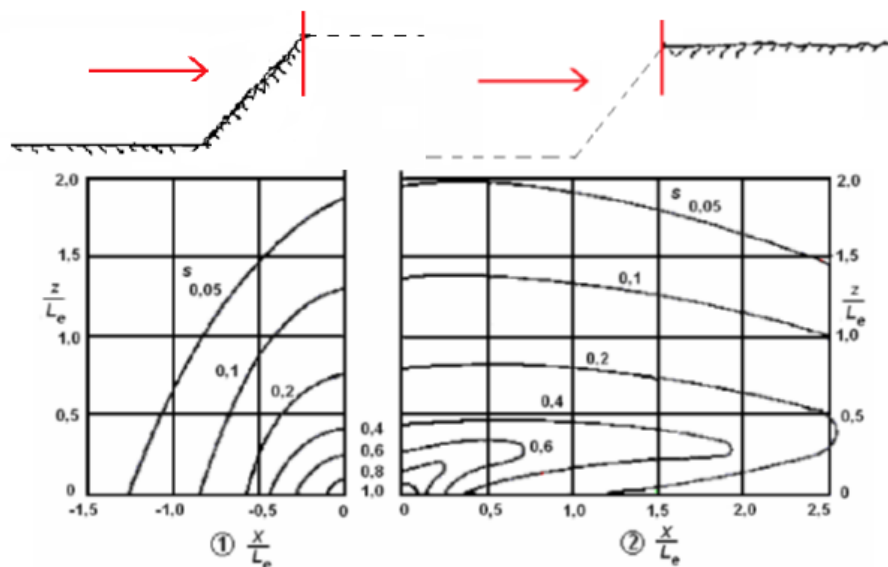


Fig. 17 - Fator s para escarpas. (EN ISO 15 927-3: 2007).

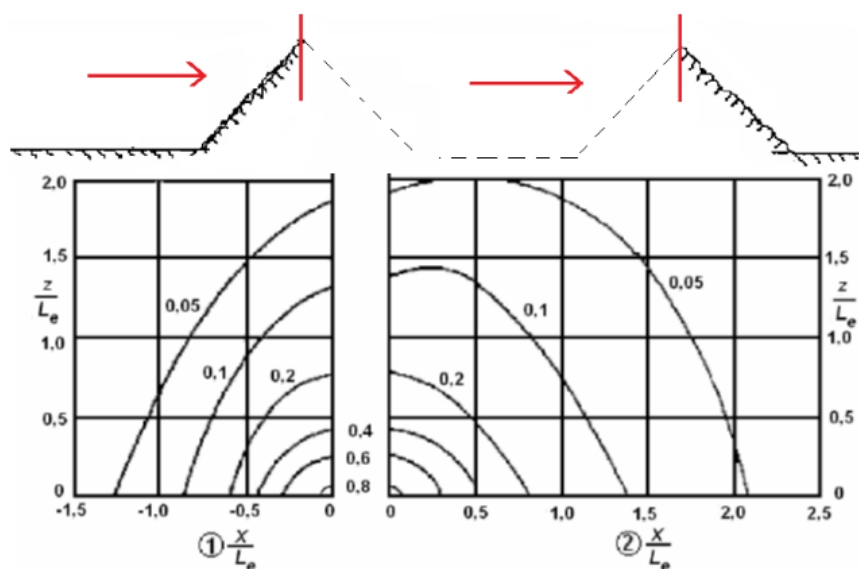


Fig. 18 - Fator s para colinas (EN ISO 15 927-3: 2007).

O fator de obstrução (0) é determinado calculando a distância horizontal ao obstáculo mais próximo, que deve apresentar no mínimo, a altura da fachada analisada (Tabela 26). Seu resultado pode variar de forma significativa ao longo da parede. A norma considera a proteção da fachada o obstáculo mais próximo, podendo ser um edifício, vedações ou árvores.

Tabela 26 - Valores do Factor de Obstrução (EN ISO 15 927-3: 2007).

Distância da parede à obstrução [m]	Fator de obstrução O^*
de 4 a 8	0,2
acima de 8 até 15	0,3
acima de 15 até 25	0,4
acima de 25 até 40	0,5
acima de 40 até 60	0,6
acima de 60 até 80	0,7
acima de 80 até 100	0,8
acima de 100 até 120	0,9
acima de 120	1,0

*O factor de obstrução deve ser considerado igual a 1,0 independentemente de existirem obstruções.

Para calcular o W (fator da fachada) considera-se a altura e as características da fachada, bem como a variação da chuva incidente ao longo dessa fachada. Esta variação é significativa ao longo da superfície devido ao fluxo de ar nos pontos singulares da mesma. O fator W deve ser obtido para cada posição conforme representado pela Tabela 27.

Tabela 27 - Fator de fachada (W) - ISO 15927-3 (BS, 2009); adaptada de Zanoni, 2014.

Descrição	Valor médio	Distribuição	
2 pisos Fachada exposta: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, sem beiral	0,4	Topo	0,5
		↑	0,4
		↑	0,3
		Base	0,2
2 pisos Fachada protegida: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, com beiral	0,3	Topo	0,3
		↑	0,3
		↑	0,3
		Base	0,3
2 pisos Cobertura em terraço ou com inclinação $< 20^\circ$	0,4	Topo	0,5
		↑	0,4
		↑	0,4
		Base	0,2
3 pisos Fachada exposta: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, sem beiral	0,3	Topo	0,5
		↑	0,4
		↑	0,3
		↑	0,3
		Base	0,2
3 pisos Fachada protegida: cobertura com inclinação $\geq 20^\circ$, com beiral	0,4	Topo	0,4
		↑	0,4
		↑	0,4
		Base	0,4
Superior a 3 pisos Cobertura em terraço ou com inclinação $< 20^\circ$	0,2	0,5 para os 2,5 m superiores 0,2 para as demais superfícies	

2.4. MODELAÇÃO HIGROTÉRMICA DE PAREDES

2.4.1. ENQUADRAMENTO

As fachadas dos edifícios estão sujeitas à solicitação climática exterior, bastante variável, e a condições mais estáveis no interior. Vários *softwares* utilizados na área de materiais de construção porosos bem como na área de humidificação e secagem de solos têm incorporado e desenvolvido diferentes modelos de transferência simultânea de calor, ar, humidade e transporte de sais (Delgado *et al*, 2008).

Segundo Karagiozis *et al* (2001), nos últimos 20 anos foram alcançados grandes progressos no desenvolvimento de modelos higrotérmicos avançados, melhorando as condições de análise e a fidelidade dos resultados obtidos. Para Delgado *et al.*, (2010), apesar de existirem mais de 57 modelos higrotérmicos desenvolvidos, apenas 14 estão disponíveis ao público.

Os modelos higrotérmicos segundo Straube e Burnett, variam em função da aproximação matemática e dependem de parâmetros quanto à dimensão do transporte de humidade, o tipo de fluxo (se estático, quase estático ou dinâmico), a qualidade e disponibilidade de informação e a natureza estocástica dos dados (propriedades dos materiais e clima, entre outras) (Delgado *et al.*, 2010).

Para Freitas *et al*, (2008), a determinação das propriedades dos materiais é complexa, podendo afetar a fiabilidade dos resultados. Segundo o autor, apesar dos excelentes resultados das simulações numéricas, a interface das camadas não é bem estudada no programa e a solicitação climática tem uma componente de grande variabilidade.

Para este trabalho de tese foi seleccionado o programa de cálculo WUFI versão Pro 5.2. Um programa de grande validação experimental, bastante utilizado na Europa e na América do Norte, desenvolvido na Alemanha em 1994 pelo *Fraunhofer Institut für Bauphysik* (IBP).

Dos vários programas de simulação numérica que permitem estudar o comportamento higrotérmico dos edifícios, o WUFI é um exemplo destes programas. É um *software* para simulação da transferência de humidade e calor em elementos de construção, que permite simulações em regime dinâmico e estudos de sensibilidade sobre composição, propriedades higrotérmicas dos materiais e condições climáticas.

O programa WUFI possui uma base de dados atualizada e permite usar dados climáticos reais medidos como *inputs*. Foi amplamente validado por meio de ensaios realizados por investigadores de vários países que, demonstraram a viabilidade da adoção do WUFI como uma ferramenta de estudos higrotérmicos (Zanoni, 2014).

As simulações efetuadas pelo WUFI permitem prever possíveis patologias no elemento devido à humidade (Jorne 2010). Baseiam-se na norma EN 15026:2007 (*Hygrothermal performance of building components and building elements – assessment of moisture transfer by numerical simulation*).

2.4.2. PRINCÍPIOS DE MODELAÇÃO

O objectivo principal é o cálculo da evolução ao longo do tempo da temperatura e do teor de humidade nas várias camadas que constituem o elemento construtivo. No cálculo da transferência de calor é considerada a condução, a entalpia, a radiação solar e a radiação de onda longa. Os mecanismos de transporte de humidade são a difusão (fase de vapor) e a capilaridade (fase líquida).

As equações de balanço de massa e energia estão descritas na equação 21 e na equação 22 (Künzel, 1995).

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \left(D_{\varphi} \cdot \nabla \varphi + \delta_p \cdot \nabla (\varphi \cdot p_{sat}) \right) \quad (21)$$

$$\frac{\partial H'}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_w \cdot \nabla T) + h_1 \cdot \nabla \left(\delta_p \cdot \nabla (\varphi \cdot p_{sat}) \right) \quad (22)$$

Onde:

w	Teor de humidade [kg/m ³];
φ	Humidade relativa [-];
t	Tempo [s];
D_{φ}	Coeficiente de condução líquida [kg/(m.s)];
δ_p	Permeabilidade ao vapor de água do material [kg/(m.s.Pa)];

p_{sat}	Pressão de saturação [Pa];
H'	Entalpia [J/m^3];
T	Temperatura absoluta [K];
λ_w	Condutibilidade térmica do material húmido [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$];
h_1	Calor latente da mudança de fase [J/kg].

A utilização do programa é efetuada com o auxílio de uma interface amigável. A interface gráfica do programa permite compreender de forma fácil, a entrada dos diferentes dados necessários ao programa de simulação. É necessário introduzir dados relativos à configuração, orientação e inclinação do elemento construtivo, aos coeficientes de chuva incidente e de transferência à superfície, às condições iniciais de temperatura e humidade relativa e ao período de cálculo e, para finalizar, deve-se definir as condições climáticas interiores e exteriores.

É importante lembrar que os dados de entrada utilizados para a simulação devem ser analisados de forma rigorosa, de tal maneira que os resultados finais das simulações correspondam ao comportamento real do elemento construtivo.

2.4.2.1. Configuração do elemento construtivo

No que se refere à configuração do elemento construtivo deve-se especificar a sequência, as características e a espessura das diferentes camadas.

As propriedades dos materiais estão divididas em propriedades básicas:

- Massa volúmica [kg/m^3];
- Porosidade [m^3/m^3];
- Calor específico do material seco [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$];
- Condutibilidade térmica do material seco [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$];
- Fator de resistência à difusão de vapor [-].

E em propriedades complementares:

- Curva de retenção;
- Coeficientes de difusividade hídrica para a sucção e redistribuição [m^2/s];
- Condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$];
- Factor de resistência à difusão de vapor em função da humidade relativa [-].

As propriedades dos materiais podem ser obtidas através da base de dados do WUFI Pro 5.2, inseridas a partir dos resultados laboratoriais (Ramos *et al*, 2009), ou através de referências bibliográficas disponíveis (Kumaran, 1996; Freitas & Pinto, 1998).

A curva de retenção que o programa WUFI utiliza é a de adsorção. Caso não existam dados, a curva de retenção pode ser aproximada a partir do teor de humidade de referência – que corresponde ao teor de humidade em kg/m^3 para 80% de humidade relativa, e do teor de humidade de saturação – W_{sat} . Estas duas grandezas podem ser facilmente determinadas.

A caracterização exata da curva de retenção em alguns materiais apresenta relevância principalmente acima dos 80% de humidade relativa. Neste caso, a depender de sua higroscopicidade, o comportamento dos materiais pode ser muito diferente nessa região (Fig. 19).

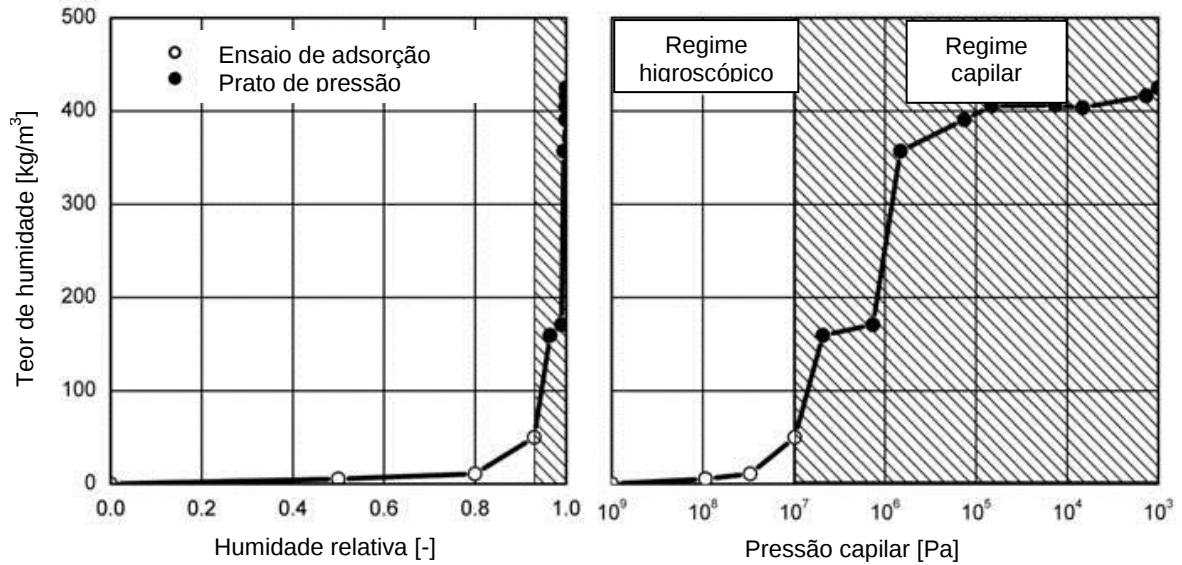


Fig. 19 - Curva de retenção de materiais de construção em função da humidade relativa (IBP, 2016).

A aproximação da curva de retenção é determinada, para a maior parte dos materiais, através da equação 23.

$$w(\varphi) = w_{sat} \cdot \frac{(b' - 1) \cdot \varphi}{b' - \varphi} \quad (23)$$

Onde:

$w(\varphi)$ Teor de humidade a uma humidade relativa φ [kg/m³];

w_{sat} Teor de humidade de saturação [kg/m³];

b' Fator de aproximação [-] (sendo > 1 e determinado para w_{80} através da equação dada).

O transporte capilar (fase líquida), descrito na equação 24, é um dos mecanismos que predominam o transporte de humidade em materiais porosos.

$$g_w = -D_w(w) \cdot \text{grad } w \quad (24)$$

Onde:

g_w Densidade de fluxo de humidade, em fase líquida [kg/(m².s)];

w Teor de humidade [kg/m³];

D_w Coeficiente de difusividade hídrica [m²/s].

O coeficiente de difusividade hídrica depende dos materiais. Existe um coeficiente para a sucção e um para a redistribuição. São eles:

- O coeficiente de difusividade hídrica para a sucção (D_{ws}) descreve a absorção capilar da água;
- O coeficiente de difusividade hídrica para a redistribuição (D_{ww}) descreve a redistribuição no material da água embebida quando o processo de molhagem terminou (traduz a propagação da água absorvida).

No programa WUFI, o coeficiente de difusividade hídrica D_{ww} é menor do que o da sucção D_{ws} , pelo fato da redistribuição ser um processo mais lento (que ocorre nos pequenos poros com uma elevada resistência ao fluxo). Observa-se que os valores resultantes da medição de coeficientes de difusividade hídrica apenas estão disponíveis para um número limitado de materiais. A equação 25 permite a partir do coeficiente de absorção de água e da curva de retenção, estimar o coeficiente de difusividade hídrica para a sucção e para a redistribuição (Tabela 28).

$$D_{ws}(w) = 3,8 \cdot \left(\frac{A}{w_f}\right)^2 \cdot 1000^{\left(\frac{w}{w_{sat}} - 1\right)} \quad (25)$$

Onde:

w Teor de humidade [kg/m³];

w_{sat} Teor de humidade de saturação em [kg/m³].

Tabela 28 - Aproximação para D_{ws} e D_{ww} (WUFI).

w (kg/m ³)	D_{ws} (m ² /s)	D_{ww} (m ² /s)
w_{80}	$D_{ws}(w_{80})$	$D_{ws}(w_{80})$
w_{sat}	$D_{ws}(w_{sat})$	$D_{ws}(w_{sat}) / 10$

A condutibilidade térmica em função do teor de humidade pode ser determinada a partir da equação 26.

$$\lambda_w = \lambda_0 \left(1 + b \frac{w}{\rho_s}\right) \quad (26)$$

Onde:

λ_w Condutibilidade térmica do material húmido [W/(m.K)];

λ_0 Condutibilidade térmica do material seco [W/(m.K)];

ρ_s Massa volúmica do material seco [kg/m³];

b Incremento de condutibilidade térmica induzido pela humidade [%M.-%], que representa o aumento percentual da condutibilidade por % de massa de humidade.

2.4.2.2. Orientação, Inclinação do Elemento e Coeficientes de Chuva Incidente.

Para as simulações é necessário especificar as orientações geográficas (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO), a inclinação do elemento (variação entre 0° e 90°) de acordo com a tipologia do edifício e especificar os coeficientes de chuva incidente usados para estimar a quantidade de chuva que incide na fachada.

No que se refere aos coeficientes de chuva incidente usados para estimar a quantidade de chuva incidente na fachada, existem dois métodos fornecidos pelo programa: o método do WUFI baseado nos coeficientes R_1 e R_2 e o método da ASHRAE Standard 160 P em que é necessário escolher o valor de F_E e F_D , parâmetros descritos anteriormente (§2.3.4.2 e §2.3.4.3).

2.4.2.3. Coeficiente de Transferência à Superfície.

Por serem as primeiras camadas em contato com o ambiente circundante, as superfícies dos elementos construtivos assumem importância considerável no estudo do comportamento higrotérmico. Neste sentido, estabelecer os coeficientes de transferência à superfície é uma forma de estabelecer em que medida o ambiente exterior pode ou não afetar as condições higrotérmicas das fachadas.

Estes coeficientes pretendem indicar para a superfície exterior e interior, a transferência de calor e humidade na interface material/ar. No caso da superfície exterior (Fig. 20):

- Resistência térmica (definida pelo utilizador ou pré-definida em função do tipo de elemento construtivo), que pode ser ou não dependente do vento (Item A);
- S_D (espessura da camada de ar de difusão equivalente) dos possíveis revestimentos (Item B);
- Coeficiente de absorção solar (α_s) (Item C);
- Emissividade da superfície (Item D);
- Reflectividade do solo (Item E);
- Fator de absorção da água da chuva (Item F).

No que se refere aos coeficientes para a superfície interior, faz-se necessário indicar o valor da resistência térmica (Item G) e do S_D (Item H) (Fig. 20).

The image shows a software interface for configuring surface properties in WUFI. It is divided into two main sections: 'Superfície Exterior (Lado Esquerdo)' and 'Superfície Interior (Lado Direito)'.
 In the 'Superfície Exterior' section:
 - 'Resistência Térmica [m²K/W]' is set to 0.0588 (labeled A), with a dropdown menu showing 'Parede exterior'.
 - A checkbox 'dependente do vento' is unchecked.
 - 'Valor de sd [m]' is set to 0.0 (labeled B), with a dropdown menu showing 'Definido pelo utilizador'. A note below states: 'Nota: Sd-Value does not affect rain absorption'.
 - 'Absorção (Radiação de Onda Curta) [-]' is set to 0.2 (labeled C), with a dropdown menu showing 'Definido pelo utilizador'.
 - 'Emissividade (Radiação Onda Longa) [-]' is set to 0.9 (labeled D), with a dropdown menu showing 'Definido pelo utilizador'.
 - A checkbox 'Balanço Radiativo Explícito' is unchecked.
 - 'Reflectividade do solo (Onda Curta) [-]' is set to 0.2 (labeled E), with a dropdown menu showing 'Definido pelo utilizador'.
 - 'Factor de redução da chuva incidente [-]' is set to 0.7 (labeled F), with a dropdown menu showing 'De acordo com a inclinação e tipo de construção'.
 In the 'Superfície Interior' section:
 - 'Resistência Térmica [m²K/W]' is set to 0.125 (labeled G), with a dropdown menu showing '(Parede exterior)'.
 - 'Valor de sd [m]' is set to 0.0 (labeled H), with a dropdown menu showing 'Definido pelo utilizador'.

Fig. 20 - Coeficientes de transferência à superfície (WUFI).

A espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d) é um valor expresso em metros e que caracteriza o revestimento da fachada (Freitas e Pinto 2000). Quanto maior é o seu valor menor é a permeabilidade ao vapor do revestimento.

No que se refere à radiação total incidente numa fachada, esta se divide em direta e difusa. A radiação solar é uma fonte de calor que aumenta a temperatura da superfície durante o dia, sendo que apenas uma parte é absorvida. O fluxo de calor é dado pela equação 27 (Kunzel. 1995).

$$q_s = \alpha_s \cdot I_{rs} \quad (27)$$

Onde:

q_s Densidade de fluxo de calor absorvido pela superfície devido à radiação solar incidente [W/m^2];

α_s Coeficiente de absorção solar [-];

I_{rs} Componente da radiação solar normal à superfície [W/m^2].

Em função da cor e do tipo de material, o valor do coeficiente de absorção solar (α_s), pode ser definido pelo utilizador ou pode ser selecionado da base de dados do WUFI.

A emissividade da superfície que corresponde à relação entre a radiação emitida pela superfície real e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura dependem do tipo de superfície embora, na maior parte dos casos, assume valor de 0,9.

Quanto ao fator de absorção da água da chuva, a depender da rugosidade, da orientação, da inclinação, da superfície e da natureza da precipitação, pode-se considerar que uma parte da chuva incidente que chega à fachada não é absorvida.

O WUFI considera fator 1 para as superfícies horizontais e 0,7 para as superfícies verticais. Para o caso de neve ou granizo, o valor é aproximadamente zero e para fachada protegida da chuva ou se não ocorrer absorção da água da chuva, considera-se que não existe absorção. Em função da inclinação e do tipo de construção, o WUFI escolhe automaticamente este fator de absorção, embora permita que seja definido pelo utilizador (WUFI).

Segundo Blocken (2004), há uma dificuldade em quantificar a quantidade de água que, depois de depositada na fachada, é absorvida ou qual a quantidade que escorre. Para obter a quantidade de chuva incidente que está disponível para a absorção, o WUFI multiplica os dados da chuva incidente pelo fator de absorção da água da chuva.

2.4.2.4. Condições iniciais de temperatura e humidade relativa e período de cálculo.

Para dar início a simulação, deve ser fornecida as condições iniciais (temperatura e humidade relativa). O valor da temperatura inicial pode ser constante no elemento ou definida a partir de um ficheiro de dados. Para o teor de humidade pode-se especificar um valor diferente para cada camada ou uma humidade relativa constante ao longo do elemento construtivo ou ainda ser definido a partir de um

ficheiro. No que se refere ao período de cálculo, é definido o início e fim dos perfis e o intervalo de tempo (h) que se pretende usar no cálculo da simulação higrotérmica.

Segundo Jorne (2010), a humidade relativa inicial depende de uma série de fatores de difícil determinação tais como, a quantidade de humidade de produção, a quantidade de água da mistura, do clima e quantidade de chuva que os materiais estiveram sujeitos durante as fases pré-construção.

2.4.2.5. Condições Climáticas

O clima a que o elemento construtivo está exposto tem uma grande importância na análise do comportamento higrotérmico. Conhecer as condições climáticas de uma região propicia uma melhor elaboração de projetos. As condições climáticas exteriores e interiores influenciam o comportamento higrotérmico das paredes, sendo necessário fornecer, para o exterior, dados horários da precipitação, radiação, temperatura e humidade relativa. Os dados do clima interior podem ser quantificados a partir do clima exterior.

No WUFI encontram-se ficheiros climáticos previamente definidos para algumas regiões/continentes. Podem ser utilizados dados climáticos gerados pelo Meteonorm ou dados medidos por estações meteorológicas tratadas estatisticamente (TRY, DRY, TMY), sendo necessário converter a série de dados num ficheiro de texto com a extensão WAC. As condições climáticas exteriores são estabelecidas a partir de um ficheiro de dados que deve incluir valores horários de:

- Velocidade do vento [m/s];
- Direção do vento [°], contabilizada no sentido dos ponteiros do relógio com o norte a corresponder a 0°;
- Precipitação incidente numa superfície horizontal [mm];
- Pressão atmosférica [hPa];
- Temperatura do ar [°C];
- Humidade relativa do ar [%];
- Radiação solar global ou direta incidente num plano horizontal [W/m^2];
- Radiação solar difusa incidente num plano horizontal [W/m^2];
- Radiação de onda longa emitida pela atmosfera incidente num plano horizontal [W/m^2].

Alguns indicadores do clima exterior podem ser visualizados facilmente no programa (Fig. 21).

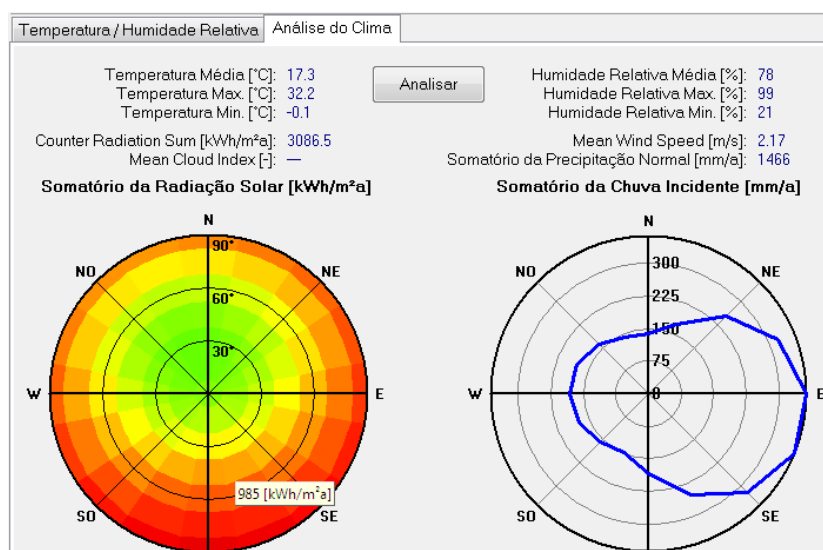


Fig. 21 - Condições climáticas exteriores - (WUFI).

As condições interiores podem ser definidas através da introdução de um ficheiro pelo utilizador, com informação sobre a variação horária da temperatura e humidade relativa, ou através da seleção de um dos modelos de cálculos disponíveis no WUFI Pro 5.2, baseados na WTA Guideline 6-2-01/E (WTA, 2004), na EN 13788 (CEN, 2001), EN 15026 (CEN, 2007) e ASHRAE 160P (ASHRAE, 2009) (Fig. 22).

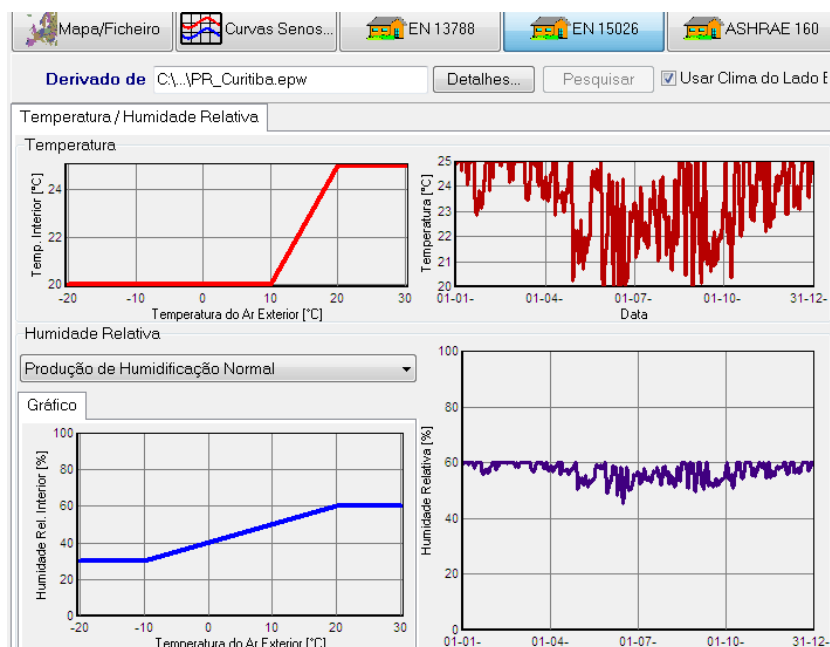


Fig. 22 - Condições climáticas Interiores através da EN 15 026-(WUFI).

2.4.3. SAÍDA DOS RESULTADOS

Os dados de saída são variados e podem ser exportados para ficheiros de texto ASCII, para posterior tratamento pelo utilizador, destacando-se:

- Chuva incidente por orientação (sem fator de absorção de água da chuva);
- Radiação solar incidente na fachada do elemento construtivo;
- Fluxo de calor e de humidade na superfície interior e exterior;
- Variação da temperatura e humidade relativa ao longo do tempo da superfície interior e exterior;
- Variação da temperatura, humidade relativa e teor de humidade em cada camada e num determinado ponto de monitorização do elemento construtivo;
- Análise de riscos de desenvolvimento de bolores.

3

METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. ENQUADRAMENTO

O conhecimento das propriedades higrotérmicas dos materiais é essencial tanto para o desenvolvimento de estudos de simulação numérica como para avaliar a sua aplicabilidade de acordo com a normalização vigente. Para este trabalho de tese, o programa experimental foi desenvolvido em duas etapas.

Na Primeira etapa determinaram-se as propriedades higrotérmicas de dois tipos de gesso: o gesso standard e o gesso hidro, realizando ensaios de absorção por capilaridade, de condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor e curva de retenção. Os resultados obtidos através dos ensaios foram utilizados para alimentar o programa de simulação numérico WUFI 5.2 e posterior estudo de sensibilidade. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física das Construções – LFC, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Na Segunda etapa, foi feita a avaliação da influência do teor de hidrofugação no comportamento higríco do gesso. Foram preparados provetes para blocos, revestimentos e cola de gesso, caracterizado por diferentes teores de hidrofugação e submetido a ensaios de capilaridade.

Após terem sido selecionados os materiais que se adequam ao objetivo do trabalho, foram realizados ensaios que permitissem conhecer a capacidade de absorção de água, dureza superficial, resistência à compressão e resistência à flexão do referido produto. Em seguida, utilizando os blocos, foram construídas paredes de gesso para dois teores de hidrofugação, que possibilitou realizar ensaios de resistência ao impacto de corpo mole e corpo duro, de resistência à aderência e de estanquidade do sistema.

Os ensaios da segunda fase foram realizados pela candidata em dois laboratórios: uma parte no Instituto tecnológico de Pernambuco- ITEP e outra no laboratório de tecnologia da construção e materiais- TECOMAT. Ambos acreditados pelo (Instituto nacional de meteorologia) INMETRO, e homologados pelo Ministério das Cidades como uma Instituição Técnica Avaliadora (ITA), apta para atestar o desempenho de sistemas construtivos inovadores ou ainda não disseminada no mercado.

A seguir, apresenta-se o fluxograma do programa experimental desenvolvido na primeira e segunda etapa do trabalho conforme representado na Fig. 23, Fig. 24 e Fig. 25.

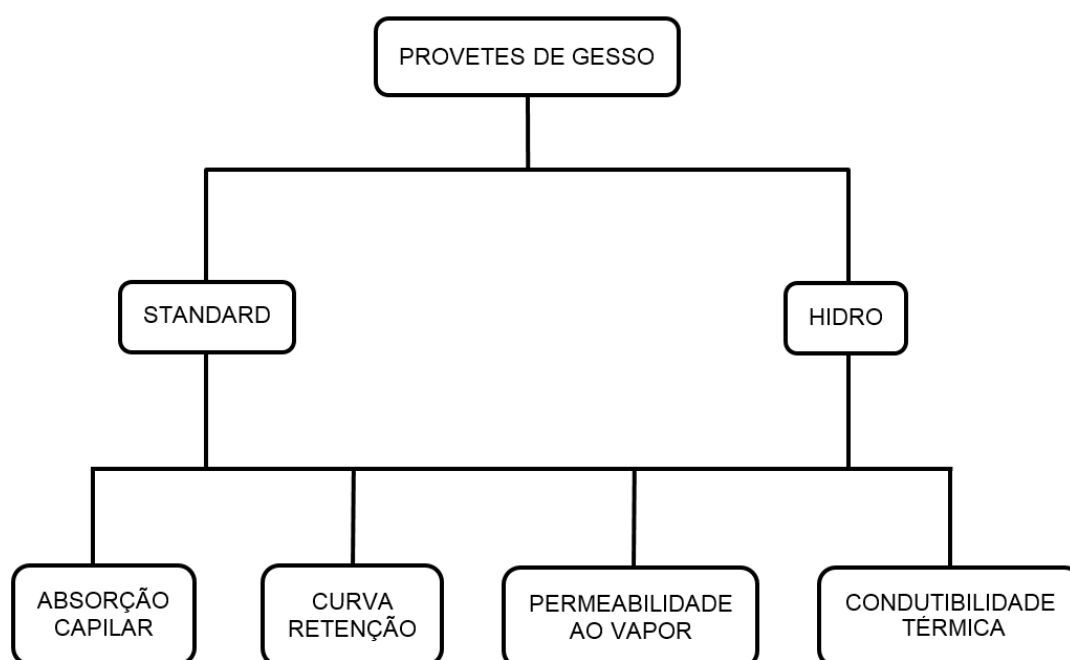


Fig. 23 - Fluxograma da primeira etapa do trabalho experimental

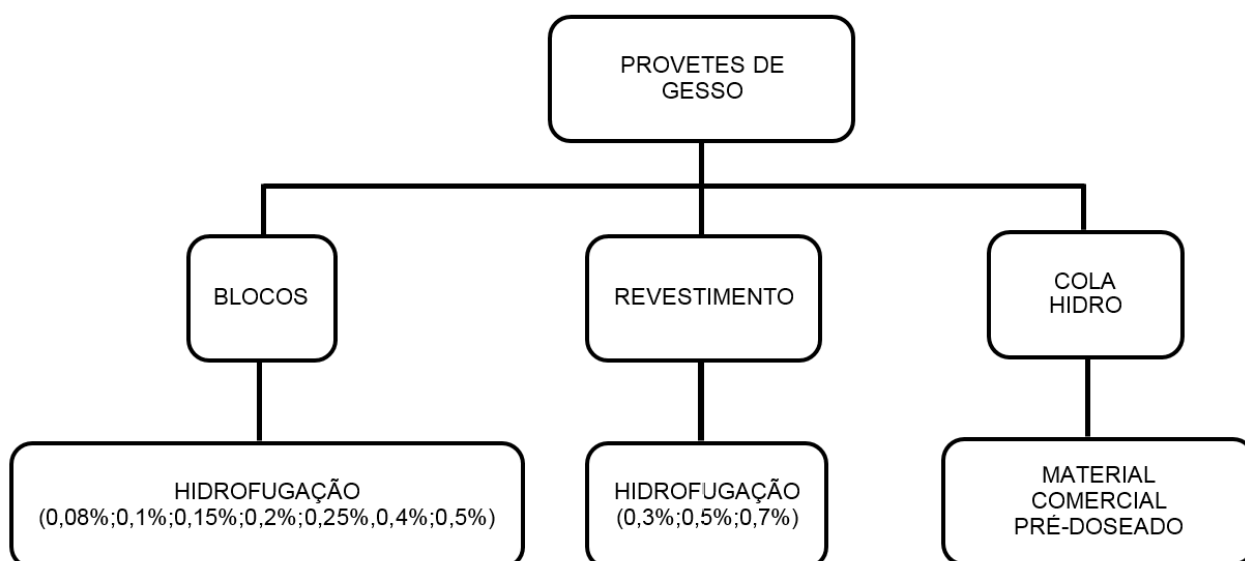


Fig. 24 - Fluxograma da segunda etapa do trabalho experimental - Absorção por Capilaridade.

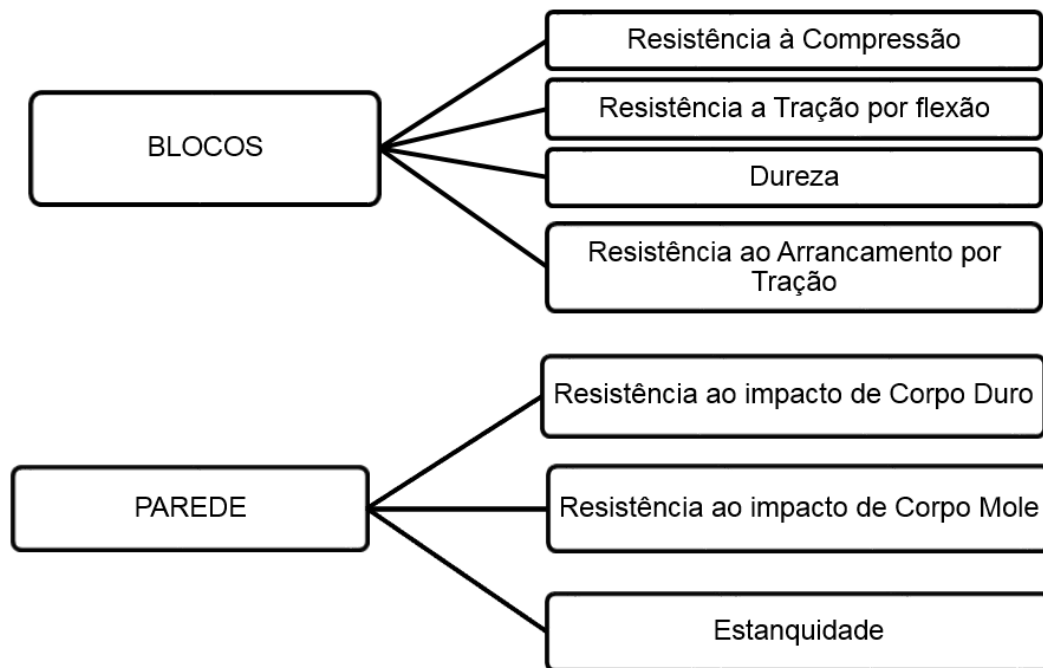


Fig. 25 - Fluxograma da segunda etapa do trabalho experimental – Blocos e Parede.

3.2. MATERIAIS E COMPONENTES

3.2.1. GESSO STANDARD PARA BLOCOS

Na composição do material para a confecção dos provetes de gesso Standard de dimensões 210x210x21mm, foram utilizados 70% do aglomerante (pó de gesso para fundição (gesso beta)) e 30% de água. Estes materiais foram misturados adicionando o pó sobre a água, sendo 2000g de pó para 1500g de água (relação a/g = 0,75), que de forma mecanizada, através de um misturador mecânico (Fig. 26), foram misturados em velocidade baixa durante 60 segundos. O ambiente do laboratório encontrava-se com temperatura de 20°C e 54% de humidade relativa. Os provetes depois de endurecidos eram desmoldados e colocados a secar ao natural.



Fig. 26 – Provetes de gesso standard e hidro.

3.2.2. GESSO HIDRO PARA BLOCOS

No intuito de encontrar um índice de absorção capilar controlado e minimizado pelo produto hidrofugante em blocos de gesso hidro, procurou-se através de uma empresa gesseira do Araripe conhecer diferentes percentagens de hidrofugação do gesso normalmente usados na construção civil.

Para tal, foram produzidos em laboratório provetes de gesso com 0,08%, 0,1%, 0,15%, 0,2%, 0,25%, 0,3%, 0,4% e 0,5% de hidrófugo. As amostras foram confeccionadas em moldes metálicos (Fig. 27) com dimensões de 40x40x160mm.



Fig. 27 - Molde metálico para fabricação de provetes e provetes de gesso para blocos hidro.

Para cada mistura foram utilizados 2000 g de pó de gesso para fundição e 1500 g de água (relação a/g = 0,75). Como produto de hidrofugação foi utilizado um silicone com propriedades repelentes da marca BLUESIL WR 68 da Bluestar Silicones, de densidade 1 kg/l e variação da adição de 0,2% a 0,5% da massa de gesso.

Cada mistura obedeceu a uma ordem de dosagem do material. Em primeiro a água, seguida do produto hidrofugante, o pó, por fim, o corante azul. A mistura foi realizada num misturador mecânico em velocidade baixa por 60 segundos, delmodados depois de endurecidos e colocados a secar ao natural.

3.2.3. GESSO HIDRO PARA REBOCO

Para realizar a hidrofugação do gesso para reboco (gesso beta), determinaram-se três diferentes dosagens de hidrófugos que permitissem conhecer os diferentes níveis de absorção do material através do ensaio de capilaridade EN 15 148-2002.

A dosagem do produto hidrofugante BLUESIL WR 68 da Bluestar Silicones está relacionada com a quantidade de massa introduzida na mistura.

Foram produzidos provetes de dimensões 40x40x160mm com percentagens de 0,3%; 0,5% e 0,7% de hidrofugante, tomando-se como parâmetro a variação de dosagem permitida pelo fabricante do produto. Para cada dosagem de 1500g de pó de gesso para reboco e 1200g de água (a/g = 0,8), a percentagem de hidrofugante para cada uma das misturas foi relativa à quantidade do pó de gesso, obtendo-se 4,5g para a amostra de 0,3%; 7,5g para 0,5% e 10,5g para 0,7% de hidrofugante respectivamente. Cada dosagem foi processada em um misturador mecânico em velocidade baixa por aproximadamente 120 segundos (Fig. 28), que depois de endurecido, foram colocados para secar ao natural.



Fig. 28 - Misturador mecânico para argamassas.

3.2.4. GESSO COLA HIDRO

No intuito de encontrar o índice de absorção capilar do gesso cola hidro utilizada na construção civil brasileira, foram analisadas duas amostras de gesso cola de dois fabricantes diferentes da região do Araripe.

Fabricada a partir de gessos e aditivos, o gesso cola quando misturado na proporção indicada (água/cola), apresenta uma consistência pastosa que permite a sua aplicação com bisnagas, espátulas ou ferramentas similares (SINAT, 2012), as características do gesso cola podem ser determinadas conforme Anexo B – Gesso Cola – especificações da diretriz SINAT 008.

Para garantir uma melhor trabalhabilidade da pasta, o ensaio foi realizado atendendo aos critérios fornecidos pelo fabricante para a ordem de colocação dos materiais e o tempo de mistura de aproximadamente 120 segundos em velocidade baixa. Foram confeccionados provetes de 40x40x160 mm, dosados na proporção (relação a/gesso cola = 0,75) em misturador mecânico e secos ao ar livre.

3.2.5. BLOCOS

Foram selecionadas duas percentagens de hidrofugante para a produção dos blocos em fábrica. A primeira dosagem, 0,1% de hidrofugação, seguiu critérios estabelecidos da fabricação de pré-moldados onde se desenvolveu o ensaio. A segunda dosagem de 0,3% de hidrofugação correspondeu a um valor superior ao normalmente utilizado.

No interior da linha de produção da fábrica, a dosagem da pasta para a fabricação de quinze (15) blocos de uma só vez, foi executada numa máquina de transmissor de pesagem da marca CEMAR 3103C, com capacidade para 1000 kg de massa pronta.

Os blocos foram produzidos na versão maciça e apresentam dimensões de 500x666x100 mm. Após cada etapa do processo de produção, eram transportados para uma câmara de secagem com temperatura variando de 85 a 98°C por um período de 24 horas, até atingir o peso no estado seco.

Para a mistura, foram adicionados para o percentual de 0,1% de hidrofugação, 447 kg de pó de gesso de fundição (gesso beta), 335 kg de água (equivalente a 75% do pó) proveniente da companhia de abastecimento local e 0,447 Kg de silicone. Enquanto para 0,3% de hidrofugação, foram 1,341kg de silicone para a mesma quantidade de pó e água, além da adição de um corante na cor azul em ambas as misturas (Fig. 29).

Após secagem, os blocos eram separados em paletes, empacotados e conduzidos aos laboratórios para avaliações técnicas. Para a realização dos ensaios com uso de blocos de gesso, foi produzido um total de sessenta (60) blocos Fig. 30.



Fig. 29 - Dosagem mecânica e confecção dos blocos hidro na linha de produção da fábrica.



Fig. 30 - Blocos em paletes e no processo de caracterização.

3.2.6. PAREDES

Após confecção dos blocos de gesso, deu-se início à construção das paredes que serviriam aos ensaios propostos pelo trabalho de investigação (Fig. 31 e Fig. 32). Foi necessária a utilização de 40 blocos, sendo 20 para 2 paredes de dimensões 1360x2600 mm para o ensaio de impactos e 20 para 4 paredes de dimensões 1200x1200 mm para o ensaio de estanquidade. Como argamassa de assentamento utilizou-se a cola de gesso hidro diluída em água (65% do pó).



Fig. 31 - Paredes para ensaio de impacto de gesso hidro.



Fig. 32 - Paredes para ensaio de estanquidade e gesso cola hidro para assentamento.

3.3. ABSORÇÃO CAPILAR

3.3.1. CONCEITOS

Grande parte dos materiais e componentes de construção apresenta porosidade por possuírem, no interior de sua massa, vazios que denominamos de poros. Pode-se definir a porosidade como sendo a razão entre o volume total de vazios e o volume total aparente do material. A porosidade pode apresentar-se de forma aberta ou fechada conforme pode ser observada na Fig. 33.

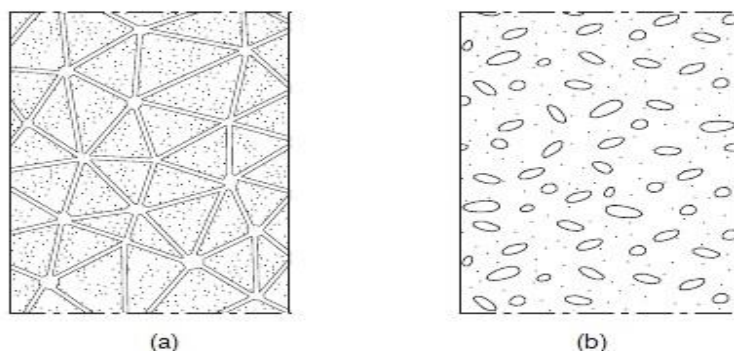


Fig. 33 - Material com porosidade aberta (a) com porosidade fechada (b) (adaptado por Freitas *et al*, 2008).

Os poros, dependendo do seu tamanho ou pela sua influência no transporte da humidade, podem ser classificados como microporos para raio inferior a $0,1\mu\text{m}$ (sem influência no transporte da humidade pelo seu tamanho reduzido), mesoporos com raio entre $0,1\mu\text{m}$ e $30\mu\text{m}$ (possibilitando o transporte da água líquida e do vapor) e macroporos que apresentam um importante papel no transporte de vapor por obter raios superiores a $30\mu\text{m}$ (Gonçalves, 2007).

A maioria dos materiais de construção apresenta porosidade aberta, como é o caso das argamassas, a pedra e o tijolo que conduzem a água por capilaridade e permitem que através de seus vazios a água possa migrar sob a forma líquida ou em vapor. Para Freitas *et al* (2008), os materiais de construção com porosidade aberta, conduzem a água por capilaridade de forma tanto maior quanto menor for o diâmetro dos poros.

O transporte de água líquida nos materiais porosos acontece fundamentalmente por capilaridade. A capilaridade corresponde a uma continuação progressiva de água através dos poros ou mesoporos capilares de um material. Essa humidificação do material pode ser observada através da Fig. 34.

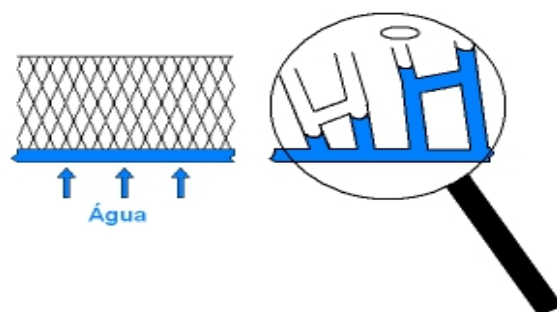


Fig. 34 - Fenômeno de capilaridade (adaptado por Freitas *et al*, 2008).

Observando o comportamento do material imerso num recipiente com água, (Fig. 35), podem-se afirmar segundo Freitas *et al*, (2008), que os materiais que se apresentam molhados pela água são chamados de hidrófilos, enquanto os que não foram molhados denominam-se hidrófugos. Se o líquido molha as paredes do tubo desenvolvendo altura superior ao do nível da tina, neste caso a superfície livre do líquido do tubo é côncava ficando o ângulo de contato da água com o material (θ) inferior a 90° . Em caso contrário, sendo o nível do líquido no capilar inferior ao da tina, permitindo uma superfície livre convexa, o ângulo de contato da água com o material será superior a 90° .

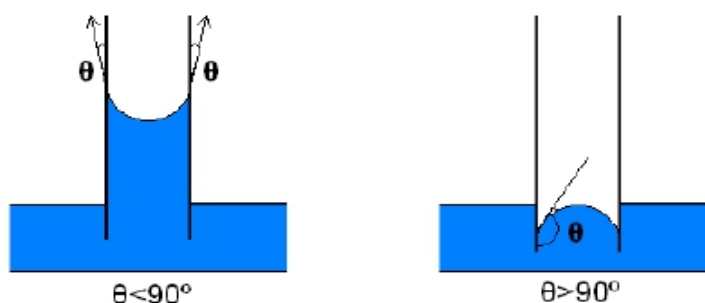


Fig. 35 - Representação de ensaios de líquidos molhantes e não molhantes em capilares (adaptado por Freitas *et al*, 2008).

São considerados molháveis pela água os materiais que constituem os elementos de construção. No caso da Fig. 35 (à esquerda), esse comportamento pode ser verificado através da ascensão da água no capilar até promover o equilíbrio.

A diferença de pressão gerada entre as fases líquidas e gasosas permite ao líquido subir no tubo, o que se denomina de pressão capilar (P_c). Esta ação funciona como uma força de sucção e o equilíbrio acontece quando as forças que causam a ascensão, são equilibradas pelo peso da coluna d'água.

Observando a Fig. 36, é possível verificar a representação do modelo teórico cilíndrico de sucção e pressão capilar.

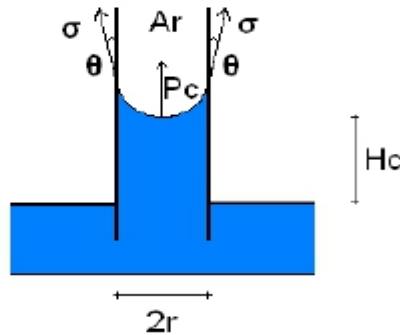


Fig. 36 - Modelo teórico cilíndrico de sucção e pressão (adaptado por Freitas *et al*, 2008).

A pressão capilar é calculada pela equação 28:

$$p_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (28)$$

Onde:

- P_c Pressão capilar (Pa) - tensão superficial entre a água e o ar [$N \cdot m^{-1}$];
 Θ Ângulo de contacto da água com o material [$^\circ$];
 r Raio do capilar [m];
 H_c Corresponde a altura da ascensão capilar [m].

Deste modo, e através da lei de Poiseuille é possível calcular ao longo de um tubo capilar, a progressão da água em função do tempo. Sendo assim determinado pela equação 29.

$$x(t) = \left[\frac{\sigma \cdot r \cos \theta}{\eta} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

sendo,

- $x(t)$ Progressão da água [m];
 η Viscosidade da água [$kg/m \cdot s$].

A aplicação direta das leis físicas que regem a capilaridades torna-se praticamente inviável devido à grande variedade de formas e dimensões de redes de poros e canais capilares na maioria dos materiais de construção.

Em casos experimentais, verifica-se que, num meio poroso, o volume total de água absorvida (em absorção vertical) pelo material na sua fase inicial é dado em função do tempo. Onde pode ser calculada através da equação 30:

$$V_a(t) = A_w \cdot t^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

Onde:

V_a Volume de água absorvida [kg/m^3];
 A_w Coeficiente de capilaridade ou absorção de água [$\text{kg/m}^2\text{s}^{1/2}$];
 t Tempo [s].

Enquanto que a altura de ascensão capilar $h(t)$ será calculada pela equação 31:

$$h(t) = B \cdot t^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

Onde:

h Altura de ascensão capilar [m];
 t Tempo [s];
 B Coeficiente de ascensão capilar em [$\text{m}^2/\text{s}^{1/2}$].

Tanto o coeficiente de absorção de água quanto o coeficiente de ascensão capilar são dois coeficientes que constituem indicadores de comportamento dos materiais de construção quando em contato direto com a água. Segundo Gonçalves (2007), dois materiais porosos podem absorver a mesma quantidade de humidade e apresentarem diferentes alturas de ascensão capilar.

3.3.2. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Para a realização dos ensaios foi seguido o procedimento definido pela norma europeia EN ISO 15148-2002 “*Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion*” (ISO, 2002).

O método laboratorial para determinação da capilaridade de acordo com a norma EN ISO 15148 requer que os provetes tenham sido estabilizados a uma determinada humidade relativa, sejam

impermeabilizados nas suas faces laterais para que se obtenha um fluxo unidirecional, em seguida mergulhados numa tina com água, mantendo sua base em água com aproximadamente 5 ± 2 mm de imersão. Obedecendo a uma escala logarítmica as pesagens são feitas nas primeiras 24 horas. Após esse tempo, as pesagens passam a serem feitas por períodos de 24 horas até à estabilidade total do material.

O coeficiente de absorção é determinado a partir da relação linear entre a variação do tempo $[\sqrt{t}]$ e a variação do peso dos provetes. Segundo a norma EN ISO 15148:2002, se não existir nenhuma relação linear, a determinação capilar será efetuada com valores registrados às 24h expresso nas unidades $\text{kg} [\text{m}^2 \text{s}^{0.5}]$.

Antes da realização do ensaio, os provetes foram condicionados para estabilização da sua massa a uma temperatura de 23°C e humidade relativa de 50%. A estabilização dos provetes considerou-se atingida quando a diferença da massa em pesagens sucessivas fosse inferior a 0,1%.

Com um material estanque à água e impermeável ao vapor, realizou-se a impermeabilização das faces laterais dos provetes com 1 camada de pintura acrílica, de modo a possibilitar a existência de apenas um fluxo unidirecional (Fig. 37).



Fig. 37 - Impermeabilização das faces dos provetes.

No momento em que se colocam os provetes em contato com a água inicia-se a cronometragem de tempo para a pesagem dos mesmos (Fig. 38). Tendo-se efetuado pesagens aproximadamente em minutos: 5, 20, 60, 120, 240, 360, 1440. Foi necessário pelo menos uma pesagem intermédio entre as 8 e às 24 horas. A precisão de pesagem dos provetes foi da ordem de $\pm 0,1\%$ de sua massa.



Fig. 38 - Imersão e pesagem dos provetes no ensaio de capilaridade.

Os provetes foram imersos em água em tina nivelada, onde ficaram em contato com a água a uma altura aproximada de 5 ± 2 mm acima da base dos provetes. Antes da pesagem dos provetes, com a ajuda de uma esponja, removem-se as gotículas de água que não foram absorvidas por capilaridade e que estão sobre a superfície dos Provetes (Fig. 39). Cada provete era pesado individualmente (Fig. 40) segundo a sua ordem de imersão, retirada e pesagem.



Fig. 39 - Provetes em imersão



Fig. 40 - Pesagem individual dos Provetes.

3.3.3. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados para a preparação da pasta incluíram uma argamassadeira mecânica composta por uma cuba metálica e uma balança FILIZOLA com capacidade máxima 3000g (Fig. 41).

Enquanto que para a dosagem de hidrofugante, utilizou-se um recipiente plástico (copo) e uma balança do tipo Martes AL 200C b com capacidade máxima de 200g (Fig. 42).



Fig. 41 - Argamassadeira mecânica e balança FILIZOLA.



Fig. 42 - Recipiente e balança para dosagem do produto hidrofugante

3.3.4. PROVETES

Numa primeira etapa da tese foram confeccionados 6 provetes para o componente gesso para bloco, sendo 3 do tipo standard e 3 do tipo hidro, com dimensões nominais de 210x210x21, em milímetros. Na segunda etapa, foram moldados 112 provetes, em quantidades iguais de 14 provetes para os teores de hidrofugação (0,08%, 0,1%, 0,15%, 0,2%, 0,25%, 0,3%, 0,4%, 0,5%) para o estudo do componente bloco. Seguidamente foram confeccionados mais 36 provetes com teores de hidrofugação 0,3%, 0,5% e 0,7%, em quantidades iguais de 12 provetes, para análise do revestimento de gesso. O mesmo procedimento serviu para a confecção de 28 provetes de gesso cola hidro, sendo 14 provetes do fabricante I e 14 do fabricante S. O gesso cola hidro utilizada no ensaio, apresenta teor de hidrofugação entre 0,2% e 0,5%, de acordo com informações do fabricante.

As dimensões nominais dos provetes na segunda etapa do trabalho foram inicialmente de 40x40x160, em milímetros, tendo sido serrados ao meio para ensaio apresentando dimensões de 40x40x80, em milímetros (Fig. 43).

Com o auxílio de um paquímetro de precisão 0,01mm (Fig. 44), foi possível medir os provetes para que se pudesse determinar a área de contato que o mesmo deveria ter com a água.



Fig. 43 - Provetes para ensaios com dimensões 40x40x160 mm e serrados com dimensões 40x40x80 mm.



Fig. 44 - Medição dos Provetes com o auxílio de um paquímetro.

3.4. CURVA DE RETENÇÃO

3.4.1. CONCEITO

Nos materiais de construção, a transferência de humidade em estruturas porosas acontece, segundo Freitas *et al* (2008), através das redes e canais capilares e seus constituintes. Isso se deve ao fato de que quando se colocam os materiais num ambiente onde a humidade relativa varia o teor de humidade desses materiais também varia. Neste caso, pode afirmar-se que estes materiais são higroscópicos.

A representação gráfica da curva de retenção evidencia, no domínio higroscópico, a correlação entre o teor de humidade de equilíbrio de um material e a humidade relativa do ambiente em que este material se encontra. Para os materiais de construção, esta representação tem a forma de S conforme mostra a Fig. 45.

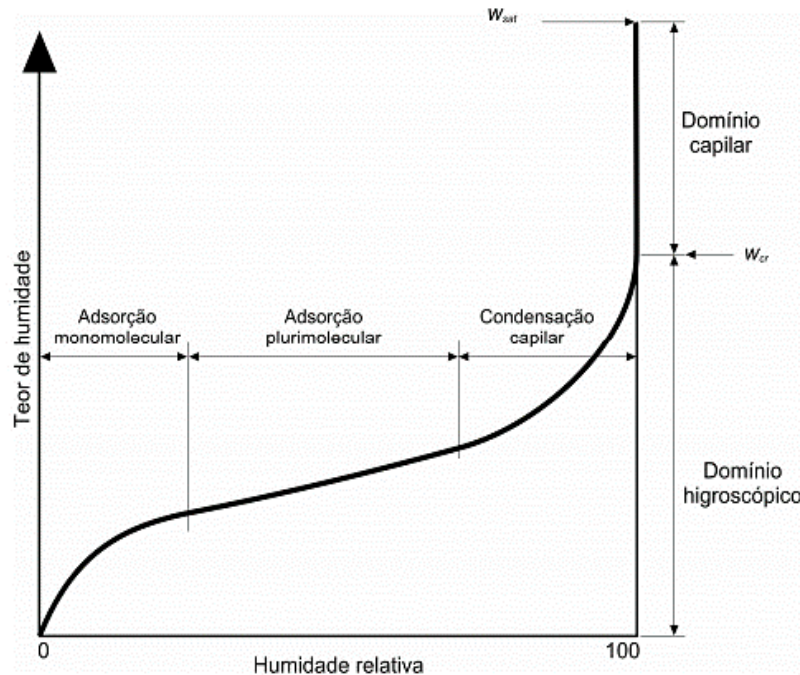


Fig. 45 - Representação da curva de retenção (Ramos, 2007).

Existem diferentes métodos e diferentes recursos para a determinação da curva higroscópica de um material. Dentre eles encontram-se os métodos alternativos tipo calorimétrico ou higrométrico e o mais utilizado em materiais de construção, o método gravimétrico.

As curvas higroscópicas determinadas através do método gravimétrico permitem uma avaliação por pesagem da massa de água inserida numa amostra levando-se em consideração a umidade relativa do ar com que esta amostra apresenta-se em equilíbrio.

A determinação da curva de retenção no domínio capilar (sobre-higroscópico) pode ser efetuada através de medições num prato de pressão.

De forma aproximada, a curva de retenção pode ser determinada a partir do teor de umidade de equilíbrio com uma ambiência de 80% de umidade relativa (W_{80}) e do teor de umidade de saturação (W_{sat}), como evidenciado em 2.4.2.1.

3.4.2. NORMA E DESCRIÇÃO DE ENSAIO

Os ensaios para determinação de W_{80} foram realizados tomando-se como referência a norma EN ISO 12 571:2000 *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties* (ISO, 2000a).

O valor é determinado por estabilização dos provetes com uma ambiência a 80% de umidade relativa e temperatura constante ($23 \pm 0,5^\circ\text{C}$). Para iniciar o ensaio, os provetes devem estar secos. O resultado do ensaio é obtido através da equação 32.

$$W = \frac{m_w - m_0}{m_0} \times \rho \quad (32)$$

Onde:

- W Teor de humidade [kg/m³];
 m_w Massa do provete em equilíbrio com a ambiência [kg];
 m_0 Massa do provete seco [kg];
 ρ Massa volúmica [kg/m³].

A humidade relativa para o ensaio foi assegurada pela câmara climática (Fig. 46).



Fig. 46 - Pesagem e condicionamento de provetes para determinação de W_{80} .

A determinação de W_{sat} baseou-se na EN 12 859 (CEN, 2008).

O ensaio consiste na determinação da diferença da massa dos provetes, antes e depois de serem submersos em água (Fig. 47). Foi considerado o valor médio de três determinações de pesagem dos provetes como valor representativo para a conclusão do ensaio. O valor é obtido a partir da equação 33:

$$W_{sat} = \frac{m_{sat} - m_0}{m_0} \times \rho \quad (33)$$

Onde:

- W_{sat} Teor de humidade de saturação [kg/m³];
 m_{sat} Massa do provete saturado [kg];
 m_0 Massa do provete seco [kg];
 ρ Massa volúmica [kg/m³].



Fig. 47 - Imersão total e pesagem dos provetes de gesso.

3.4.3. EQUIPAMENTOS

Para a determinação de W_{80} foi necessário a utilização da câmara climática tipo VOTSCH VC 4034 que permite um controle de temperatura entre -40°C e 180°C , com uma flutuação no tempo inferior a $0,3^{\circ}\text{C}$. O controle da humidade relativa permite variações entre 10% e 98%, com flutuações no tempo inferiores a 3%. Para as pesagens dos provetes, foi utilizada a balança modelo KERN 824 de precisão 0,001g.

3.4.4. PROVETES

Foram preparados 5 provetes de cada tipo de gesso (standard, hidro 0,3% hidrofugação, hidro 0,5% hidrofugação e hidro 0,7% hidrofugação) para determinação de W_{80} , com dimensões de $(100 \times 70 \times 20) \text{ mm}^3$ (Fig. 48). Para o ensaio de saturação utilizaram-se 9 provetes, sendo 3 provetes para cada teor de hidrofugação todos com dimensões nominais de $40 \times 40 \times 80$, em milímetros (Fig. 49). O teor de humidade de saturação do gesso standard foi obtido a partir do ensaio de absorção por capilaridade.



Fig. 48 – Preparação de provetes para o W_{80} .



Fig. 49 - Amostras dos provetes para ensaio de saturação (W_{sat}).

3.5. PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

3.5.1. CONCEITO

A permeabilidade ao vapor de água de um material é expressa em $\text{Kg}/(\text{m.s})$ e define-se como a quantidade de vapor que passa na unidade de tempo, em regime permanente, através da unidade de superfície de um material com espessura unitária quando a diferença de pressões de vapor entre as duas faces do material é também unitária. Segundo Lanzinha & Freitas (1998), este parâmetro depende da pressão atmosférica e da temperatura do ar, podendo ser determinada utilizando recursos de diferentes técnicas experimentais.

Para a determinação desta propriedade, existem diferentes métodos experimentais, sendo a mais utilizada o método das tinas assim determinadas:

- Método da Tina Seca ou Dry Cup – para humidade relativa entre 0 e 50%
- Método da Tina Húmida ou Wet Cup – para humidades relativas entre os 50% e 100%.

A norma europeia EN ISO 12572:2001 utiliza o método das tinas, que consiste em colocar os provetes numa tina metálica contendo um dessecante para o ensaio de tina seca a 0% de humidade relativa ou uma solução salina saturada para o ensaio de tina húmida, próximo de 100% de humidade relativa. O provete é selado na tina de ensaio e colocado numa câmara climática onde se estabelece uma humidade relativa diferente à da existente no interior da tina de ensaio. Os provetes são pesados periodicamente com a finalidade de determinar a taxa de transmissão de vapor em regime permanente (Ramos *et al*, 2009). Na Fig. 50, verifica-se o sentido do fluxo de vapor desenvolvido através do provete nos dois métodos.

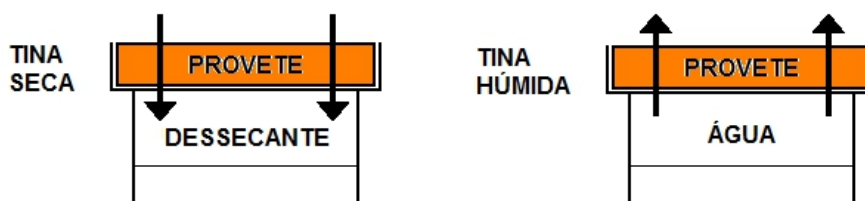


Fig. 50 - Desenho esquemático do fluxo de vapor dos métodos da tina seca e tina húmida Fonte (Ramos, 2007)

A taxa de transmissão de vapor obtida através de ensaio em regime permanente possibilita a determinação das propriedades de transmissão de vapor do material, de acordo com a Tabela 29.

Tabela 29 - Propriedade de transmissão ao vapor de água (CEN, 2000)

Propriedade	Unidade	Equação
Densidade de Fluxo de Difusão de Vapor de Água	(kg/m ² .s)	$g = \frac{G}{A}$
Permeância ao Vapor de Água	(kg/m ² .s.Pa)	$W = \frac{G}{A \cdot \Delta p_v}$
Permeabilidade ao Vapor de Água	(kg/(m.s.Pa))	$\delta_p = W \cdot d$
Permeabilidade ao Vapor de Água do Ar	(kg/(m.s.Pa))	$\delta_{ar} = \frac{0,08 \cdot p_0}{R_v \cdot T \cdot p} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81}$
Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água	(-)	$\mu = \frac{\delta_{ar}}{\delta_p}$

Segundo Svennberg e Wadso (2003), a frequente utilização do método das tinas deve-se ao fato de que sua aplicação com diferentes variantes possibilita contornar dificuldades inerentes aos tipos de materiais a serem ensaiados.

A Tabela 30 apresenta valores de permeabilidade ao vapor de água e de difusão de vapor de água de alguns materiais de construção determinados pelo método da tina seca.

Devido à sua configuração, o método das tinas é realizado em condições isotérmicas. Alguns autores como Peukhuri (2003), embora os resultados não tenham sido satisfatórios e os exemplos não tenham sido devidamente conclusivos, tentaram desenvolver métodos de ensaio onde fosse possível utilizar situações não isotérmicas de transferência de vapor.

Tabela 30 - Propriedades de transmissão ao vapor de água de alguns materiais de construção (Freitas, 1998; Ramos, 2007).

Material	δ_p Permeabilidade ao vapor [kg/(m.s.Pa)]	μ Fator de resistência à difusão [-]
Placas de Gesso Cartonado	2,0E-11	9,3
Gesso Cartonado pintado com tinta vinílica	1,1E-11	17,1
Gesso Cartonado pintado com primário e tinta vinílica	3,2E-12	60,0
Gesso Cartonado pintado com tinta acrílica	1,7E-11	11,4
Gesso Cartonado pintado com primário e tinta acrílica	3,2E-12	62,8
Gesso Projetado	1,9E-11	10,3
Gesso Projetado pintado com tinta vinílica	8,2E-12	23,4
Gesso Projetado pintado com primário e tinta vinílica	3,2E-12	59,9
Gesso Projetado pintado com tinta acrílica	1,5E-11	12,7
Gesso Projetado pintado com primário e tinta acrílica	4,1E-12	46,4
Reboco de Gesso e Cal	2,7E-11	7,3
Reboco de Gesso e Cal pintado com tinta vinílica	8,0E-12	24,6
Reboco de Gesso e Cal com primário e tinta vinílica	5,0E-12	36,8
Reboco de Gesso e Cal pintado com tinta acrílica	1,3E-11	15,4
Reboco de Gesso e Cal com primário e tinta acrílica	4,8E-12	40,8
Betão	6,3E-12	30,0
Betão celular	4,2E-11	4,4
Contraplacado	3,1E-12	60,0
Poliestireno expandido	6,3E-12	30,0

3.5.2. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

De acordo com os ensaios de determinação das propriedades de transmissão de vapor foram realizados a norma EN ISO 12572 (CEN, 2001a), aplicando-se os ensaios de tina seca e tina húmida.

Antes do procedimento do ensaio, realizou-se a estabilização inicial dos Provetes, que foram colocados em câmara climática a uma temperatura de 23°C e 50% de humidade relativa. Os provetes

ficaram acondicionados na câmara por um período suficiente para que, em seis pesagens sucessivas, a sua variação na massa fosse inferior a 5%. Os provetes foram em seguida colocados nas tinas com as respectivas soluções condicionadoras (CaCl_2 – Cloreto de cálcio dihidratado para o ensaio de tina seca e KNO_3 – Nitrato de potássio para o ensaio de tina húmida) (Fig. 51 e Fig. 52).



Fig. 51 - Soluções para ensaio de tina seca.



Fig. 52 - Soluções para ensaio de tina Húmida.

As condições dos ensaios estão descritas na Tabela 31 onde é possível observar os valores de temperatura e humidade relativa imposta aos materiais, além da forma como foram obtidos.

Tabela 31- Condições dos ensaios de transmissão de vapor.

Ensaio Gesso Standard (S) Hidro (H)	Condições normalizadas °C - %HR	Temperatura efetiva °C	Humidade relativa efetiva (%)	
			Câmara climática	Tinas de ensaio
S- Tina Seca	23-0/50	23± 0,3	50±3	0 (CaCl ₂)
S- Tina Umida	23-0/50	23± 0,3	50±3	94±0,6 (Sol. KNO ₃)
H-Tina Seca	23-0/50	23± 0,3	50±3	0 (CaCl ₂)
H-Tina Umida	23-0/50	23± 0,3	50±3	94±0,6 (Sol. KNO ₃)

Os provetes foram colocados nas tinas de forma horizontal, selados com parafina derretida, pesados e introduzidos na câmara climática (Fig. 53). Levando-se em consideração que se testaram elementos bastante permeáveis, foram adotados intervalos de 24 h registando de maneira regular a temperatura e a humidade relativa da câmara climática, para o melhor controlo das condições do ensaio.



Fig. 53 - Etapas do ensaio de permeabilidade ao vapor.

3.5.3. EQUIPAMENTO

Para o ensaio da permeabilidade ao vapor, as tinas de ensaio foram colocadas no interior de uma câmara climática modelo Vötsch VC 4034 (Fig. 54), que permite um controle de temperatura entre -40°C e 180°C, com uma flutuação no tempo inferior a 0,3°C. O controlo de humidade relativa permite

variações entre 10% e 98% com flutuação no tempo inferior a 3%. Foi também utilizada uma balança de precisão do tipo Sartorius BP 3100 s com precisão de 0,01g.



Fig. 54 – Câmara climática para ensaio.

3.5.4. PROVETES

Tendo em conta as dimensões das tinas de ensaio apresentados na Fig. 55, os provetes foram preparados para obter uma área de $(210 \times 210) \text{ mm}^2$ e uma espessura de 21 mm.

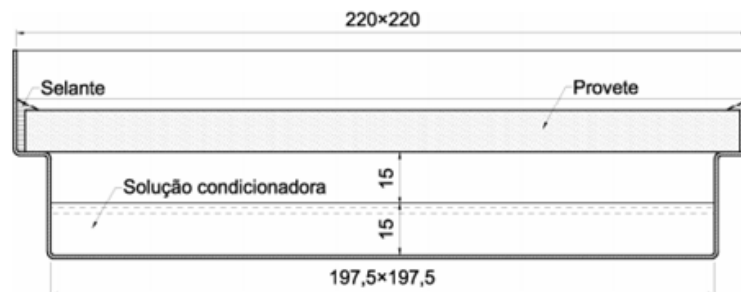


Fig. 55 - Representação da tina de ensaio (Ramos, 2008).

Foram preparadas 6 amostras de provetes do tipo Standard onde 3 dessas amostras foram utilizadas para ensaio em Tina Seca e 3 para ensaios em Tina Húmida, utilizando-se da mesma proporção para os 6 provetes do tipo Hidro.

3.6. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

3.6.1. CONCEITO

A condutibilidade térmica pode ser definida como a quantidade de calor que atravessa 1m^2 de um material, com uma espessura de 1m durante 1hora com uma diferença de 1°C , entre superfícies opostas. É uma propriedade característica de cada material, quer se apresente em estado sólido, líquido ou gasoso e o seu valor é muito influenciado pela existência de cavidades elementares, ocupadas por

ar, em materiais porosos ou alveolares, que devido a diferentes processos tecnológicos, favorecem ou não o desempenho higrotérmico do material.

O valor da condutibilidade não é normalmente constante durante toda a vida útil de um material, podendo ser alterado como consequência de fatores como a temperatura, humidade e envelhecimento (Davies 2001). A condutibilidade térmica é diretamente proporcional à área das superfícies e inversamente proporcional à distância entre elas, sendo a unidade J/s.K.m ou W/K.m.

3.6.2. NORMA E DESCRIÇÃO DE ENSAIO

A realização dos ensaios segue as instruções definidas na norma europeia EN 12664-2001 “*Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods – Dry and moist products of medium and low thermal resistance*”.

Os provetes foram previamente condicionados numa ambiência de 20° C e de 30% de humidade relativa até obtenção de massa constante. Após o condicionamento, os provetes foram envolvidos com uma película impermeável ao vapor de água (filme PVC). Os ensaios decorreram num ambiente de características próximas de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de humidade relativa.

3.6.3. EQUIPAMENTO

A medição da condutibilidade térmica foi efetuada com recurso ao método da placa quente (Guarded Hot Plate), utilizando um equipamento denominado Holometrix GHP-300, em que os provetes são sujeitos a um gradiente de temperatura (Fig. 56).

A calibração do equipamento foi realizada no LFC através da determinação da condutibilidade térmica de placas de isolante térmico padrão e o esquema de ensaio é apresentado na Fig. 57.



Fig. 56 - Equipamento Holometrix GHP-300.

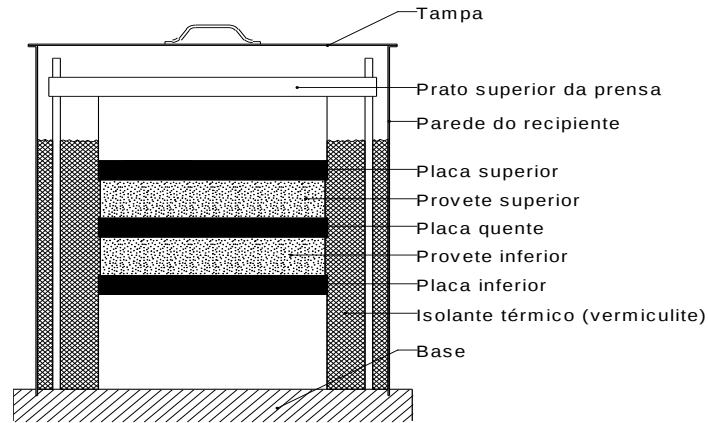


Fig. 57 - Esquema de ensaio (Ramos e Pereira, 2009).

Através da Fig. 58, podem ser observados os elementos principais que constituem o equipamento utilizado na realização do ensaio de condutibilidade.

- a) Equipamento de controle de temperaturas;
- b) Equipamento de aquisição de dados;
- c) Recipiente de ensaio de provetes;
- d) Equipamento de refrigeração.

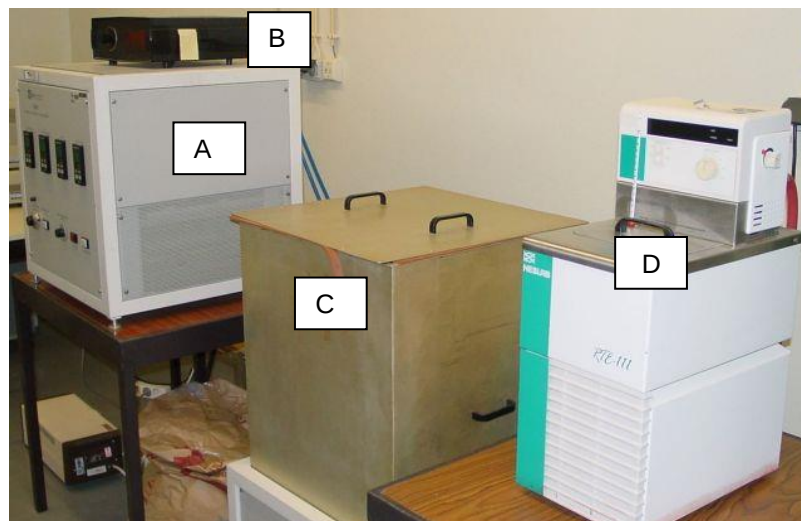


Fig. 58 - Equipamento Holometrix.

3.6.4. PROVETES

As dimensões reais dos provetes utilizados no ensaio são de 300x300x21, em milímetros (Tabela 32).

Tabela 32 - Dimensões das placas de gesso.

Amostra	Provete	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Espessura (mm)	Espessura média (mm)
Gesso Standard	S1	300	300	20,87	21,14
	S2			21,42	
Gesso Hidro	H1	300	300	20,81	21,83
	H2			22,84	

3.7. RESISTÊNCIA À FLEXÃO

3.7.1. NORMA E DESCRIÇÃO DE ENSAIO

A resistência à flexão (R_f) dos blocos de gesso foi determinada pelo método de ensaio preconizado pelo projeto de norma brasileiro ABNT PN 02:103.40-010. O esquema de aplicação de carga foi o de flexão em três pontos, os provetes foram colocados na prensa que foi programada para receber carga de compressão pontual de 100KN. Os ensaios foram realizados com controlo de deslocamento, localizado a meio vão do provete.

A velocidade de carga para os provetes moldados foi determinada de acordo com as recomendações da norma, que indica que a ruptura ocorra após um período de 45 s. A carga vertical de compressão foi aplicada por intermédio de uma viga metálica rígida apoiada em dois roletes de aço que transmitiram pontualmente a carga ao provete. A distribuição do sistema de tradução e do carregamento do ensaio está representada na Fig. 59 podendo ser calculado através da equação 34.

$$R_f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (34)$$

Onde:

- R_f Resistência à flexão [kPa];
- P Carga aplicada [kN];
- L Comprimento do vão [m];
- b Largura da secção da amostra [m];
- h Altura da secção da amostra [m].

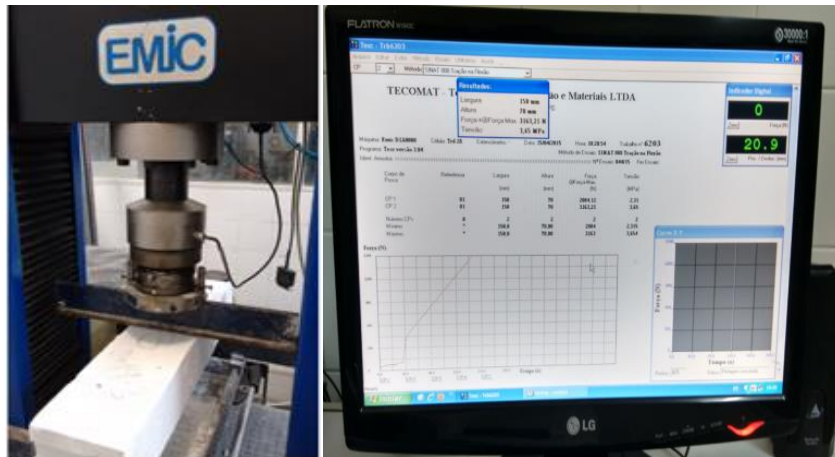


Fig. 59 - Dispositivos para o ensaio de flexão.

3.7.2. EQUIPAMENTO

Para a realização do ensaio foi utilizada uma prensa da Linha DL modelo EMIC GRO44 com capacidade máxima de 600KN, pratos paralelos e planos (Fig. 60). É uma máquina universal de ensaios, possui acionamento elétrico ou servo-controlado, mantendo precisão de 1% de carga lida, apresentando alta confiabilidade nos resultados.

Os sensores que fazem a medição de força durante o ensaio são as células de carga pontual, que podem ser trocadas de acordo com a precisão que se necessita num ensaio específico. No caso do ensaio em questão, as células utilizadas para aplicação da carga foram substituídas de 600KN para 100KN.



Fig. 60 - Prensa EMIC para ensaio de resistência à flexão.

3.7.3. PROVETES

Para a preparação dos provetes foram utilizados dois blocos de dimensões 500x666x100 milímetros. Sendo um bloco com 0,1% de hidrofugação e outro com 0,3%. De cada bloco foram retiradas 3 amostras de dimensões 150x666x100, em milímetros (Fig. 61) totalizando 6 provetes para realização do ensaio. Para evitar irregularidades nas faces dos provetes, estes foram previamente retificados.



Fig. 61 - Preparação e aplicação do provete no ensaio de resistência à flexão.

3.8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

3.8.1. NORMA E DESCRIÇÃO

A resistência à compressão das amostras de gesso foi determinada seguindo ao ABNT PN 02:103.40-010, o qual estabelece que a resistência à compressão seja determinada através da carga normal aplicada sobre a área transversal do provete remanescente do ensaio de resistência à flexão, devidamente aparelhado para receber carga normal ao seu comprimento. O valor médio dos três valores obtidos do ensaio foi calculado e expressa em MPa através da equação 35.

$$R_c = \frac{P}{b \cdot h} \quad (35)$$

Onde:

R_c	Resistência à compressão [kPa];
P	Carga aplicada [kN];
b	Largura da secção da amostra [m];
h	Altura da secção da amostra [m].

3.8.2. EQUIPAMENTO

Para o ensaio de resistência à compressão utilizou-se a mesma prensa (descrita na seção § 3.7.2), em que se determinou o ensaio de flexão. A célula de carga utilizada foi de 600KN (Fig. 62).



Fig. 62 - Prensa EMIC para 600KN servo-controlada.

3.8.3. PROVETES

Os provetes para a realização do ensaio de resistência à compressão foram retirados das amostras dos blocos remanescentes do ensaio de flexão. Das seis amostras obtidas, foram separadas 3 com 0,1% e 3 com 0,3% de hidrofugação. Totalizando 6 amostras para o ensaio de compressão. Todas as amostras apresentaram dimensões nominais de 150x333x100, em milímetros (Fig. 63).



Fig. 63 - Provete de gesso para ruptura.

3.9. DUREZA SUPERFICIAL

3.9.1. NORMA E DESCRIÇÃO

A dureza superficial é geralmente definida pela resistência que um material oferece a ser marcado por outro. O ensaio foi realizado atendendo à prescrição do PN 02:103.40-010 de blocos de gesso tomando como referência a Norma Francesa AFNOR-CENT/TC241-1991). A medida de dureza obtida no ensaio de dureza Shore corresponde à energia de deformação consumida para formar a marca na peça.

Durante o ensaio com o durómetro, ocorre à penetração de um pino que é pressionado contra a superfície rígida pela ação de uma mola sob carga padronizada. Um ponteiro move-se através de uma escala que mostra a resistência à penetração compreendida entre 0 a 100 Shore.

3.9.2. EQUIPAMENTO

O equipamento utilizado para aferir a dureza do bloco de gesso foi um durómetro marca MAINARD SHORE C – 702. Útil para evitar marcas na superfície pelo seu formato arredondado. A gama de ensaio está compreendida entre 0 a 100 Shore, com tolerância de $\pm 1\%$ (Fig. 64).



Fig. 64 - Durómetro MAINARD SHORE C.

3.9.3. PROVETES

Para a realização do ensaio foram utilizados 6 amostras de bloco de gesso hidro de dimensões 500x666x100, em milímetros, sendo 3 amostras com 0,1% de hidrofugação e 3 com 0,3%. Em cada amostra, foram avaliadas 6 durezas e considerado o valor médio de três determinações por ensaio por bloco (Fig. 65).

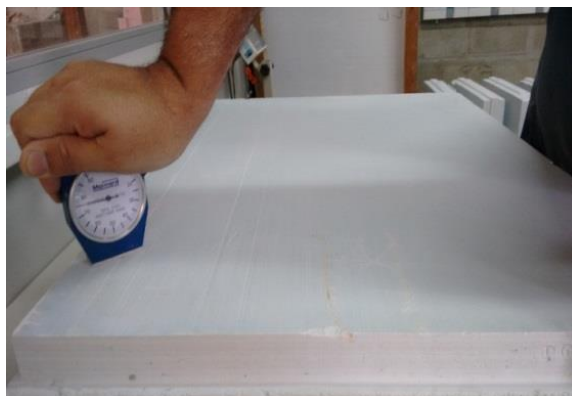


Fig. 65 - Ensaio de dureza superficial

3.10. ESTANQUIDADE

3.10.1. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Para a execução do ensaio de estanquidade, foram aplicados os procedimentos descritos no Anexo C da NBR 15575-4 (2013) (Verificação, em laboratório, da estanquidade à água de SVVE – Método de ensaio) e enquadramento em um dos níveis de desempenho.

O ensaio foi realizado em 4 paredes de gesso, com blocos hidrofugados, construídas de maneira idêntica sem tratamento em nenhuma das suas faces, sendo duas paredes com blocos com 0,1% de hidrofugação e duas com 0,3%. Os protótipos têm dimensões de 1200x1200, em milímetros, e foram assentados com a cola de gesso hidro, fornecido pelo fabricante S (Fig. 66).



Fig. 66 - Paredes de gesso hidro e gesso cola hidro.

Depois de construídas as paredes e uma vez montada a bancada experimental de cada painel, inicia-se o ensaio que prevê a molhagem contínua da parede com duração de 7 horas (Fig. 67). Durante este período, foram feitas observações em intervalos de 60 minutos, através de registros fotográficos em câmara digital.



Fig. 67 - Procedimento do ensaio de estanquidade.

A área de avaliação posicionada na face contrária à área de exposição corresponde uma área quadrada de 1.0 m² (Fig. 68).



Fig. 68 - Área de avaliação do ensaio de estanquidade

Os parâmetros analisados durante o registro foram:

- Identificação e marcação do horário de aparecimento da primeira mancha e registro e marcação das áreas húmidas a cada hora de ensaio;
- Identificações a cada hora do surgimento de bolhas e falhas na face de exposição da parede;
- Avaliação da percentagem da área manchada após 7 horas de ensaio.

3.10.2. EQUIPAMENTO E PROVETES

O equipamento para a realização dos ensaios é constituído por uma câmara de estanquidade com as seguintes características:

- Abertura em uma das faces para fixação do corpo de prova;
- Canalização com registros reguladores de água no interior da câmara que possibilite molhagem contínua em toda a face de exposição com vazão controlada de 3l/min;
- Sistema de pressão de ar, constituído por ventoinha, tubagens e registros reguladores de pressão que possibilite a aplicação de pressão pneumática uniforme até 50 Pa (50 mmca) no interior da câmara;
- Grampos de fixação da parede.

A Fig. 69 mostra o esquema de funcionamento da câmara de ensaio.

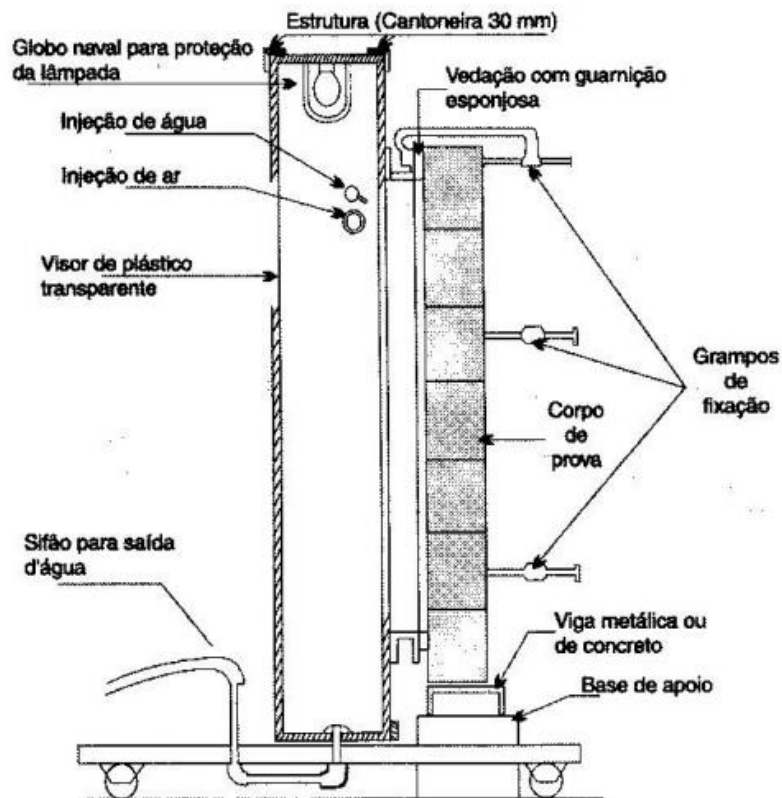


Fig. 69 - Detalhe da câmara de ensaio NBR 15575-4 (2013).

Foram utilizados blocos de gesso hidro de dimensões 666x500x100, em milímetros, com 0,1 e 0,3% de teor de hidrofugação, em 2 paredes de dimensões 1200x1200 mm cada.

3.11. ARRANCAMENTO POR TRAÇÃO

3.11.1. NORMA E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Para determinação dos valores de resistência de aderência à tração, foram feitos ensaios em laboratório, de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma brasileira NBR 14 081 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas: Parte 4 – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 2005).

Este ensaio visa determinar as condições de aderência dos elementos constituintes da parede, isto é, o grau de adesão entre as diferentes camadas que compõem o revestimento que, neste caso em particular, compreende um bloco de gesso e o gesso cola hidro.

As amostras avaliadas foram preparadas com blocos de 0,1% e 0,3% de hidrofugação e aplicada uma camada de gesso cola hidro, com espessura nos cordões da pasta de 6 mm (espessura dos dentes da desempenadeira dentada) e a seguir foram fixadas as pastilhas cerâmicas de dimensões 50mm x 50 mm (Fig. 70).



Fig. 70 - Preparação das amostras para o ensaio de aderência.

Estas amostras permaneceram 28 dias em processo de cura em ambiente de laboratório. A colagem dos dispositivos de tração foi efetuada em seguida, com uso de cola base Epoxi. Para cada ensaio realizado, foram registradas as cargas de ruptura, a dimensão efetiva do provete, e os percentuais dos tipos de ruptura (Fig. 71).



Fig. 71 – Realização do ensaio de arrancamento.

Para calcular a resistência de aderência à tração de cada amostra foi utilizada a seguinte equação 36.

$$R_a = \frac{P}{A} \quad (36)$$

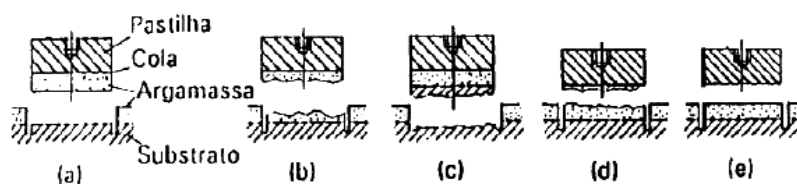
Onde:

R_a Resistência de aderência [MPa];

P Carga de ruptura [N];

A Área da superfície de ruptura [mm²].

A carga P e a área A devem ser introduzidas na expressão de cálculo em número inteiro, enquanto que os valores de resistência de aderência devem ser expressos com duas casas decimais. De acordo com a NBR14081-4 as rupturas podem ocorrer em diversos locais conforme Fig. 72.



- (a) Ruptura na interface argamassa/substrato
 (b) Ruptura no interior da argamassa de revestimento
 (c) Ruptura do substrato
 (d) Ruptura na interface revestimento/cola
 (e) Ruptura na interface cola/pastilha

Fig. 72 - Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento NBR 14 081-4 (ABNT, 2005).

3.11.2. EQUIPAMENTO E PROVETES

O equipamento utilizado na realização do ensaio é composto por:

- Placas de metal de 50 mm de lado e não inferior a 10 mm de espessura, com ligação no centro de tração.
- Adesivos à base de resina, tais como resina epóxi ou resina de metacrilato de metilo;
- Dispositivo de tração permitindo que uma força de tração seja aplicada às placas de aço, sem que o conjunto sofra uma tensão de flexão.

O dispositivo indicador deve permitir que a força de ensaio possa ser lida com uma precisão de medição de $\pm 5\%$ da carga máxima registrada.

Para realização do ensaio, foram utilizadas duas amostras de blocos de gesso hidro, uma com 0,1% e outra com 0,3% de hidrofugação. Ambas as amostras apresentam dimensões de 250x500x100, em milímetros.

3.12. RESISTÊNCIA AO IMPACTO

O objetivo principal do ensaio foi de verificar o comportamento de trechos de paredes sob ação de cargas provenientes de impacto de corpo mole e corpo duro, bem como o seu enquadramento num dos Níveis de Desempenho (M, I ou S).

Apresentam-se de seguida os requisitos de norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013):

1. Enquadramento no nível de Desempenho M (mínimo) em paredes externas (fachadas):
 - Sob a ação de impactos de corpo duro com energia de 2,5 J não apresentar falhas;
 - Sob a ação de impactos de corpo duro com energia de 10,0 J não ocorrência de ruptura e traspasse.
2. Enquadramento no nível de Desempenho I (intermediário) em paredes externas (impacto interno);
 - Sob a ação de impactos de corpo duro com energia de 2,5 J não apresentar falhas e profundidade dada moça $p \leq 2,0$ mm;
 - Sob a ação de impactos de corpo duro com energia de 10,0 J não ocorrência de ruptura e traspasse.

A avaliação foi realizada nos laboratórios da empresa TECOMAT Engenharia no estado de Pernambuco, empresa certificada pelo Instituto Nacional de metrologia no Brasil – INMETRO.

Para a realização do ensaio foram utilizadas duas paredes de dimensões 1360 x 2600 x 100 mm em alvenaria de blocos maciços de gesso hidro, sendo uma com 0,1% de hidrofugação e outra com 0,3%, conforme os requisitos da norma NBR 15575-4 – Impacto de corpo-mole nos sistemas de paredes verticais internas e externas, com ou sem função estrutural, através dos níveis de desempenho do anexo F desta norma (ABNT, 2013).

3.12.1. CORPO MOLE

Com o ensaio de resistência ao impacto de corpo mole pretende-se avaliar quais as patologias e a amplitude do deslocamento linear sofridas no trecho da parede em estudo.

O método de realização do ensaio consiste na utilização dum sistema constituído por (Fig. 73):

- Corpo Mole: Saco cilíndrico de couro, com diâmetro de aproximadamente 35 cm e 90 cm de altura; no saco cilíndrico, internamente foi depositado serragem e areia seca, com peso total de 400N (40 kg);
- Sistema pendular formado por um suporte com altura superior à da parede e um fio de aço para a sustentação do corpo mole;
- Dispositivo para registro gráfico dos deslocamentos transversais da parede;
- Régua graduada para definição das alturas de queda;
- Provete: trechos de parede do protótipo.

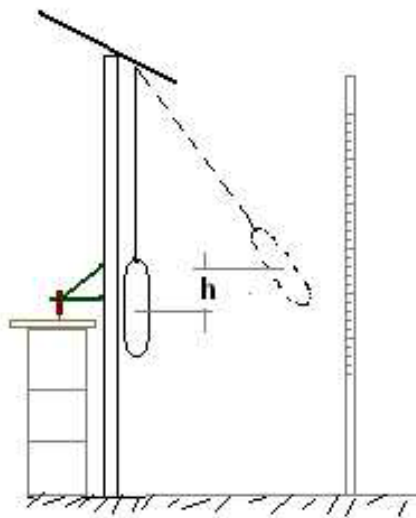


Fig. 73 - Esquema de ensaio de resistência ao impacto de corpo mole
NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O ensaio de resistência ao impacto de corpo mole foi realizado em duas paredes verticais externas, sem revestimento, fixadas num pórtico de dimensões 1360 x 2600 mm e sem aberturas (vãos de portas ou janelas). O centro de gravidade do saco foi posicionado a meia altura da parede. O processo consiste em erguer e liberar em queda livre e movimento pendular simples, um saco de couro com dimensões especificadas pela norma, preenchida com areia e material leve, e peso de 400 ± 4 N, de modo a atingir as energias de impactos de 120J, 180J e 240J. O saco foi libertado das alturas de 0,30m, 0,45m, 0,60m respetivamente.

Para a medição dos deslocamentos foram lidos, no dispositivo gráfico, valores dos deslocamentos horizontais instantâneos e residuais produzidos pelos impactos nas paredes e após cada impacto eram avaliados os danos e extensões destes na parede e nas suas interfaces com os demais elementos do sistema.

O ensaio foi realizado em laboratório e as medições dos deslocamentos foram feitas com o auxílio de um extensômetro, paquímetro e réguas. A Fig. 74 apresenta o procedimento do respectivo ensaio realizado nas paredes.



Fig. 74 - Elementos construtivos avaliados (corpo mole).

3.12.2. CORPO DURO

Os componentes de uma edificação, de acordo com a NBR 15575-4, (ABNT, 2013) não devem apresentar fissuras, escamassões, ruptura ou traspassamento ou qualquer outro tipo de danos sob a ação de impacto de corpo duro. Salvo a tolerância de ocorrências de mossas localizadas e fissuras em impactos de segurança (NBR 15575-4). Como tal, apresenta-se, de seguida, a descrição do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.

O método de ensaio consiste na utilização duma aparelhagem constituída de (Fig. 75):

- Corpo duro de grande dimensão: constituído por esfera maciça de aço, com massa de 1.0 kg;
- Sistema pendular formado por um suporte com altura superior à da parede e um fio de aço para a sustentação do corpo duro;
- Paquímetro de profundidade com resolução igual a 0,1 mm;
- Régua graduada para definição das alturas de queda;
- Provete: Trechos de parede do protótipo.

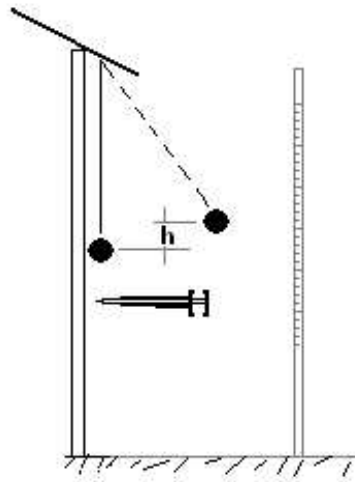


Fig. 75 - Detalhe esquemático do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro
NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro foi realizado na mesma parede em que se realizou o ensaio de corpo mole, descrita anteriormente.

Inicialmente posiciona-se a esfera maciça de aço em posição de repouso (posição esta na qual a mesma tangenciasse a superfície da parede). Em seguida, a esfera é afastada, até que seu centro de massa atinja duas alturas de queda h . Finalmente ela é solta em movimento pendular utilizando as energias de impacto especificadas à parede.

Para o ensaio, foram utilizadas duas esferas maciças de aço possuindo a primeira, peso de 0.5kg e a segunda 1.0kg. A primeira esfera foi liberada das alturas de 0,50m e 1m, em relação ao ponto de impacto, promovendo energia de impacto de 2,5J e 10J, respectivamente. A segunda esfera foi liberada da mesma altura que a anterior, promovendo as mesmas energias de impactos.

Em todos os ensaios foram realizados 10 impactos por ponto para posterior avaliação dos resultados. Apresenta-se na Fig. 76 o procedimento de ensaio realizado nas paredes.



Fig. 76 - Elementos construtivos avaliados (corpo duro).

4

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1. ABSORÇÃO CAPILAR

4.1.1. GESSO PARA BLOCOS

Na primeira etapa do trabalho após determinar a diferença entre a massa de cada pesagem e a massa inicial sobre a área de base que esteve em contato com a água, foi possível traçar os gráficos desses valores os quais foram tratados conforme a norma utilizada. Durante o procedimento do ensaio, foi possível obter a quantidade de água absorvida por unidade de superfície pelos provetes.

Ao analisar os resultados, observa-se uma diferença entre os valores obtidos da quantidade de água absorvida por unidade de superfície (Δm_t) nos provetes Hidro com relação ao Standard ao longo do ensaio. Esta diferença vai influenciar o valor do coeficiente a determinar, pois este também vai variar de provete para provete. No fim do ensaio, a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (Δm_t) obtida para os provetes Standard varia entre 75,18 e 78,64 kg/m² e para os provetes Hidro entre os 0,99 e 2,98 kg/m².

As Fig. 77 e Fig. 78, apresentam a evolução da quantidade de água absorvida pelos provetes por unidade de superfície, em função da raiz quadrada do tempo (s) e conclui-se que, o comportamento da absorção de água dos provetes do tipo Standard (S) se aproximou de uma reta, sendo classificado como um material Tipo A. No caso dos provetes do tipo Hidro, o comportamento da absorção de água aproximou-se de uma curva sendo classificado como material tipo B.

Da análise das figuras, é possível verificar que as curvas de absorção de água relativas aos provetes analisados, possuem uma evolução muito semelhante. É possível constatar as duas fases distintas do processo de absorção de água, no caso dos provetes Standard.

Também é possível verificar que nos provetes standard aos 150s^{0,5} (cerca de 3 horas), a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (Δm_t) manteve-se sensivelmente constante nos provetes até o final do ensaio, constituindo neste tempo a segunda fase do processo de absorção em análise.

A Tabela 33 e a Tabela 34 mostram o coeficiente de absorção dos provetes Standard e Hidro.

A partir dos dados, pode-se verificar que o valor médio calculado do coeficiente de absorção dos provetes tipo Standard é de $4,50 \times 10^{-1} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ ou $4500 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, sendo o desvio padrão de $1,42 \times 10^{-2}$ e que o valor médio calculado do coeficiente de absorção dos provetes do tipo Hidro é de $5,81 \times 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ ou $58,1 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$, sendo o respectivo desvio padrão de $3,77 \times 10^{-3}$.

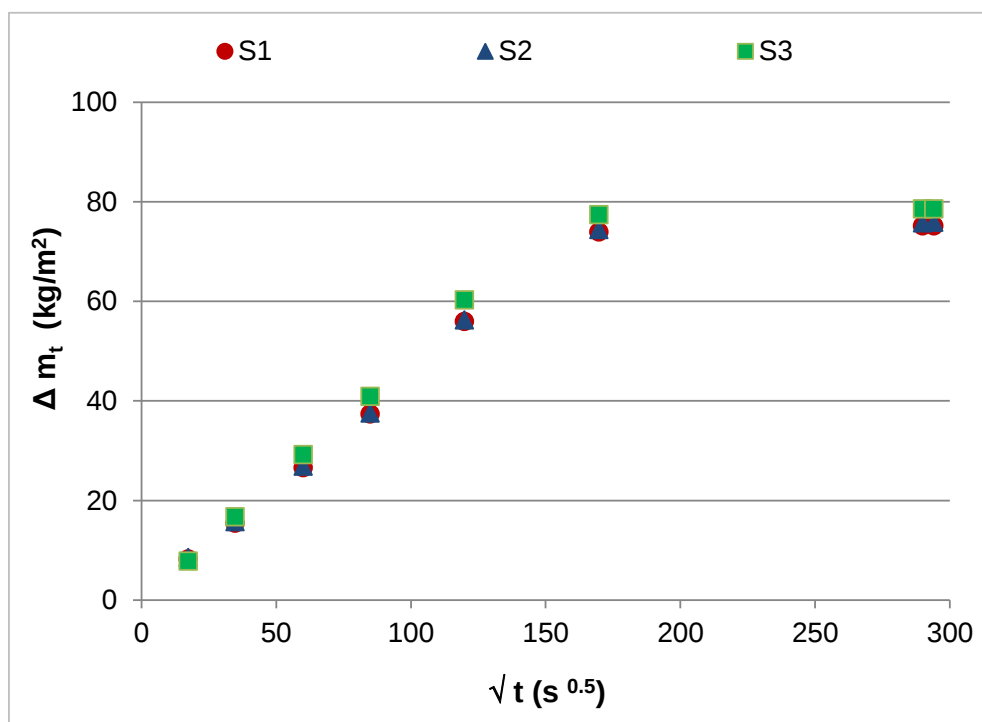


Fig. 77 - Curva de absorção de água por capilaridade nos provetes Standard.

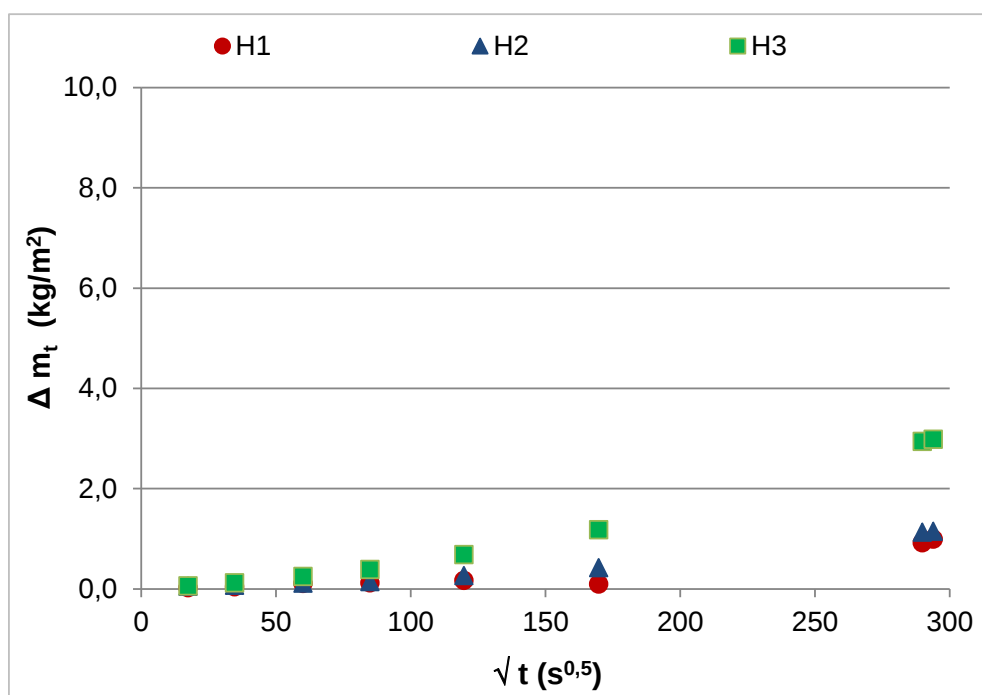


Fig. 78 - Curva de absorção de água por capilaridade nos provetes Hidro.

Tabela 33 - Coeficiente de absorção dos provetes Standard.

Provete	Coeficiente de Absorção - A_w (kg/(m ² .s ^{0,5})) – Tipo A
S1	4,41E-01
S2	4,42E-01
S3	4,66E-01
Média	4,50E-01
Desvio Padrão	1,42E-02

Tabela 34 - Coeficiente de absorção dos provetes Hidro.

Provete	Coeficiente de Absorção - A_w (kg/(m ² .s ^{0,5})) – Tipo B
H1	3,36E-03
H2	3,92E-03
H3	1,02E-02
Média	5,81E-03
Desvio Padrão	3,77E-03

Segundo a classificação dos materiais a partir do valor de absorção, conforme a Norma DIN 52.617 (Tabela 35) verifica-se que o coeficiente de absorção do gesso tipo Standard classifica-se como sendo de “Sucção Rápida” enquanto a do gesso Hidro tem classificação como sendo “Quase Impermeável”.

Tabela 35 - Classificação de materiais quanto à absorção de água segundo a norma DIN 52.617(1987).

A_w	Classificação
$A_w > 333 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	Sucção rápida
$A_w < 333 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	Preventivo contra a água
$A_w < 83,3 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	Quase impermeável
$A_w < 0,167 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	Impermeável

Ao calcular os coeficientes de difusividade hídrica para todos os provetes de gesso analisados obtiveram-se os seguintes valores indicados na Tabela 36. A média destes valores corresponde a um D_w médio de 1,40E-06 m²/s para o gesso Standard e 8,67E-10 m²/s para o gesso Hidro.

Tabela 36 - Resultados de Dw no gesso analisado.

Material	Awmédio (kg/m ² s ^{0,5})	Wcap médio (kg/m ³)	Dw médio (m ² /s)
GS	4,50E-01	3,55E+02	1,40E-06
GH	5,81E-03	7,82E+00	8,67E-10

Analisando os resultados obtidos dos coeficientes de difusividade hídrica dos elementos construtivos em estudos, verifica-se que o gesso standard apresenta uma difusividade hídrica superior, em oposição ao gesso hidro que é bastante menor.

Na segunda etapa do trabalho, apresenta-se a curva de absorção de água ao longo do tempo de cada um dos provetes com diferentes teores de hidrofugação. Apresenta-se o coeficiente de absorção médio dos materiais para teores de hidrofugação de 0,08%, 0,1%, 0,15%, 0,2%, 0,25%, 0,3%, 0,4% e 0,5%, observando o comportamento de cada dosagem no interior das amostras (Fig. 79).

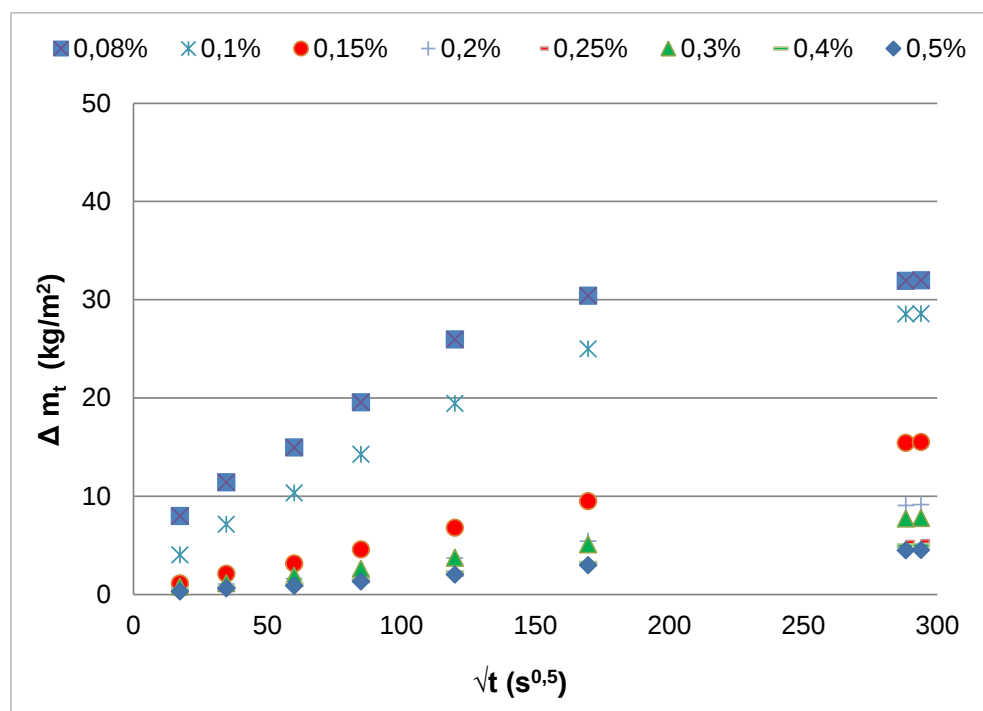


Fig. 79 - Curva de absorção de água por capilaridade nos provetes para blocos com diversos teores de hidrofugação.

Observando a Fig. 79, verifica-se a evolução da quantidade de água absorvida pelos provetes por unidade de superfície em função da raiz quadrada do tempo (s) e conclui-se que, o comportamento da absorção de água dos provetes hidrofugados para blocos de gesso se aproximaram de uma reta. Sendo, portanto, classificado através da EN 15148 como um material do Tipo A.

Vale salientar que, as amostras de blocos com percentuais de 0,08 e 0,1 de hidrofugação apresentaram água sobre sua superfície superior (água no topo), diferentemente dos percentuais (0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4 e 0,5), que não apresentaram água em sua superfície.

É possível verificar ainda, que as curvas de absorção de água relativas aos provetes de blocos possuem uma evolução muito semelhante. No entanto, podem-se constatar duas fases distintas do processo de absorção de água entre os blocos tipo Hidro e tipo Standard (visto no início dos trabalhos).

Neste sentido, apresenta-se na Tabela 37 o coeficiente de absorção dos provetes para blocos de gesso quanto ao teor de hidrofugação, bem como a classificação quanto à absorção de água segundo a norma DIN 52.617 anteriormente detalhadas (DIN, 1987).

Tabela 37 - Coeficiente de absorção dos blocos.

Proвете/Teor de hidrofugação	Coeficiente de absorção - A_w (kg/(m ² .s ^{0,5}) – Tipo A- B	Desvio padrão	Classificação DIN 52 617
Standard	4,50E-01	1,42E-02	Sucção rápida
0,08%	1,54E-01	9,37E-03	Sucção rápida
0,1%	1,38E-01	9,74E-03	Sucção rápida
0,15%	5,27E-02	4,27E-03	Sucção rápida
0,2%	3,18E-02	1,05E-02	Prev. contra água
0,25%	2,53E-02	1,01E-03	Prev. contra água
0,3%	1,84E-02	8,03E-03	Prev. contra água
0,4%	1,70E-02	7,94E-03	Prev. contra água
0,5%	1,55E-02	6,94E-03	Prev. contra água

De acordo com os dados, é possível observar quanto à classificação dos materiais que:

- Tendo em conta o coeficiente de absorção dos blocos hidro com teores de hidrofugação inferiores a 0,2%, classificam-se como sendo de “Sucção Rápida”, igualmente aos blocos Standard;
- Os blocos hidro com teor de hidrofugação igual ou superior a 0,2% apresentam-se “Preventivos contra água”, visto que $A_w < 333 \times 10^{-4}$.

4.1.2. GESSO PARA REVESTIMENTO

Nesta fase é apresentada a curva de absorção de água ao longo do tempo de cada um dos provetes com diferentes teores de hidrofugação do gesso para revestimento. Através do cálculo da média dos valores parciais do coeficiente de absorção de água, obtém-se o valor dos coeficientes de absorção dos materiais com 0,3%, 0,5% e 0,7% de hidrofugação.

Com a determinação da absorção capilar de cada um dos provetes, foi possível traçar o gráfico da curva de absorção e observar o comportamento de cada dosagem no interior das amostras (Fig. 80).

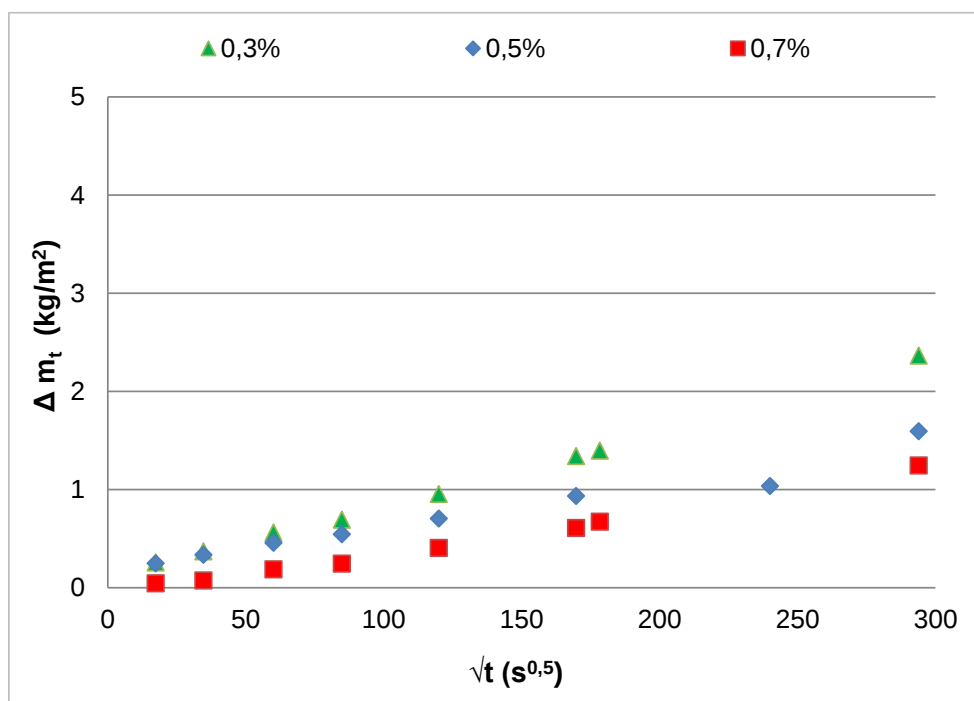


Fig. 80 - Curva de absorção de água nos Provetes para revestimento

Através da análise da Fig. 80, foi possível quantificar o coeficiente de absorção dos provetes quanto ao teor de hidrofugação, bem como o classificá-lo quanto à absorção de água segundo a DIN 52.617 (Tabela 38).

Tabela 38 - Coeficiente de absorção do gesso para revestimento.

Proвете/Teor de hidrofugação	Coeficiente de absorção - A_w ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$) – Tipo A- B	Desvio padrão	Classificação DIN 52 617
0,3%	7,57E-03	2,03E-03	Quase impermeável
0,5%	4,37E-03	1,34E-03	Quase impermeável
0,7 %	3,91E-03	2,43E-03	Quase impermeável

Nota-se quanto à classificação DIN 52 617 que o gesso para revestimento em todos os percentuais de hidrofugação, classifica-se como sendo “Quase impermeável” visto que $A_w < 83,3 \times 10^{-4}$.

4.1.3. GESSO COLA

Observando a evolução da quantidade de água absorvida pelas amostras do gesso cola hidro, conclui-se que, o comportamento da absorção de água dos provetes se aproximou de uma reta. Sendo, portanto, classificado através da norma como um material do Tipo A.

A Fig. 81 apresenta o gráfico da curva de absorção capilar do gesso cola e detalha o comportamento da dosagem de hidrofugante inserido no interior das amostras.

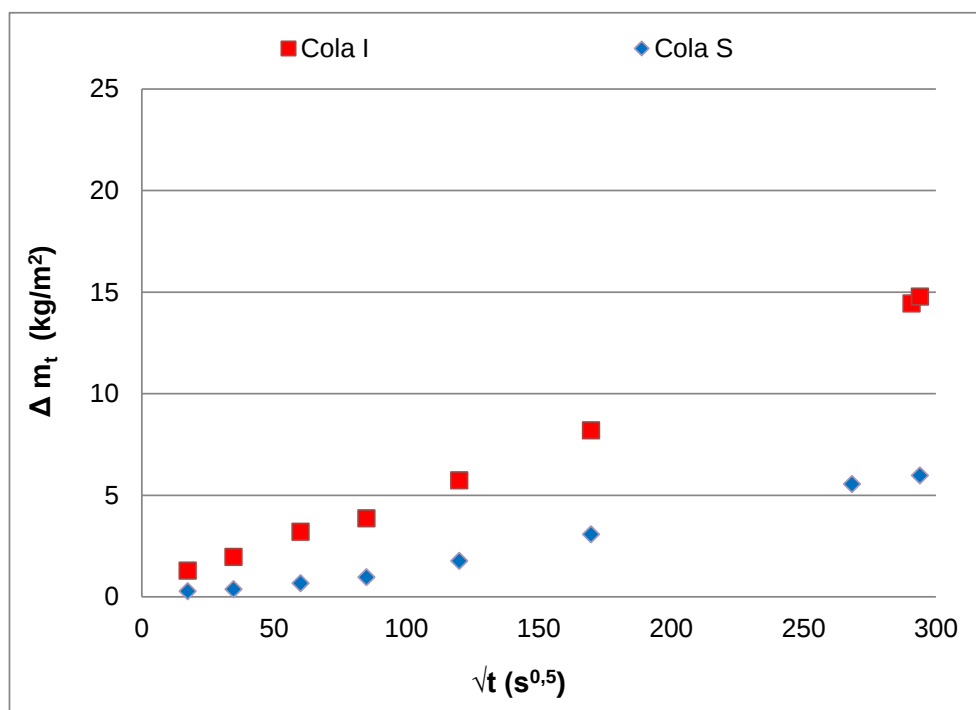


Fig. 81 - Curva de absorção de água nos provetes para o gesso cola.

Observando a Fig. 81, verifica-se que as curvas de absorção de água relativa aos provetes de gesso cola hidro possuem evolução semelhante. Entretanto, a amostra do gesso cola do fabricante (S), apresenta um melhor desempenho relativamente ao fabricante (I).

Neste sentido, apresentam-se na Tabela 39 os coeficientes de absorção de água por capilaridade dos provetes para o gesso cola, quanto ao teor de hidrofugação, bem como a classificação segundo a norma DIN 52.617.

Tabela 39 - Coeficiente de absorção do gesso cola.

Provete/Teor de hidrofugação	Coeficiente de absorção - A_w ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$) – Tipo A- B	Desvio padrão	Classificação DIN 52 617
I	4,43E-02	1,25E-02	Sucção rápida
S	2,12E-02	5,62E-03	Preventivo contra água

Deste modo, conclui-se que a absorção da cola de gesso Hidro produzida pelo fabricante (I) classifica-se como de “Sucção rápida”, enquanto que a cola do fabricante (S) apresenta-se “Preventivo contra água”.

4.1.4. ANÁLISE COMPARATIVA

Neste sentido, fez-se uma análise comparativa da absorção da água dos blocos de gesso e do revestimento para os diversos teores de hidrofugação.

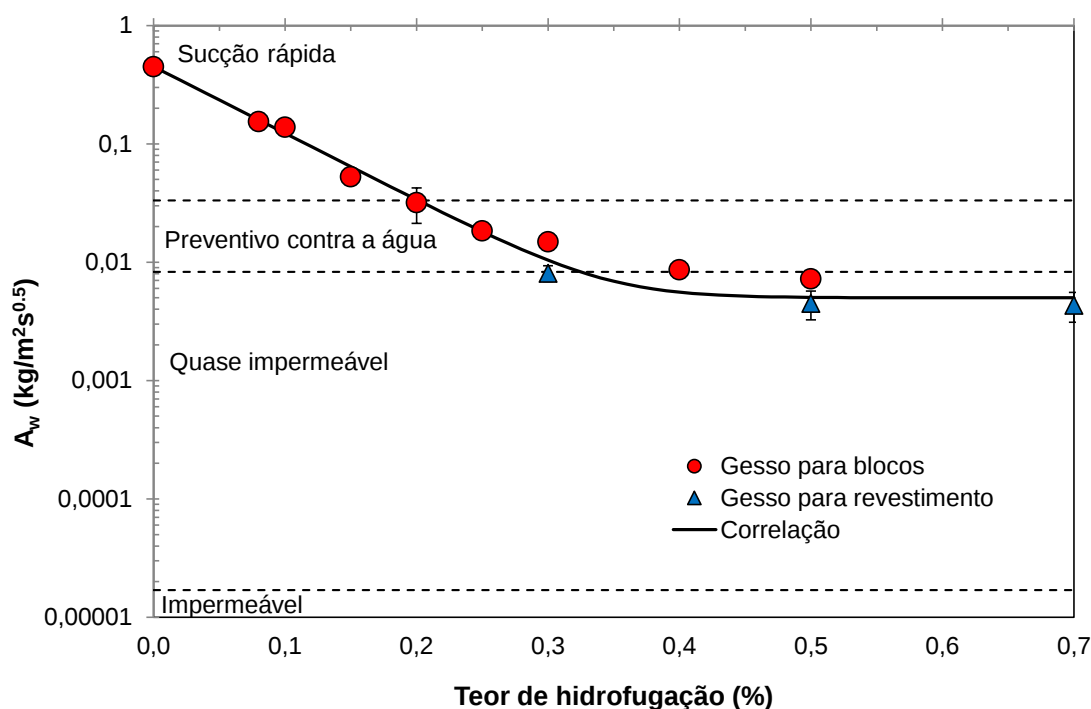


Fig. 82 – Análise comparativa da absorção de água por capilaridade para os diferentes tipos de gesso para bloco e para revestimento.

Verifica-se que tanto o gesso para blocos como o gesso para revestimento apresenta na melhor das situações um comportamento quase impermeável, não se classificando para nenhum dos teores de impermeabilização como sendo impermeável. Apesar da quantidade das amostras ser diferente para cada tipo de gesso, constata-se que para teores de hidrofugação semelhantes o coeficiente de capilaridade é também semelhante, sendo ligeiramente inferior no gesso para revestimento.

Percebe-se ainda, que qualquer valor de teor de hidrofugação inserido na pasta de gesso inferior a 0,2% admite elevada absorção por capilaridade, classificando o material como de sucção rápida, podendo vir a comprometer o comportamento do material quanto à quantidade de teor de humidade. Nesta gama de teores de hidrofugação a variação do coeficiente de absorção capilar é considerável. No entanto, para teores de hidrofugação superiores a 0,3%, o coeficiente de capilaridade apresenta coeficientes com menor variação, prevendo-se uma estabilização do mesmo.

4.2. CURVA DE RETENÇÃO

Para determinar a curva de retenção utilizaram-se os resultados do ensaio de determinação da curva higroscópica (o qual permite obter o teor de humidade de referência) e do ensaio de saturação, no qual se obteve o teor de humidade de saturação.

Para determinar o teor de humidade de referência, a 80% de humidade relativa, utilizaram-se provetes dos diferentes materiais, sendo colocado em simultâneo na câmara climática, que permite assegurar a estabilidade das diferentes ambiências, e pesados de 24 em 24 h, até atingirem o respetivo ponto de equilíbrio. Após apresentarem massa constante, que conforme o referido acontece quando a variação da massa de três pesagens consecutivas realizadas, pelo menos de 24 em 24 horas, é inferior a 0,1 %

da sua massa total, param-se as pesagens e determina-se o teor de humidade em kg de água/kg de material.

Relativamente à determinação do teor de humidade de saturação, este estudo contemplou a avaliação dos provetes de gesso de dimensões nominais de 40x40x80 mm, sob efeito da água por meio da imersão total, sendo apresentados os resultados na Tabela 40.

Tabela 40 – Teor de humidade de saturação obtido nos provetes de gesso, com diferentes teores de hidrofugação.

Teor de hidrofugação	Provetes	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (kg/kg-%)
0,3%	H1	128,72	144,46	12,23
	H2	126,94	143,65	13,16
	H3	130,48	148,44	13,76
0,5%	H1	131,82	140,92	6,90
	H2	132,91	142,03	6,86
	H3	131,98	141,35	7,10
0,7%	H1	127,72	131,08	2,63
	H2	129,76	134,87	3,94
	H3	130,56	133,03	1,89

Através da Fig. 83, é possível observar graficamente, o comportamento evolutivo do teor de saturação de cada uma das amostras de gesso analisadas, que, tal como expectável, apresenta uma diminuição do teor de humidade por saturação em função do aumento do teor de hidrofugação do gesso.

Após 24 horas de ensaio, os provetes apresentaram valores médios de absorção de água de 13,05 kg/kg-%, 6,95 kg/kg-% e 2,82 kg/kg-%, para os provetes com teores de hidrofugação de 0,3%, 0,5% e 0,7% respetivamente.

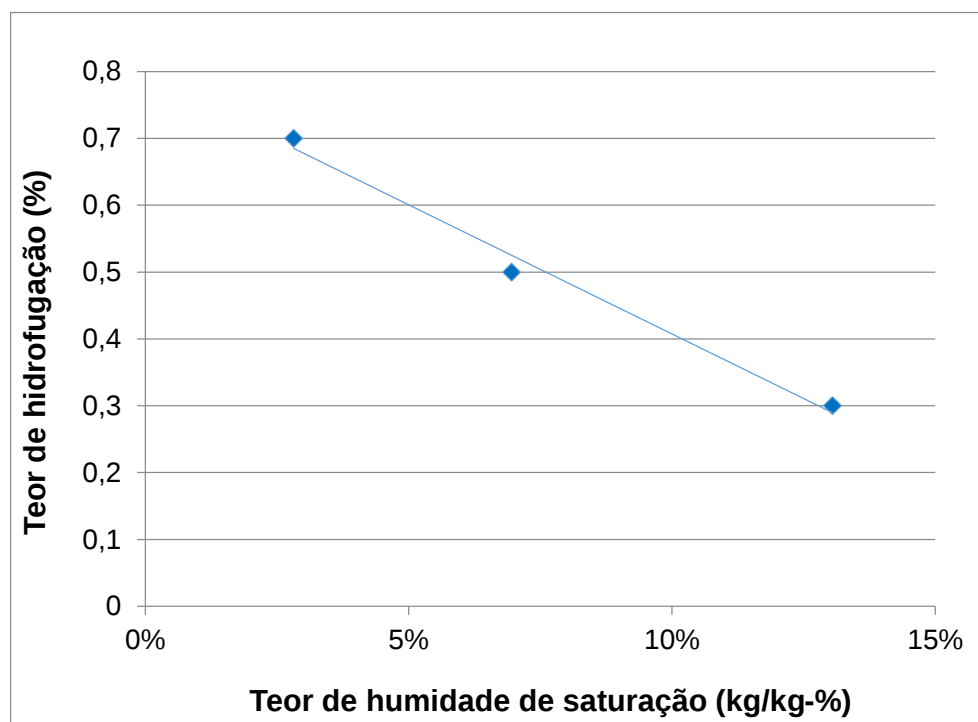


Fig. 83 - Teor de umidade de saturação.

Apresenta-se na Tabela 41 o teor de umidade de referência (w_{80}) e o teor de umidade de saturação (w_{sat}) obtidos através dos ensaios anteriormente descritos.

Tabela 41 – Teor de umidade de referência e de saturação para diferentes tipos de blocos de gesso.

Material	w_{80} (kg/m ³)	w_{sat} (kg/m ³)
Gesso para bloco Standard	10,80	355,00
Gesso para bloco com 0,3% de hidrofugante	5,25	137,13
Gesso para bloco com 0,5% de hidrofugante	4,73	73,05
Gesso para bloco com 0,7% de hidrofugante	4,20	29,55

Na Fig. 84 apresentam-se graficamente os resultados dos referidos ensaios para os materiais selecionados.

Verifica-se que o comportamento do gesso standard fica muito comprometido, quando saturado, em comparação com o teor de umidade obtido para o valor de referência. Para esse mesmo valor de referência, de 80% de umidade relativa, constata-se que os teores de umidade são muito semelhantes nos diversos gessos analisados, sendo sempre superior para o gesso standard. No entanto, para os blocos saturados, observa-se a influência do teor de hidrofugação, aumentando o teor de umidade dos blocos quando diminui o teor de hidrofugação. Para os teores de 0,3% e 0,5% a

diferença observada é pequena, quando comparando com o teor de 0,7%. Salienta-se, ainda, que, com um teor de hidrofugação de 0,3% se obtém uma diminuição do teor de humidade nos blocos de cerca de 60%.

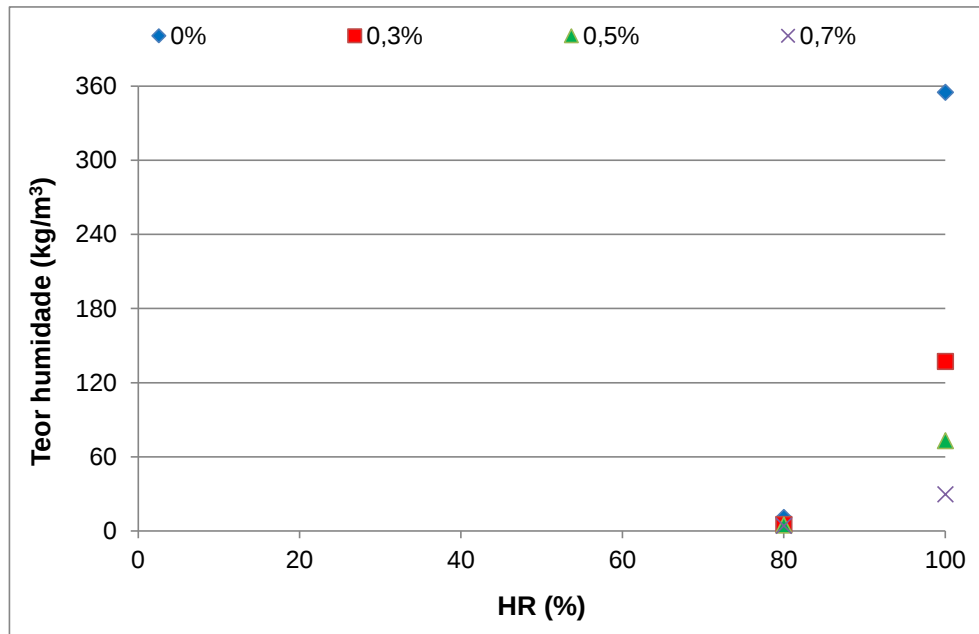


Fig. 84 – Teor de humidade de referência e teor de humidade de saturação, em provetes de gesso para blocos.

4.3. PERMEABILIDADE AO VAPOR

Após cumprir os critérios determinados pela norma, foi possível encontrar valores que caracterizam as propriedades de transmissão de vapor, sobre cada provete. Neste caso, os resultados dos ensaios de permeabilidade ao vapor, podem ser observados nas Fig. 85 e Fig. 86.

Como parâmetro de caracterização optou-se por utilizar o fator de resistência ao vapor (μ), para facilitar a análise dos resultados. Em cada gráfico foram agrupados os resultados encontrados em cada uma das amostras levando-se em consideração que durante o ensaio a média dos valores da humidade relativa no interior do provete, foi usada como abcissa para a representação dos resultados no gráfico, sendo para tina seca 25% e para tina húmida 71,5%, aproximadamente.

Dos gráficos apresentados, conclui-se que:

- Os valores médios do fator de resistência à difusão para os blocos Standard estão na ordem de 8,94 para tina seca e 6,34 para tina húmida, enquanto para os blocos hidro é de 15,58 e 10,59 respectivamente para as tinas secas e tinas húmidas.
- Quanto maior a humidade relativa menor é o fator de resistência à difusão nos materiais de gesso Standard e Hidro.
- Os blocos de gesso Standard, em função da humidade relativa, apresentam menor resistência à difusão quando comparado com os fatores de resistência dos blocos Hidro.
- A média da resistência à difusão dos blocos hidros para tina seca, é aproximadamente duas vezes maior que a média da resistência à difusão dos blocos Standard.
- Há uma dispersão nos valores do fator de resistência à difusão na amostra de gesso hidro de número 3 na ordem de aproximadamente 2 valores.

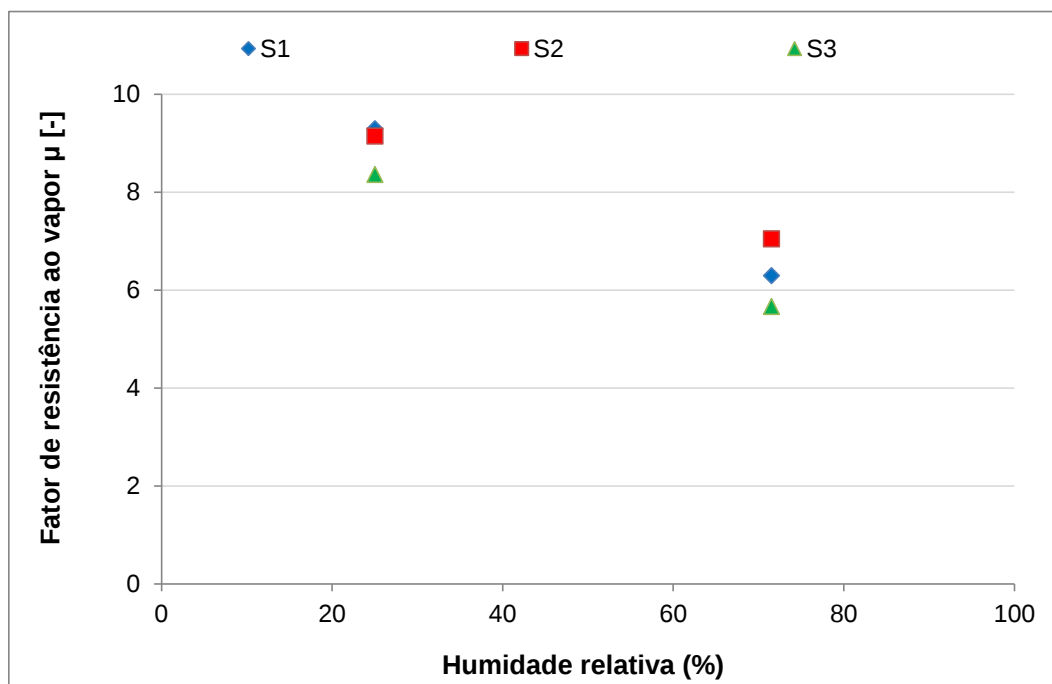


Fig. 85 - Fator de resistência ao vapor de água do gesso Standard.

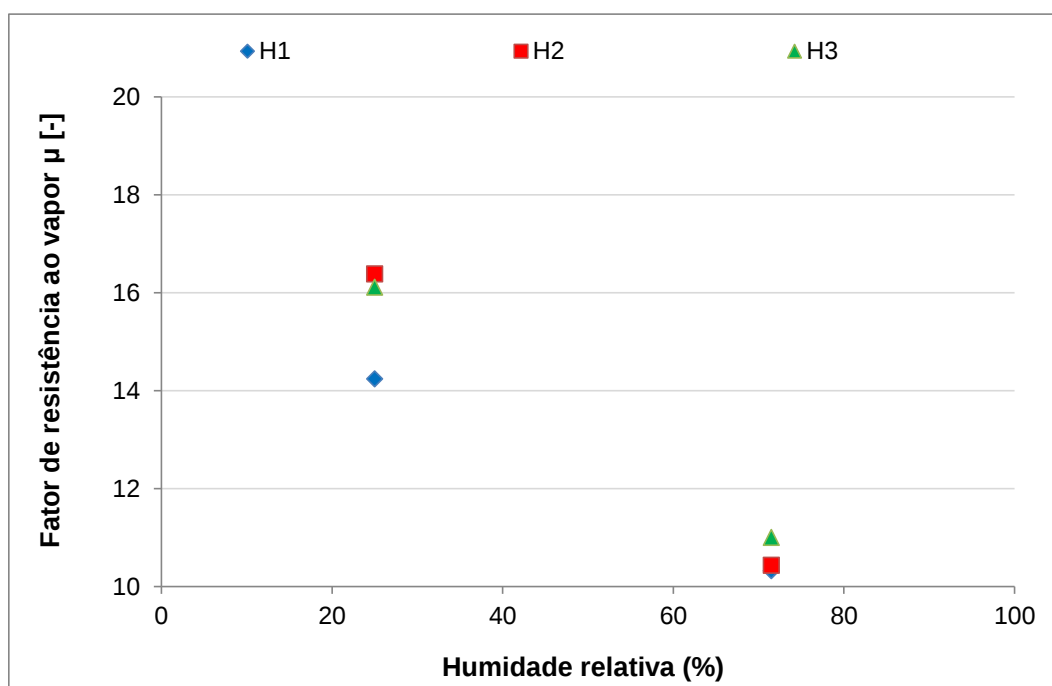


Fig. 86 – Fator de resistência ao vapor de água do gesso Hidro.

4.4. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Na Tabela 42, apresentam-se os valores resultantes do ensaio de determinação da condutibilidade térmica dos provetes de gesso tipo Standard (S) e tipo Hidro (H).

Tabela 42 - Condutibilidade térmica do gesso tipo Standard e do tipo Hidro.

Amostra	Proвете	Massa Volúmica aparente após Secagem (kg/m ³)	Tmédia da amostra (°C)	ΔT entre faces da amostra (°C)	Densidade de fluxo de calor (W/m ²)	ΔMassa durante ensaio (g)	Condutibilidade térmica (W/m.°C)
S	S1 S2	1080,95	19,26	19,20	12,038	0,05	0,2847
H	H1 H2	1134,48	19,33	19,24	12,037	0,40	0,2814

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a condutibilidade térmica dos materiais resultantes dos ensaios dos provetes de gesso Standard (S) ($\lambda = 0,2847$) e de gesso Hidro (H) ($\lambda = 0,2814$) é idêntica e da ordem de 0,28. Este coeficiente, no caso específico do gesso, varia com a humidade e com a densidade do material hidratado e seco. Segundo Peres et al (2001), a condutibilidade térmica do gesso é da ordem de 0,25 W/m°C a 0,50 W/m°C. Verifica-se através dos resultados obtidos que os materiais analisados encontram-se entre estes valores.

4.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Apresenta-se na Fig. 87 o resultado visual obtido após o ensaio de resistência à compressão de blocos hidro.



Fig. 87 – Resultado visual do ensaio de determinação de resistência à compressão.

Apresenta-se na Tabela 43 e na Fig. 88 os valores médios e desvio padrão obtidos no referido ensaio.

Tabela 43 - Valores médios da resistência à compressão dos blocos de gesso.

Teor Hidrofugação	Provete			Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
	1	2	3		
0,1 %	4,40	5,70	6,70	5,60	1,15
0,3 %	4,60	4,70	4,70	4,67	0,06

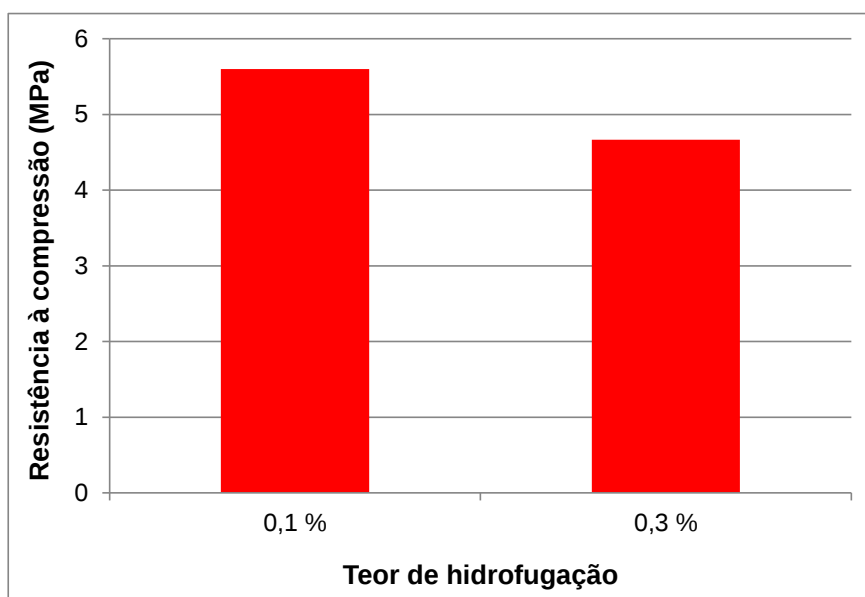


Fig. 88 - Resultados do ensaio de resistência à compressão dos blocos de gesso Hidro.

A média das amostras do bloco com teor de hidrogugação de 0,1% apresentou maior resistência à compressão que a encontrada para os blocos com teor de hidrofugação de 0,3%, com valores de 5,6 MPa no bloco A e de 4,7 MPa no bloco B. Entretanto, ambas as amostras encontram-se em conformidade com o projeto de norma brasileiro PN. 02: 013-40-010 que estabelece para os blocos de gesso resistência à compressão entre 4,5 e 5,5 MPa.

4.6. RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Apresenta-se na Fig. 89 o resultado visual obtido após o ensaio de resistência à flexão de blocos hidro. Apresenta-se na Tabela 44 e na Fig. 90 os valores médios e desvio padrão obtidos no referido ensaio.

A média das amostras do bloco com teor de hidrofugação de 0,3% apresentou maior resistência à flexão que a encontrada para os blocos com teor de hidrofugação de 0,1%, com valores de 1,9 MPa e de 1,7 MPa, respetivamente. Neste caso, os resultados apresentados não se enquadram no estabelecido pelo projeto de norma brasileiro, o qual admite valores de resistência à flexão dos blocos de gesso com valores entre 2,0 e 3,0 MPa.

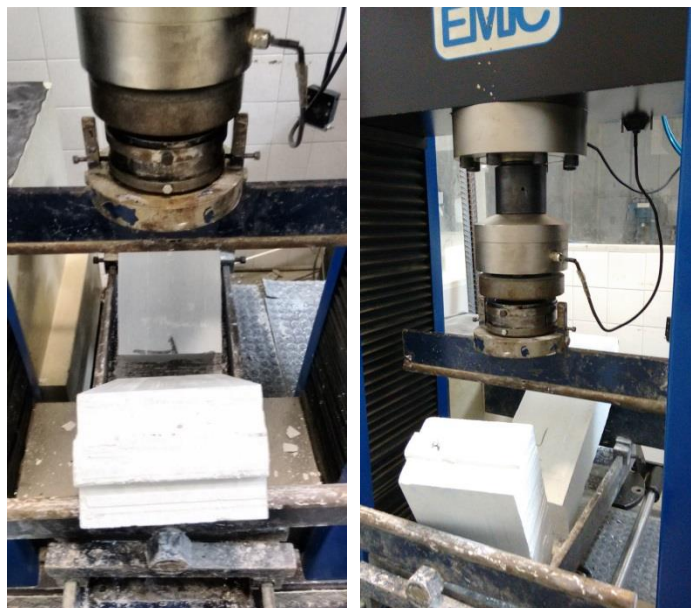


Fig. 89 – Resultado visual do ensaio de resistência à flexão do bloco de gesso Hidro.

Tabela 44 - Valores médios da resistência à flexão dos blocos de gesso.

Teor Hidrofugação	Provete			Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
	1	2	3		
0,1 %	1,60	1,60	1,90	1,70	0,17
0,3 %	2,10	2,00	1,70	1,93	0,21

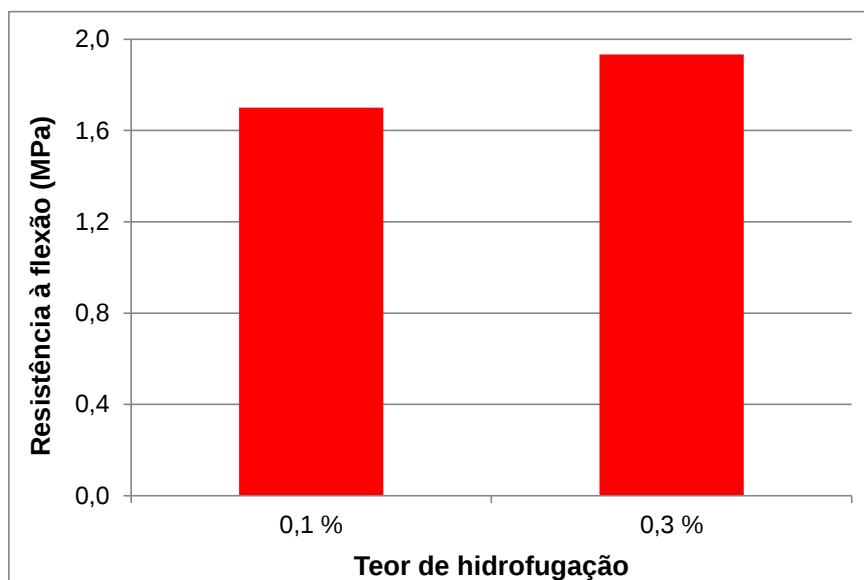


Fig. 90 - Resultados do ensaio de resistência à flexão dos blocos de gesso Hidro.

4.7. DUREZA SUPERFICIAL

Apresenta-se na Tabela 45 e na Fig. 91 os valores médios e desvio padrão obtidos no ensaio de determinação da dureza superficial em blocos de gesso hidro.

Tabela 45 - Valores médios da dureza superficial dos blocos de gesso.

Teor Hidrofugação	Provete			Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
	1	2	3		
0,1 %	78,00	79,10	80,30	79,13	1,15
0,3 %	76,00	75,90	75,40	75,77	0,32

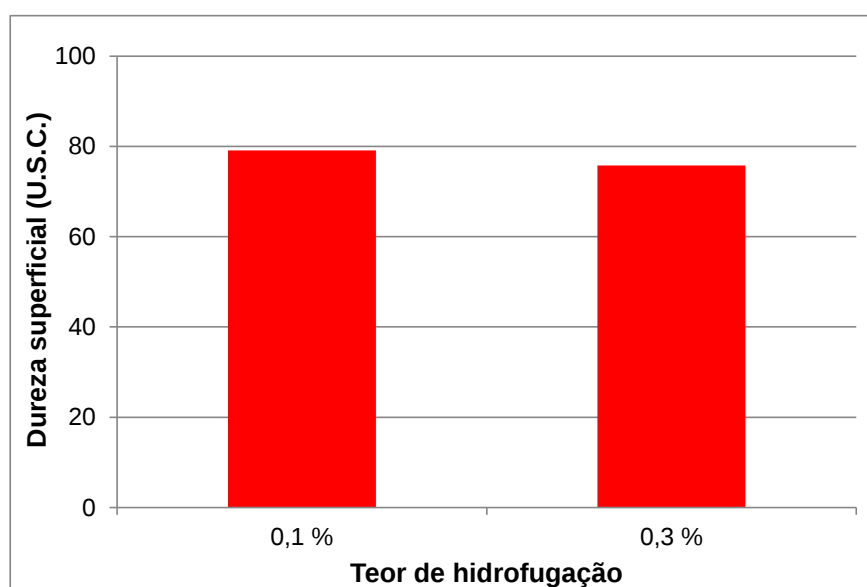


Fig. 91 - Resultados da comparação do ensaio de dureza superficial do bloco de gesso Hidro.

Observou-se através do ensaio, que a dureza superficial de ambos os tipos de blocos de gesso estão em conformidade com o projeto de norma brasileiro PN 02:013.40-010, sendo superiores a 55 (U.S. C) (Tabela 45).

4.8. ESTANQUIDADE

As condições do ensaio de estanquidade à água do SVVE foram enquadradas num dos níveis de desempenho M – (apresentar no máximo 10% de manchas após 7 horas de ensaio), ou do nível I – (não apresentar manchas após 7 horas de ensaio), em paredes externas sem beiral, na região I, que envolve a região nordeste (latitude entre 5° e 15°) sob pressão estática de 10 Pa (10 mm.c.a) e sob vazão de água de 3 l/m²/min (Tabela 46).

Tabela 46 - Condições de ensaio de estanquidade à água de SVVE.

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática (Pa)	Vazão de água (l/m ² min)
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Confere-se que o percentual máximo das somas das áreas de mancha de humidade, na face oposta à incidência da água, em relação à área total submetida ao ensaio, para todas as paredes de gesso hidro, não ultrapassaram os valores permitidos pela norma NBR 15575-4 que estipula que para alcançar um nível de desempenho M, devem ser alcançados 5 % para as edificações de mais de um pavimento enquanto que para as edificações térreas, 10 % (ABNT, 2013).

Apresentam-se nas Fig. 92 e Fig. 93 as amostras utilizadas para a realização do ensaio.



Fig. 92 - Amostras tipo de blocos com teor de hidrofugação de 0,1%.

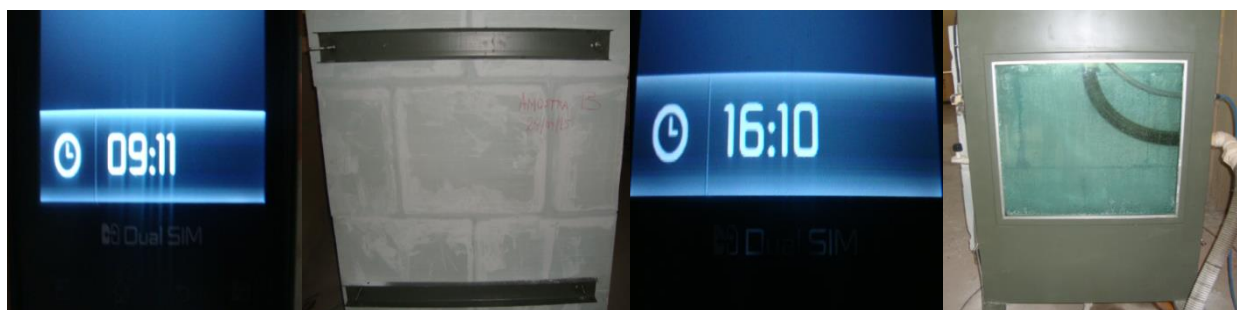


Fig. 93 - Amostras tipo de blocos com teor de hidrofugação de 0,3%.

A Tabela 47 apresenta as características, os resultados e as observações pertinentes ao comportamento das paredes analisadas.

Tabela 47 - Características e resultado do material após 7 horas de ensaio.

Parede Hidro	Tratamento	% de mancha por 7 horas
Amostra A (0,1%)	Sem Tratamento	Sem apresentar qualquer mancha após 7 horas de ensaio
Amostra B (0,3%)	Sem tratamento	Sem apresentar qualquer mancha após 7 horas de ensaio

4.9. ARRANCAMENTO POR TRAÇÃO

Apresenta-se na Tabela 48 e na Fig. 94 os resultados obtidos no ensaio de resistência ao arrancamento por tração nos blocos de gesso analisados. Os resultados de resistência ao arrancamento do gesso cola hidro mostram que a cola utilizada como revestimento no bloco de gesso tanto para 0,1 e 0,3% com cura normal aos 28 dias, apresentaram valores inferiores a 1 MPa, conforme prescrito na norma, e a forma de ruptura ocorrida para os dois tipos de blocos de gesso analisados foi do tipo A (ruptura na interface argamassa/substrato), se assemelhando aos preceitos estabelecidos na norma brasileira NBR 14081 para argamassa colante industrializada AC I e AC II.



Fig. 94 - Tipos de ruptura obtidos no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento.

Tabela 48 - Resultados da resistência de aderência à tração das argamassas/cola aplicadas sobre blocos de gesso

Cola De Gesso	Resistência de aderência à tração (MPa)	Forma de Ruptura Predominante (%)				
		Interface revestimento/substrato	Gesso cola	Substrato	Interface revestimento/gesso cola	Interface gesso cola/pastilha
I	0,53	x		-	-	-
	0,69	x		-	-	-
	0,70	x		-	-	-
	0,55	x		-	-	-
	0,70	x		-	-	-
	0,45	x		-	-	-
	0,53	x		-	-	-
	0,54	x		-	-	-
	0,80	x		-	-	-
	0,64					
	Média – 0,61	x		-	-	-
S	0,32	x		-	-	-
	0,54	x		-	-	-
	0,46	x		-	-	-
	0,55	x		-	-	-
	0,40	x		-	-	-
	0,44	x		-	-	-
	0,52	x		-	-	-
	0,55	x		-	-	-
	0,34					
	Média – 0,45	x		-	-	-

4.10.RESISTÊNCIA AO IMPACTO

4.10.1. CORPO MOLE

Apresenta-se na Tabela 49 os resultados do ensaio de resistência ao impacto de um corpo mole, para cada nível de impacto realizado, contemplando valores dos deslocamentos horizontais instantâneos e residuais medidos durante o ensaio, apresentando as características, os resultados e as observações pertinentes ao comportamento da parede analisada.

Tabela 49 – Resultado do impacto de corpo mole de acordo com a NBR 15 575-4 (2013).

Componente	Energia (J)	Deslocamentos horizontais (mm)		Observações
		Instantâneo dh	Residual dhr	
Paredes externa espessura 100 mm	240	0,89	0,58	Sem Fissuras
	180	0	0,58	Sem Fissuras
	120	0,55	0,30	Sem Fissuras
	60	0,05	0	Sem Fissuras

Durante o ensaio, observou-se a ausência de fissuras em ambas as faces das paredes.

Levando-se em consideração os requisitos de norma NBR 15575-4, onde o enquadramento e nível de desempenho em paredes externas sem função estrutural é representado conforme Tabela 50.

Tabela 50 - Impacto de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, sem função estrutural NBR 15 575-4 (2013).

Estrutura NBR 15.815-4 (2016):				
Elemento	Impacto	Energia de Impacto de corpo mole (J)	Critérios de Desempenho	Nível de desempenho
Vedação vertical sem função estrutural	Impacto externo (acesso externo ao público)	240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $dh \leq h/125$ $dhr \leq h/625$	M
		180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
		120		

Pode-se concluir que as paredes ensaiadas, paredes externas (fachada) atenderam aos critérios de norma, se enquadrando no nível M, nível mínimo de desempenho, segundo NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

4.10.2. CORPO DURO

Os resultados obtidos da resistência ao impacto de um corpo duro apresentam-se na Fig. 95 e na Tabela 51.



Fig. 95 – Identificação das mossa do ensaio de corpo duro.

Tabela 51 – Resultados do impacto de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas).

Impacto	M (kg)	H (m)	E (J)	Tamanho mossa (mm)
Corpo duro de pequenas dimensões (esfera de aço)	0,5	0,5	2,5	1,01
	1,0	1,0	10	2,37

Tendo em conta os requisitos da norma apresentados, pode-se concluir que as paredes ensaiadas, paredes externa (fachada), atende aos critérios da norma de desempenho, se enquadrando no nível M, nível mínimo de desempenho de acordo com a Tabela 52.

Tabela 52 – Impacto de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas), de casas térreas, sem função estrutural NBR 15 575-4 (2013).

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho
Corpo duro de pequenas dimensões (esfera de aço)	Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas inclusive no revestimento (estado limite de serviço).
		20	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último).
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço).
		10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite de último).

5

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE
PAREDES DE GESSO

5.1. MODELAÇÃO DE PAREDES DE GESSO NO WUFI

5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

Para a constituição do elemento construtivo em estudo, definiu-se uma única camada de bloco de gesso de espessura 0,10m. Os elementos que constituem o sistema construtivo e suas respectivas propriedades foram introduzidos na base de dados do programa.

São especificados nesta fase, fatores como a orientação, inclinação e altura do edifício, uma vez que alteram o cálculo de parâmetros como a quantidade de chuva, a quantidade de radiação solar incidente e a exposição ao vento da fachada.

Para este trabalho de tese, adotaram-se as orientações (N, S, L, O) e a inclinação do elemento (variação entre 0° e 90°). Para análise do estudo no WUFI, no que se refere à inclinação e altura do edifício, as fachadas são consideradas completamente verticais em relação ao solo (ângulo de 90°) e em todos os casos de estudo correspondem a um edifício com altura inferior a 10 metros. Para a simulação, existem dois modelos fornecidos pelo programa: o modelo do WUFI baseado nos coeficientes R_1 e R_2 e o modelo da ASHRAE Standard 160 P onde se especifica o valor de F_E e F_D (Fig. 96).

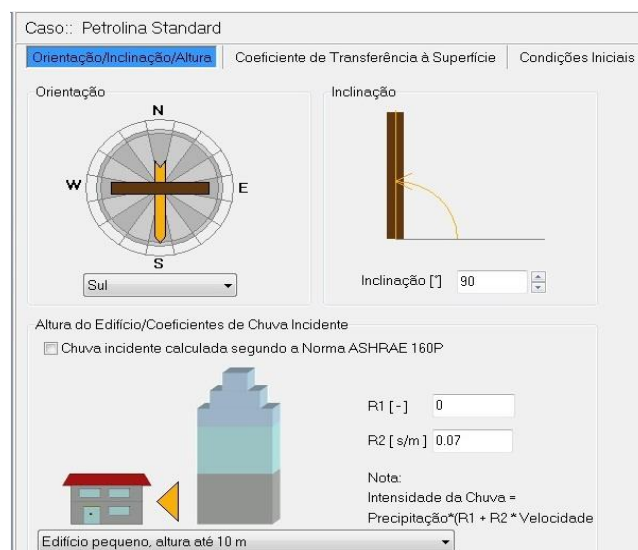


Fig. 96 - Orientação, inclinação e altura da fachada (WUFI).

Para as simulações por meio do programa WUFI é necessária a utilização de um arquivo climático que contenha dados de precipitação. Neste caso, para a quantificação de chuva incidente optou-se pelo uso do arquivo em formato TMY (*Typical Meteorological Year*) da base EPW-ANTAC (Roriz, 2012).

O TMY segundo Akutsu (1998) é formado por 12 meses reais, podendo ser, estes mês, de diferentes anos, desde que o mês selecionado seja representativo dos mesmos meses observados no período de 30 anos (de preferência) ou, no mínimo, 10 anos.

5.1.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

No que se refere à constituição do elemento construtivo em estudo, trata-se de paredes de blocos de gesso denominadas de (M1; M2; M3) sendo (M1) para gesso do tipo Standard (GS) e (M2; M3) gesso do Tipo Hidro (GH), com teores de hidrofugação de 0,3% e 0,5% respectivamente. Todas as paredes têm espessura de 0,10m.

As propriedades básicas dos materiais que foram necessárias para a simulação e fundamentais para o cálculo correspondem aos resultados obtidos em ensaios apresentados no capítulo 4, à exceção do calor específico do material seco, obtido a partir da base de dados do programa para materiais similares. As propriedades básicas e de ajustes e seus respectivos valores estão representados na Tabela 53.

Tabela 53 - Propriedades básicas dos materiais

Material	M1	M2	M3
Designação	GS	GH	GH
Teor de hidrofugação (%)	0	0,3	0,5
Massa volúmica (ρ) (kg/m^3)	1080	1050	1050
Porosidade (ξ) (m^3/m^3)	0,53	0,55	0,55
Calor específico J/(KgK)	840	840	840
Condutibilidade térmica (W/mK)	0,28	0,28	0,28
Fator resistência à difusão vapor (μ) (-)	8,9	15,0	15,0
Teor humidade (w_{80}) (kg/m^3)	10,8	5,25	4,73
Teor humidade saturação (w_{sat}) (kg/m^3)	355	137	73
Absorção capilar (A_w) ($\text{kg/m}^2\text{s}^{0,5}$)	0,45	0,018	0,015

No que se refere às propriedades complementares inseridas no programa, também importantes para o cálculo, estas foram determinadas pelo utilizador. Neste caso, variando os coeficientes de transferência à superfície para os valores de resistência ao vapor ($S_{\text{Dext.}}$ e $S_{\text{Dint.}}$) e mantendo fixo o valor de

resistência térmica, de absorção para a radiação solar [-], emissividade da superfície [-] e chuva incidente, conforme representado na Tabela 54.

Tabela 54 - Coeficientes de transferência à superfície.

Coeficientes	C1	C2
Resistência térmica superficial exterior (R_{se}) (m^2K/W)	0,0588	0,0588
Espessura equivalente de ar exterior (S_{Dext}) (m)	0	1
Absorção de radiação de onda curta (-)	0,2	0,2
Emissividade de radiação de onda longa (-)	0,9	0,9
Reflexão de radiação de onda curta do solo (-)	0,2	0,2
Fração de chuva incidente (-)	0,7	0,7
Resistência térmica superficial interior (R_{si}) (m^2K/W)	0,125	0,125
Espessura equivalente de ar interior (S_{Dint}) (m)	0	0,1

A condição inicial do programa manteve fixa a humidade relativa em 60% e temperatura inicial de 25°C.

5.1.3. CONDIÇÕES DE FRONTEIRA

No Brasil, os dados meteorológicos existentes, em sua maioria, não são tratados para a solução de problemas de edifícios, o que dificulta a atuação de profissionais na elaboração de projetos de construção.

O clima predominante no território Brasileiro é o tropical. No entanto, mesmo considerando pertencer à mesma região geográfica do país, pela influência da continentalidade, latitude, relevo, maritimidade e massas de ar, o Brasil apresenta uma diversidade climática que o classifica em clima tropical (continental, altitude e semiárido), subtropical e equatorial (KÖPPEN, 1928).

A Fig. 97 relaciona as regiões climáticas no território brasileiro, com destaque para as áreas tropical e equatorial em maior predominância (www.mapaclimatico.com/tag/clima).

De acordo com a região e seu respectivo mapa, é possível obter o clima de cada cidade e propor estratégias e diretrizes construtivas bioclimáticas recomendadas para cada local onde será projetada e construída uma edificação (Fig. 98).

A análise do clima exterior foi feita a partir da base de dados do LabEEE (Laboratório de Eficiência energética em edificações) entre os anos de 2000 e 2010 e o clima interior foi calculado através da EN 15 026 - 2007 em função do clima exterior (Fig. 99).



Fig. 97 - Mapa das regiões climáticas brasileiras e climogramas do Brasil – clima e pluviosidade das regiões.

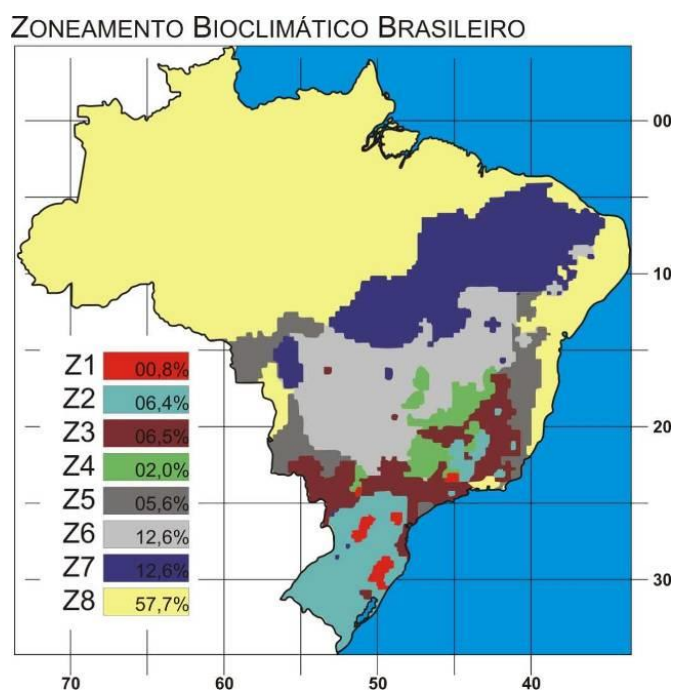


Fig. 98 - Mapa de divisão do zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT 1998).

As cidades para avaliação da chuva incidente foram selecionadas visando caracterizar valores de precipitação o mais heterogêneo possível, de maneira a atender as oito zonas bioclimáticas brasileiras (Z):

- Z1- Curitiba –PR;
- Z2-Passo Fundo- RS;
- Z3-São Paulo- SP,
- Z4-Brasília- DF;
- Z5-Niterói- RJ;
- Z6-Bom Jesus da Lapa- BA;
- Z7-Petrolina – PE;
- Z8-Recife-PE.

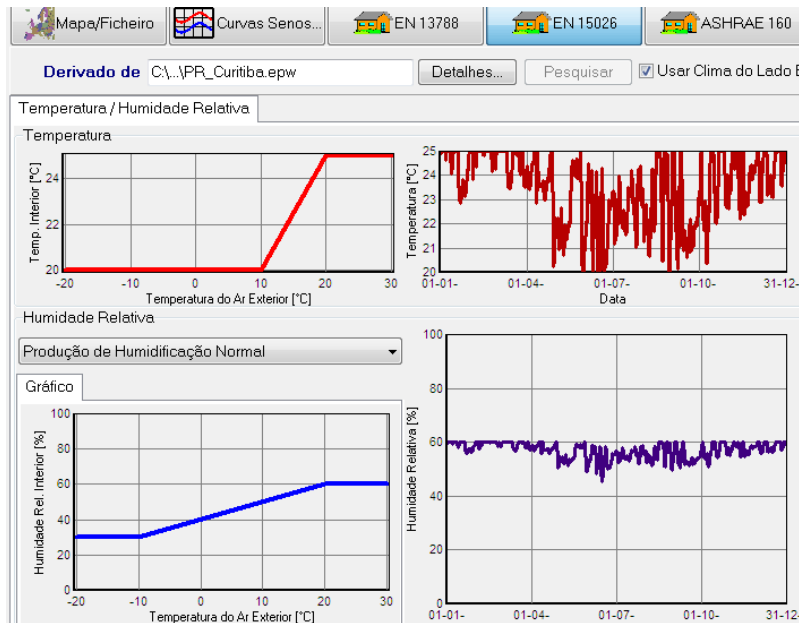


Fig. 99 - Condições climáticas Interiores através da EN 15 026 (2007) (WUFI).

5.2. CHUVA INCIDENTE EM PAREDES DO BRASIL

5.2.1. MODELAÇÃO APLICADA

Nesta fase do trabalho, decidiu-se por conhecer a quantidade de chuva incidente aplicada nas fachadas de paredes de gesso através de métodos semi-empíricos (referenciados na seção §2.4.3 desta tese). Para tal, foram selecionadas quatro modelos, para a quantificação da intensidade de chuva incidente, em cidades do Brasil.

Os métodos selecionados incluíram os modelos do WUFI, da ASHRAE 160, de Straube e Burnett e o modelo EN ISO 15 927-3 (§2.3.4.1 a § 2.3.4.4). O arquivo climático adotado refere-se à série de 2000 a 2010, com 10 anos de dados horários registrados pelo INMET (2013). A utilização destes quatro modelos pretendeu avaliar a influência do método de cálculo de chuva incidente na análise.

As cidades selecionadas tiveram como principal parâmetro ser as de maior registro de precipitação anual, evidenciado no programa WUFI durante o cálculo de simulação para a chuva incidente em oito cidades brasileiras, no período de 1 e 10 anos. Foram selecionadas então, as cidades de Curitiba (1466 mm/a), Passo Fundo (1683 mm/a) e Recife (1791 mm/a) como base para o estudo.

Para o cálculo, foram considerados todos os dados horários de precipitação, associados simultaneamente aos dados horários de velocidade e direção dos ventos incidentes nas quatro orientações, possibilitando assim a análise da chuva incidente em cada mês do ano, para as quatro principais orientações de fachada, correspondente aos pontos cardeais Norte (N), Sul (S), Leste (L) e Oeste (O).

A comparação dos quatro métodos foi efetuada num período mais curto, limitando-se o estudo a apenas um mês de precipitação. Neste caso, determinou-se o mês de julho, já que, segundo as normais climatológicas, é o mês de maior ocorrência de chuvas em várias regiões do Brasil. Os valores da velocidade e direção do vento e precipitação são valores horários obtidos a partir do ficheiro climático

introduzido no WUFI. Admitiu-se que a velocidade medida pela estação era a velocidade de referência a 10 m do solo.

5.2.2. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DO WUFI

Para a quantificação da chuva incidente através do modelo WUFI, considerou-se uma fachada de um edifício baixo com altura até 10m, por ser um tipo de construção comum no território brasileiro, atribuindo aos coeficientes R_1 e R_2 , valores de $R_1 = 0$ e $R_2 = 0,07$, estimados através da tipologia do edifício.

A quantidade da chuva incidente para um mês de precipitação, calculada através do modelo WUFI, levando-se em consideração as cidades de Recife, Passo Fundo e Curitiba, nas quatro orientações, pode ser observada através do gráfico da Fig. 100.

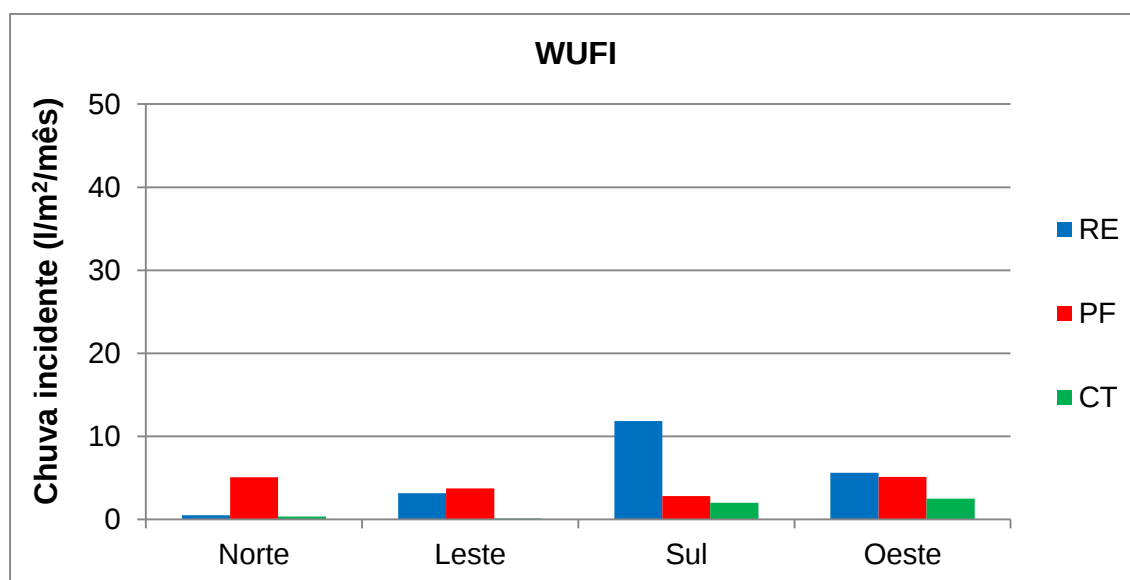


Fig. 100 - Chuva incidente determinada segundo o modelo WUFI.

Verifica-se no modelo utilizado, que dentre as cidades analisadas, a cidade de Recife apresenta os maiores valores percentuais com as fachadas orientadas a Sul e Oeste. A diferença percentual entre essas orientações resulta num valor de 47,5% menor, quando esta fachada está orientada a Oeste.

5.2.3. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DA ASHRAE

A aplicação do modelo da ASHRAE requer que se definam os parâmetros de F_E e F_D (Tabela 22 e Tabela 23 da seção 2.3.4.3). Para um edifício com cobertura inclinada o valor de F_D deve considerar-se igual a 0,5. No entanto, para paredes com cobertura plana, o valor de F_D é igual a 1,0. O valor de F_E é em função da altura do edifício e da exposição do terreno, podendo ser protegida $F_E = 0,7$ e aberta $F_E = 1,3$ (zona sujeita a vento convergente, caso exista algum edifício alto nas proximidades).

Para o estudo, optou-se por um edifício baixo, com cobertura inclinada e protegida. Neste caso, determinou-se a quantidade de chuva incidente para valores de $F_E = 0,7$ e $F_D = 0,5$ considerando as três cidades nas quatro orientações (Fig. 101).

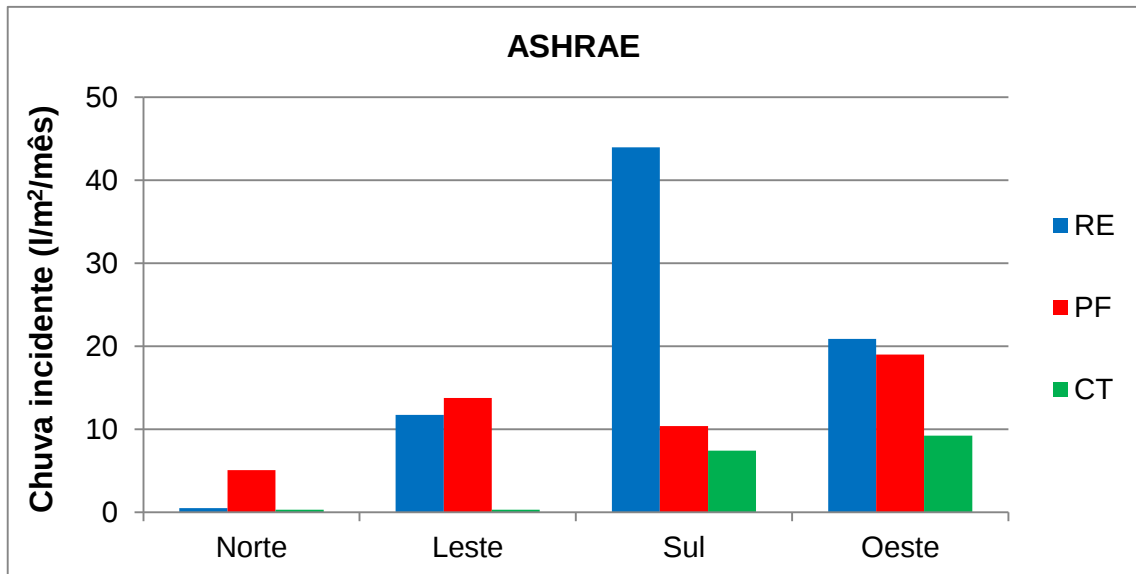


Fig. 101 – Chuva incidente determinada segundo o modelo ASHRAE.

Fazendo a mesma analogia da análise feita no modelo do WUFI, desta vez pelo método da ASHRAE, observa-se que Recife, apresenta também, a maior quantidade da chuva incidente na fachada orientada a Sul e Oeste. Desta forma, a diferença percentual entre as orientações também, é de 47,5% menor quando da fachada orientada a Oeste.

Quando verificado a menor quantidade de chuva incidente para as fachadas (orientações Norte e Leste), para a mesma cidade (Recife), nota-se que, a quantidade da chuva incidente na fachada orientada a Leste é aproximadamente 96% maior que o verificado na orientação Norte.

5.2.4. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DE STRAUBE E BURNETT

A quantificação da chuva através do modelo de Straube e Burnett depende do fator *RAF*, definido em função das características do edifício, da variação da velocidade do vento em função da altura e da classe de exposição, e um fator de topografia (*TOF*).

Para a aplicação deste modelo escolheu-se um edifício com cobertura plana e uma relação $H/W < 1$. Dos três exemplos apresentados na Fig. 12, no §2.3.4.1, optou-se por analisar o exemplo da alínea a, considerando-se o valor médio do intervalo indicado. Neste sentido, os parâmetros adotados para o exemplo referente ao edifício baixo foram:

- Fator de admissão de chuva $RAF = 0,9$;
- Velocidade do vento $z = 10$ m (valor de referência);
- Exposição do terreno $\alpha = 0,14$ admitiu-se que o edifício se encontrava em terreno aberto (Tabela 20);
- O fator de topografia *TOF* - não aplicável a este caso.

A quantidade da chuva incidente calculada através do modelo de Straube e Burnett, considerando as três cidades nas quatro orientações, é apresentada no gráfico da Fig. 102.

Verificando a maior e a menor quantidade da chuva incidente nas fachadas registradas na cidade de Recife, através do modelo de Straube e Burnett, Observa-se que, a diferença percentual da quantidade da chuva incidente entre o menor e o maior valor, situa-se próximo dos 96%.

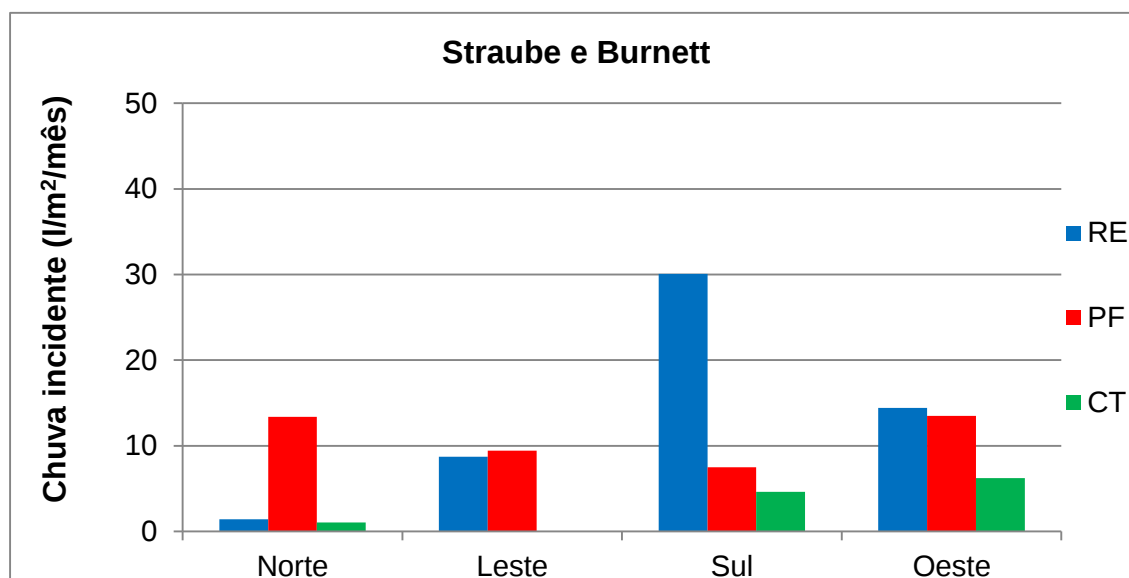


Fig. 102 - Chuva incidente determinada segundo o modelo de Straube e Burnett.

5.2.5. QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA INCIDENTE SEGUNDO O MODELO DA EN 15 927-3

Para quantificar a chuva incidente através da norma EN ISO 15927-3, observa-se que a mesma apresenta em sua metodologia a definição de um maior número de parâmetros. Na dúvida da hipótese mais adequada, o modelo apresenta quatro categorias de terreno e diferentes parâmetros para o cálculo do coeficiente de rugosidade – C_R (Tabela 24).

Para a aplicação deste modelo, escolheu-se a categoria III áreas suburbanas ou industriais (Tabela 24), comum em território brasileiro, e definiram-se parâmetros de $z=10$ m; $z_{\min}=8$ m; $z > z_{\min}$; $z_0 = 0,3$ m e $K_R = 0,22$ logo, $C_R = 0,77$. Os fatores determinados para C_T (Coeficiente de topografia), para fator de obstrução (O) e fator da fachada (W), foram respectivamente, $C_T = 1,0$, $O=1,0$ e $W= 0,5$ (selecionados para complementação do cálculo, com características próximas da tipologia do edifício em análise).

A Fig. 103 apresenta a quantidade da chuva incidente calculada através da norma EN 15 927-3 para as três cidades nas quatro orientações.

Quando verificado a diferença percentual da quantidade da chuva incidente entre as orientações Norte e Sul registrada nas fachadas da cidade de Recife, observa-se que a quantidade de chuva incidente á Norte, é 95% menor que a quantidade de chuva incidente a Sul.

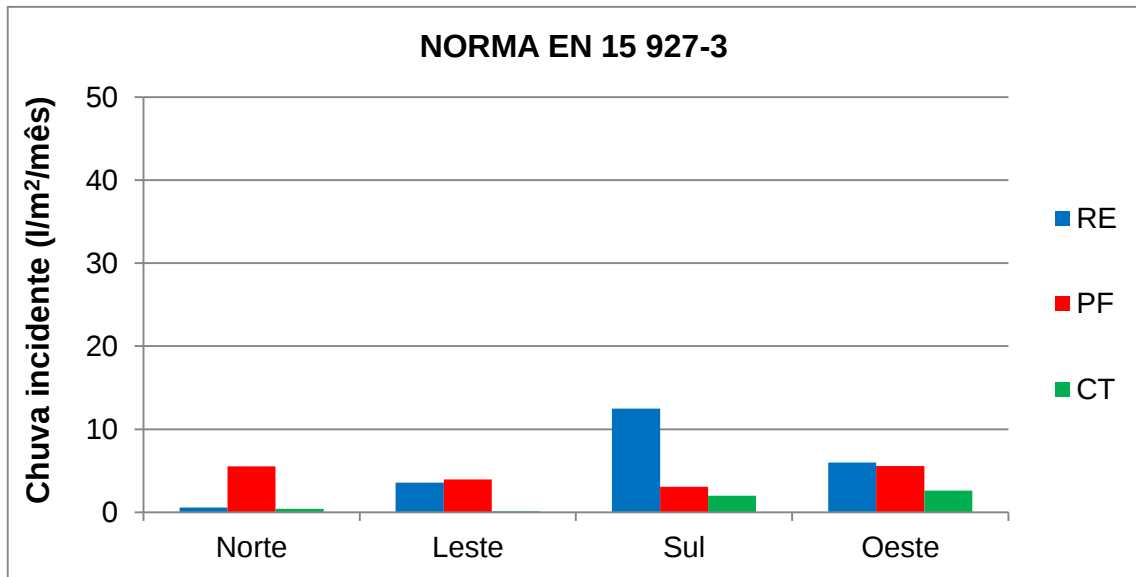


Fig. 103 - Chuva incidente determinada segundo o modelo da EN 15927-3 (2007).

5.2.6. COMPARAÇÃO DE MODELOS

Nesta seção, são apresentados os estudos comparativos dos quatro modelos semi-empíricos selecionados para a quantificação da intensidade de chuva incidente, aplicados ao contexto das cidades de Recife, Passo Fundo e Curitiba. Para que pudessem ser comparados, ao selecionar os parâmetros de cada modelo, adotaram-se valores representativos das mesmas condições urbanas e da arquitetura do edifício.

A aplicação dos quatro modelos permitiu quantificar a intensidade de água de chuva que é projetada na fachada em cada mês do ano, identificando qual orientação de fachada é mais exposta à umidificação pela ação da chuva incidente.

O gráfico da Fig. 104 apresenta os resultados obtidos dos diferentes modelos semi-empíricos mencionados nesta tese, considerando os diversos parâmetros e orientações nas três cidades brasileiras.

As orientações das fachadas mais atingidas pela chuva incidente das três cidades analisadas são as mesmas em todos os métodos, isso devido ao resultado da combinação dos fatores da precipitação e da direção e velocidade do vento.

Observam-se diferenças significativas nos resultados obtidos por meio dos quatro modelos de quantificação, quando analisada a intensidade da chuva incidente nas quatro orientações. Isso ocorre devido à representação dos diferentes coeficientes quanto às características do edifício e das condições de exposição.

Nota-se que dos modelos analisados, o WUFI e a EN 15927-3: 2007 foram os que apresentaram menor quantidade da chuva incidente, conferindo valores percentuais muito próximos entre os modelos no que se refere à intensidade da chuva nas mesmas orientações para as três cidades.

Das três cidades avaliadas, Recife apresenta a orientação Sul como de maior exposição à chuva incidente. É aquela que recebe a maior quantidade de chuva ao longo do mês, seguida pela fachada Oeste. Isso é explicado, considerando que as direções Sul e Oeste estão entre aquelas onde ocorrem os ventos predominantes associados aos eventos de precipitação.

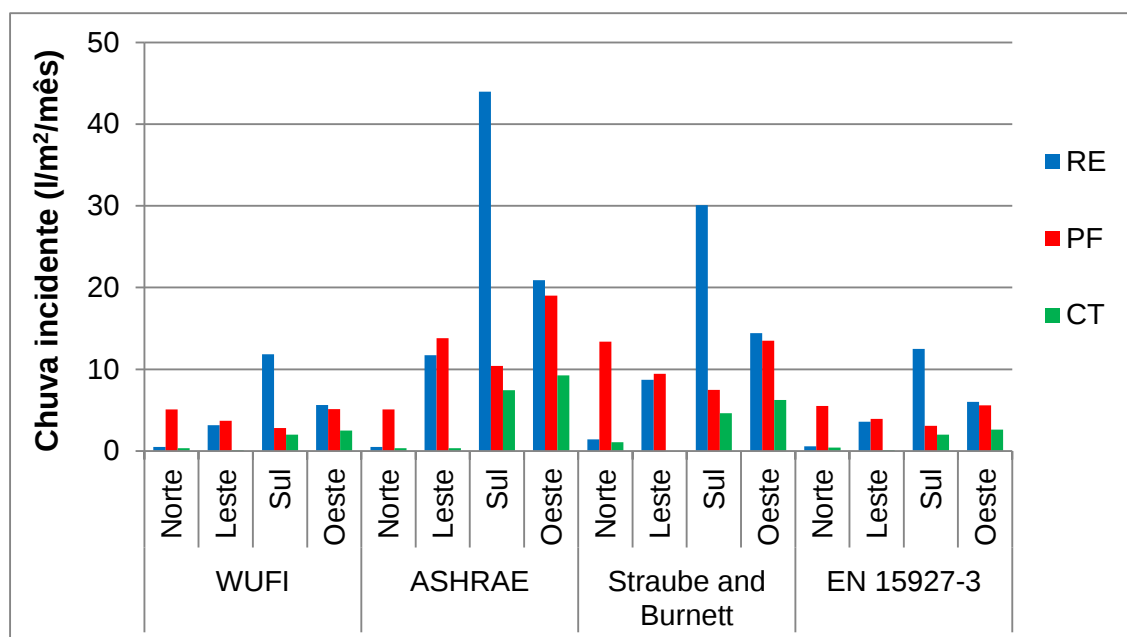


Fig. 104 – Chuva incidente de acordo com os quatros métodos aplicados.

Apresenta-se na Fig. 105 a intensidade de precipitação anual para as cidades de Recife, Passo Fundo e Curitiba, obtida através do ficheiro climático inserido no programa WUFI, de forma a analisar o comportamento das paredes tendo em conta a chuva incidente nas mesmas.

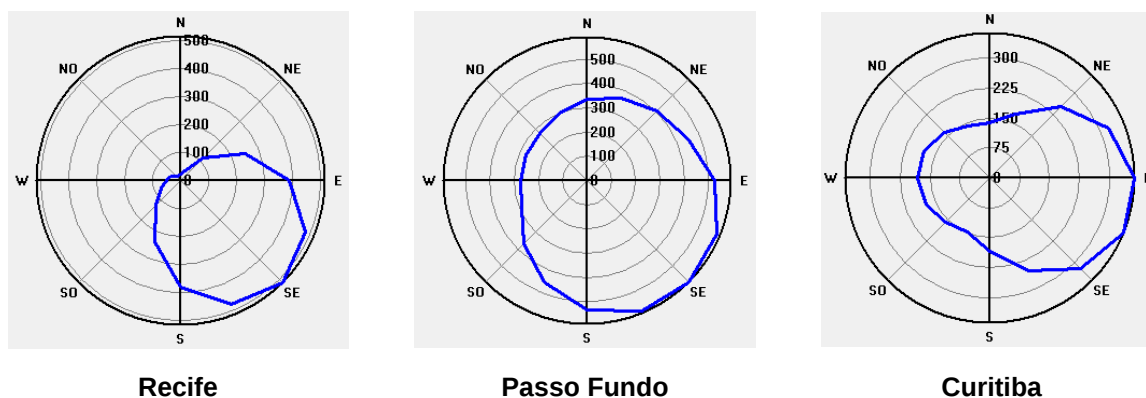


Fig. 105 – Intensidade de precipitação anual em Recife, Passo Fundo e Curitiba.

Quando comparado os modelos que apresentaram a maior quantificação de chuva incidente nas três cidades analisadas, verifica-se que o valor calculado pelo modelo da ASHRAE é maior 31,5% do valor obtido pelo modelo de Straube e Burnett, enquanto que os valores calculados pelo modelo da EN 15 927-3 diferem 71,5% do valor obtidos pela ASHRAE para a mesma cidade e mesma orientação.

Quando comparado à quantificação da chuva incidente dos modelos ASHRAE e do modelo WUFI para a cidade de Recife, nota-se que os dois modelos diferem nas orientações Leste, Sul e Oeste cerca de 70%. Restando a orientação Norte nos dois modelos e na mesma cidade, com a mesma quantidade de chuva incidente.

A Fig. 106 demonstra graficamente a quantidade de chuva incidente nas paredes de gesso, nas cidades brasileiras, segundo a orientação e considerando diferentes modelos de chuva adotados tendo em conta sua localização.

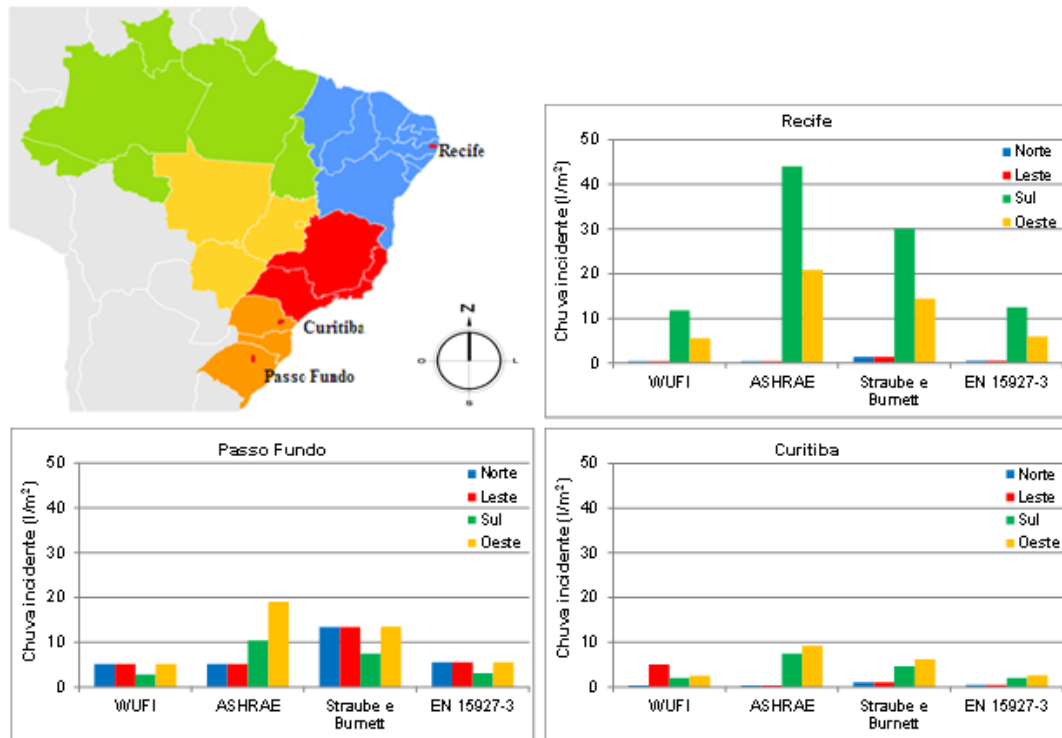


Fig. 106 - Chuva incidente segundo os modelos semi-empíricos, tendo em conta a localização.

5.3. ESTUDO DE SENSIBILIDADE

5.3.1. CENÁRIOS CONSIDERADOS

Com o programa de cálculo automático foram realizadas 288 simulações, com duração de 10 anos, para oito cidades brasileiras, levando em consideração os respectivos climas de cada uma dessas cidades. Foram simulados três diferentes materiais designados por M1; M2 e M3, com dois diferentes coeficientes à superfície (C1 e C2) (todos descritos nas Tabela 53 e Tabela 54 da § 5.1.2), analisando-se a sua influência nas condições higrotérmicas na construção de paredes exteriores, para as quatro orientações geográficas.

Para compor os casos de estudo, as cidades selecionadas representam cada uma das oito zonas bioclimáticas do Brasil, citadas no item 5.3.1. Cada cidade é identificada através de siglas (Tabela 55), e numerada conforme a quantidade de simulações efetuadas de acordo com o tipo de material e sua orientação (Fig. 107).

Os cenários de simulação utilizados podem agrupar-se em conjuntos e permitem uma avaliação do efeito das variações de diferentes parâmetros. Tomando como base o conjunto de simulação CT1-CT36, correspondente a cidade de Curitiba da zona bioclimática Z1, observa-se na Tabela 56, que a cada conjunto das quatro orientações, diferencia-se o material e o coeficiente à superfície interior e exterior, envolvidos na referida cidade simulada.

Tabela 55 - Tabela de correspondência.

Cidades	Siglas
Curitiba	CT
Passo Fundo	PF
São Paulo	SP
Brasília	BR
Niterói	NT
Bom Jesus da Lapa	BJ
Petrolina	PT
Recife	RE

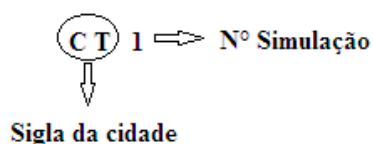


Fig. 107 – Denominação das siglas das cidades simuladas.

Os cenários estão assim distribuídos: do CT1-CT8, definidos pelos materiais do tipo M1, subdivididos em blocos de orientação geográfica (N, S, L, O) em CT1-CT4 para coeficiente 1 e CT5-CT8 para coeficiente 2. Do CT9-CT16 definido pelo material M2, subdividido em CT9-CT12 para coeficiente 1 e do CT13-CT16 para o coeficiente 2. Do bloco CT17- CT24 para material M3, sendo de CT17-CT20 para coeficiente 1 e CT21-CT24 para coeficiente 2. Todos os materiais e coeficientes foram descritos na Tabela 53 e Tabela 54 deste capítulo.

O conjunto restante das simulações caracteriza-se pelas demais cidades de forma análoga ao analisado na cidade de Curitiba e seus respectivos zonamentos (Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8). Apresenta-se na Tabela 56 o resumo das simulações efetuadas para Curitiba, como exemplo.

No subcapítulo seguinte serão analisadas as influências de diversos parâmetros. Para sistematizar a comparação, será avaliado um ponto de monitorização distante 0,01 m da face exterior da parede (Fig. 108) tomando como exemplo as cidades de Petrolina e Curitiba.

Tabela 56 - Resumo das características das simulações na cidade de Curitiba.

Zona Bioclimática	Cidade	Simulação	Orientação	Material	Coeficiente à Superfície
Z1	Curitiba - PR	CT1	N	M1	Coeficiente 1
		CT2	S		
		CT3	L		
		CT4	O		
		CT5	N	M1	Coeficiente 2
		CT6	S		
		CT7	L		
		CT8	O		
		CT9	N	M2	Coeficiente 1
		CT10	S		
		CT11	L		
		CT12	O		
		CT13	N	M2	Coeficiente 2
		CT14	S		
		CT15	L		
		CT16	O		
		CT17	N	M3	Coeficiente 1
		CT18	S		
		CT19	L		
		CT20	O		
		CT21	N	M3	Coeficiente 2
		CT22	S		
		CT23	L		
		CT24	O		

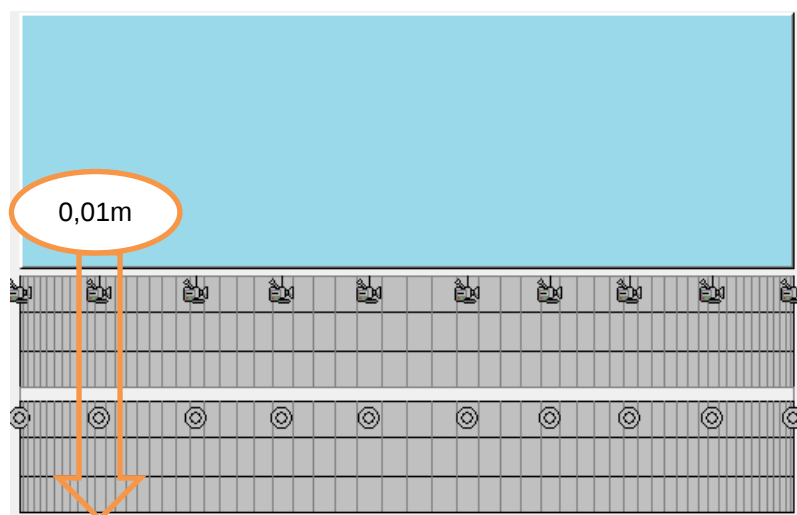


Fig. 108 - Pontos de monitorização da parede de gesso.

5.3.2. INFLUÊNCIA DO TEOR DE HIDROFUGAÇÃO

Neste subcapítulo estabeleceu-se uma análise comparativa da influência que o teor de hidrofugação apresenta no comportamento das paredes de gesso em diferentes cidades brasileiras. Para tal, compararam-se os valores da humidade relativa e do teor de humidade ao longo de um ano nas duas cidades: Curitiba com pluviosidade elevada e Petrolina, com pluviosidade reduzida.

As simulações incidiram sobre os três materiais já selecionados: Um que não dispõe de qualquer teor de hidrofugação (M1) e outros dois, um com 0,3% de teor hidrofugação (M2) e outro com 0,5% (M3). Considerou-se para a análise apenas a orientação Leste.

Nas Fig. 109 e Fig. 110 apresenta-se a variação da humidade relativa e do teor de humidade.

Através do gráfico da Fig. 109, verifica-se que o teor de hidrofugação presente nos materiais M1, M2 e M3, faculta para a cidade de Petrolina, de forma global, uma humidade relativa no ponto de monitorização, inferior ao longo do período analisado, relativamente à cidade de Curitiba.

Apresentam-se na Tabela 57, valores da humidade relativa presente nas paredes de gesso nos diferentes teores de hidrofugação. Um dos pontos que ressalta é o valor mínimo mais elevado para o material M1 em Curitiba, dado que os outros indicadores são bastante semelhantes.

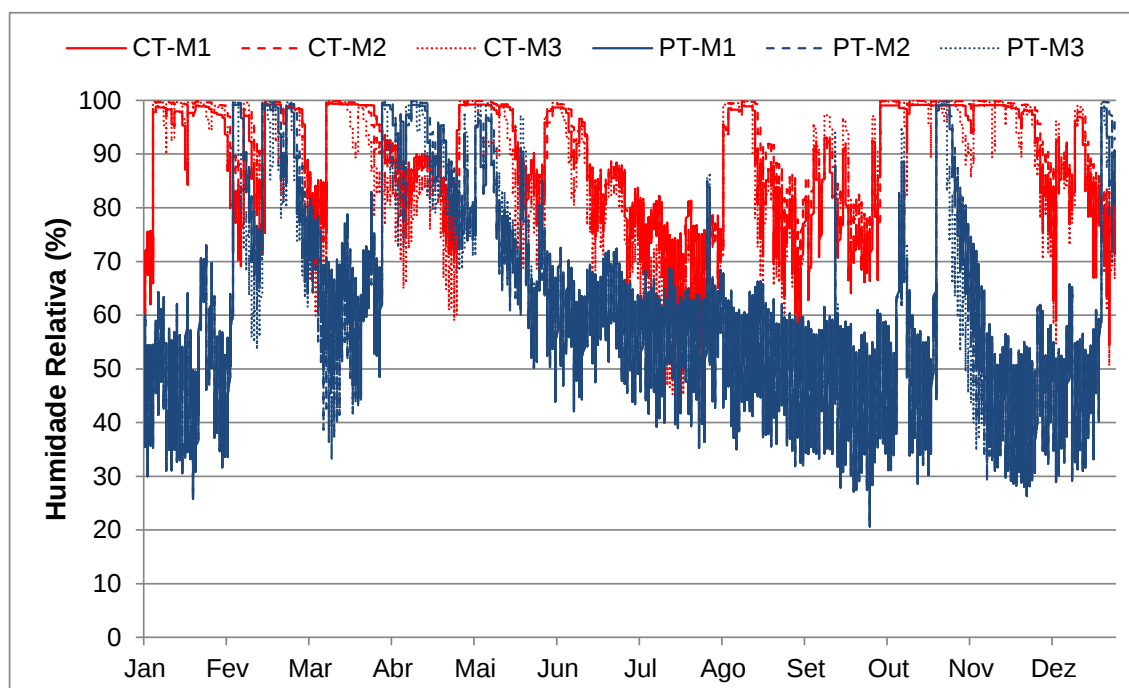


Fig. 109 - Humidade Relativa na parede de gesso ao longo de um ano, a 1 cm da face exterior) em função do teor de hidrofugação, nas cidades de Curitiba e Petrópolis para orientação Leste.

Tabela 57 – Valores da Humidade Relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrópolis para orientação Leste.

Valores	CT-M1	CT-M2	CT-M3	PT-M1	PT-M2	PT-M3
Máximo	99.58	99.92	99.94	99.43	99.85	99.86
Mínimo	48.70	40.26	39.52	20.64	20.91	21.09
Média	88.82	90.10	86.54	62.45	62.20	61.21
Amplitude	50.88	59.65	60.42	78.78	78.94	78.77

É também possível observar que a modificação do teor de hidrofugação não afeta significativamente o valor da humidade relativa de equilíbrio atingida no ponto de monitorização.

Analisando a Fig. 110 e Tabela 58, nota-se que a parede com o material M1, (sem aditivo hidrofugante), apresenta valores máximos de teor de humidade superior a 15 kg/m^3 na cidade de Curitiba, o que é aproximadamente 34% maior que o valor apresentado para os valores máximos em Petrópolis, no mesmo material, com $9,25 \text{ kg/m}^3$.

No que se refere às paredes com aditivo hidrofugante (M2 e M3) (Fig. 110), tanto na cidade de Curitiba como em Petrópolis, verifica-se uma redução no valor máximo do teor de humidade. A diferença do efeito das duas percentagens de hidrofugante é em geral pouco expressiva. No entanto, no caso de Curitiba é possível observar que, no final do período analisado, a formulação M2 conduz a uma aproximação ao comportamento de M1.

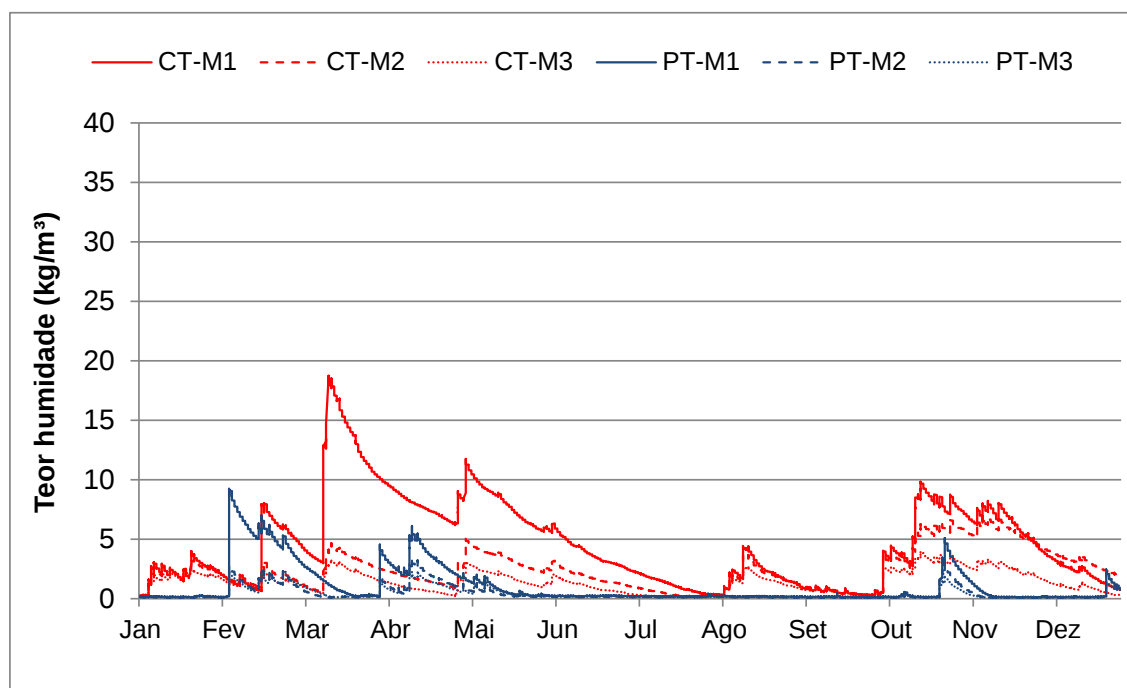


Fig. 110 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrolina para orientação Leste.

Tabela 58 – Valores do Teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Valores	CT-M1	CT-M2	CT-M3	PT-M1	PT-M2	PT-M3
Máximo	18.73	6.85	3.95	9.25	3.43	2.35
Mínimo	0.23	0.15	0.13	0.10	0.07	0.08
Média	4.61	2.47	1.43	1.09	0.45	0.40
Amplitude	18.50	6.70	3.82	9.14	3.36	2.27

As curvas de frequência acumulada referentes às simulações com gesso dispo de diferentes teores de hidrofugação são apresentadas nas Fig. 111 e Fig. 112.

Comparando o comportamento das paredes de gesso sob a influência do teor de hidrofugação nas cidades de Curitiba e Petrolina pode-se concluir que:

- A influência do teor de hidrofugação depende da solicitação climática do local de construção. Em Petrolina, as paredes com materiais M2 e M3 exibe um comportamento muito semelhante, o que não acontece em Curitiba.
- Observa-se que o comportamento das paredes de gesso nos três materiais mostra melhor aplicabilidade na cidade de Petrolina, que em Curitiba. Isso se deve ao fato de em Petrolina essas paredes apresentarem menores índices de humidade relativa e teor de humidade, o que contribui positivamente a durabilidade do elemento construtivo.
- A aplicabilidade das paredes de gesso é muito dependente da solicitação climática não sendo possível alterar o padrão de comportamento através da hidrofugação do gesso.
- A hidrofugação contribui, sobretudo para evitar picos de teor de humidade no material.

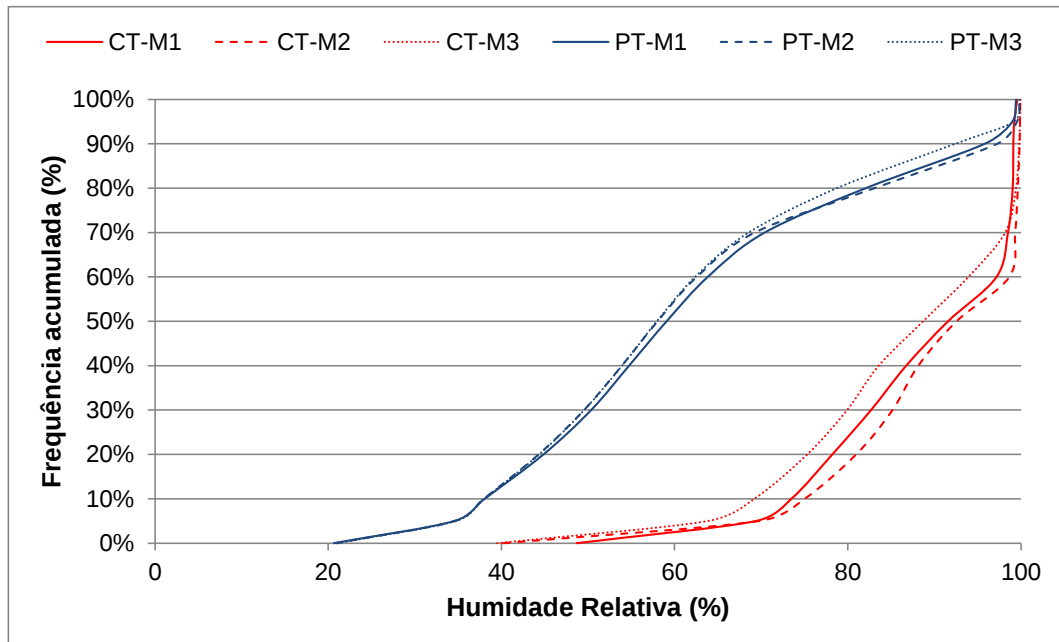


Fig. 111 – Frequência acumulada da humidade relativa no ponto de monitorização das paredes de gesso para as cidades de Curitiba e Petrolina.

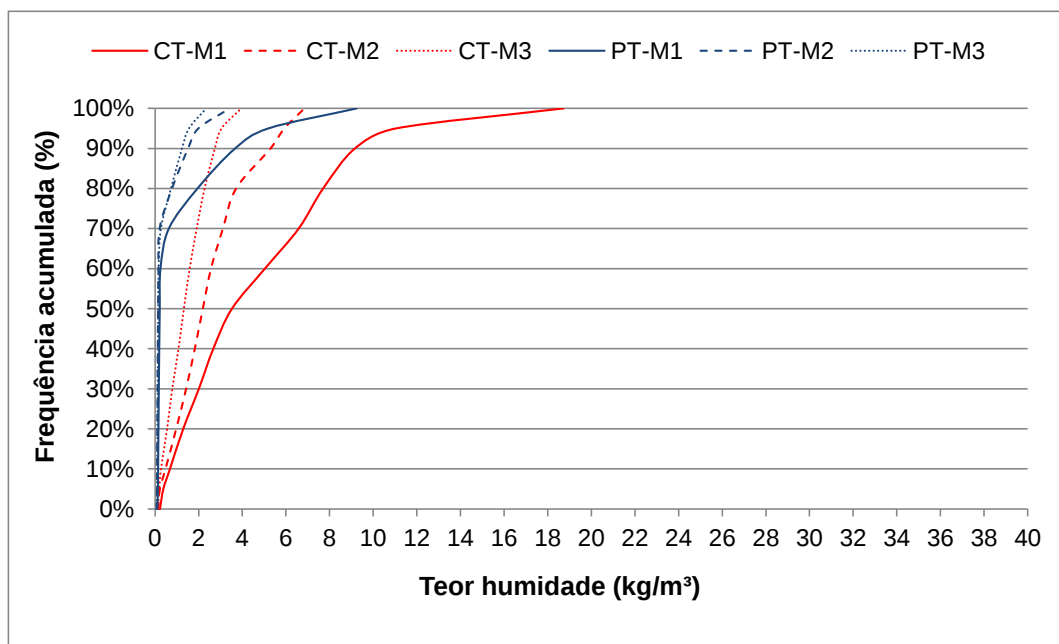


Fig. 112 – Frequência acumulada do teor de humidade no ponto de monitorização das paredes de gesso para as cidades de Curitiba e Petrolina

5.3.3. INFLUÊNCIA DE QUANTIDADE DE CHUVA INCIDENTE

A quantidade de chuva incidente nas fachadas conforme descrito anteriormente, é um fator muito relevante para o comportamento higrotérmico dos materiais. Pretende-se avaliar o efeito da quantidade de chuva incidente, considerando a orientação da fachada Leste, no teor de humidade e da humidade relativa na parede de gesso tomando como exemplo os materiais M1 e M2.

Optou-se por utilizar as fórmulas que constam no programa WUFI, para o modelo da ASHRAE, os parâmetros descritos na Tabela 59. Utilizou-se assim a variação comparativa do parâmetro F_E para comparar cenários de intensidade de chuva incidente alta, média e baixa.

Tabela 59 - Parâmetros utilizados nas simulações para comparação da intensidade da chuva incidente, com o modelo da ASHRAE.

Intensidade	Fator de exposição - F_E	Fator de deposição - F_D
Alta	0,7	0,5
Média	0,4	0,5
Baixa	0,1	0,5

Nas Fig. 113 a Fig. 120, apresenta-se a variação da humidade relativa e teor de humidade ao longo do ano na parede de gesso, para a orientação Leste, através do modelo ASHRAE para paredes constituídas pelos materiais M1 e M2 nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Apresentam-se de seguida nas Fig. 113 e Fig. 114 os resultados obtidos para a humidade relativa com utilização de M1.

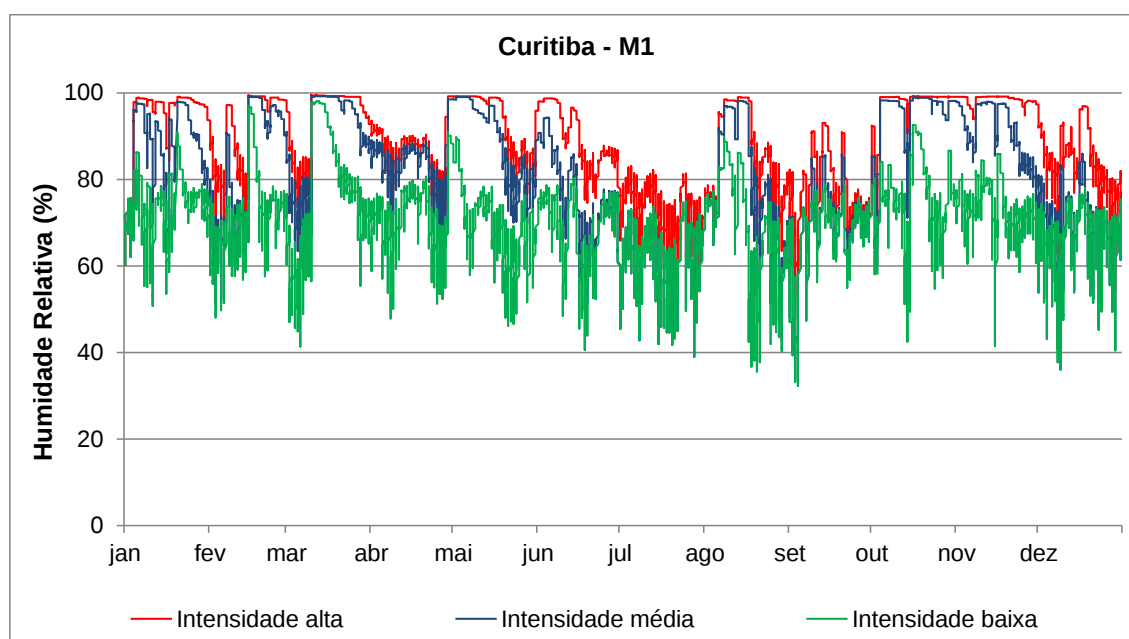


Fig. 113- Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba.

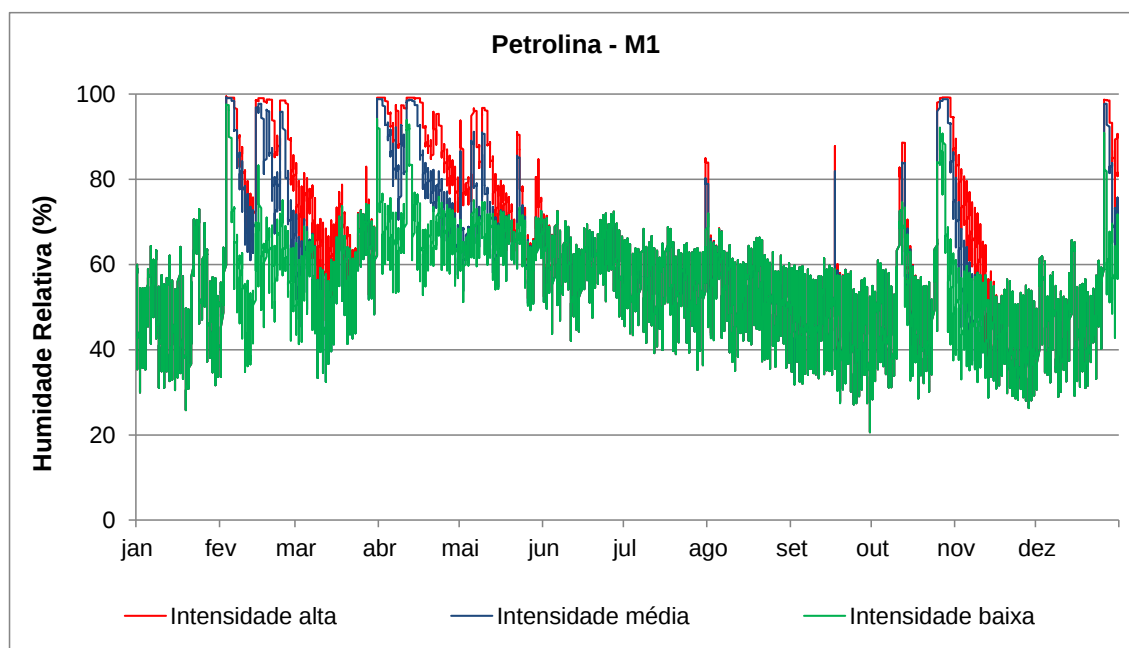


Fig. 114 - Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina.

Para análise, apresentam-se na Tabela 60, alguns indicadores da humidade relativa obtida na simulação, para paredes do tipo M1.

Tabela 60 – Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente para M1.

Valores	Curitiba			Petrolina		
	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa
Máximo	99,58	99,34	98,11	99,43	99,23	97,53
Mínimo	48,70	32,40	32,24	20,64	20,64	20,64
Média	88,82	81,29	70,39	62,45	58,91	54,83
Amplitude	50,88	66,94	65,87	78,78	78,58	76,89

Nota-se que o valor médio da chuva incidente nas paredes de gesso em Petrolina, quando utilizados o modelo ASHRAE, apresenta 27% menos humidade relativa que a quantidade da chuva nas paredes em Curitiba através do mesmo modelo.

O efeito da intensidade da quantidade da chuva incidente nas paredes com material M2 é apresentado na Fig. 115 e Fig. 116.

Os valores máximos da humidade relativa nas paredes de gesso das duas cidades é quase 100% em todas as variáveis utilizadas de acordo com o modelo da ASHRAE (Tabela 61).

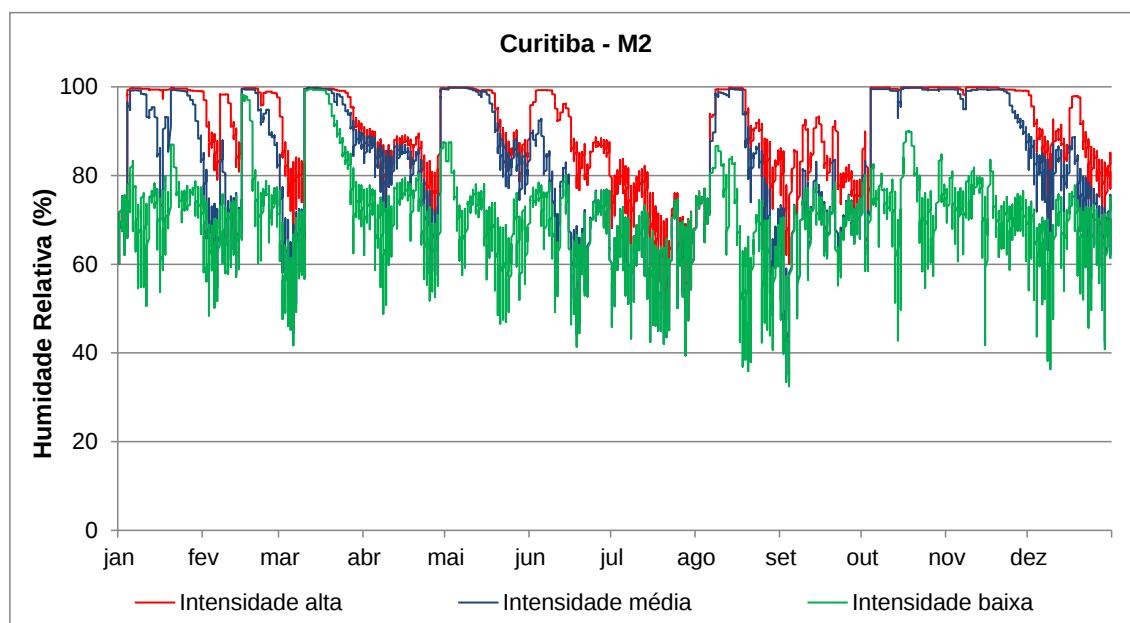


Fig. 115 - Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba.

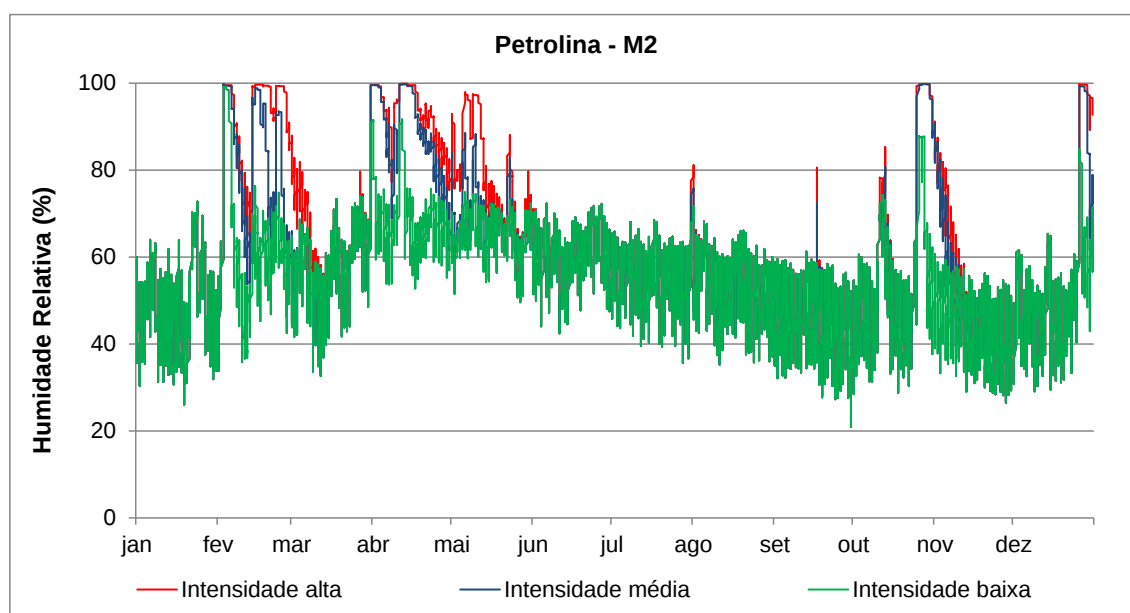


Fig. 116 - Humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina.

Tabela 61 – Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente para M2.

Valores	Curitiba			Petrolina		
	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa
Máximo	99,92	99,85	99,49	99,85	99,75	99,16
Mínimo	40,26	33,40	32,49	20,91	20,91	20,91
Média	90,10	82,94	70,49	62,20	59,46	54,85
Amplitude	59,65	66,44	67,00	78,94	78,85	78,26

A evolução do teor de humidade pode ser observada nas Fig. 117 e Fig. 118.

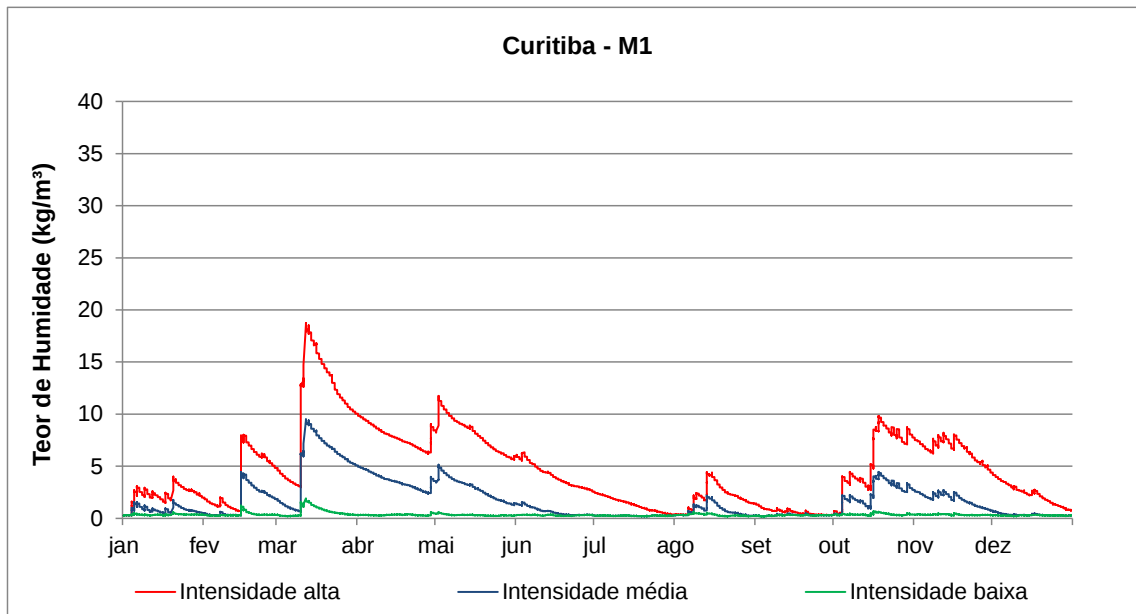


Fig. 117 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba para orientação Leste - M1.

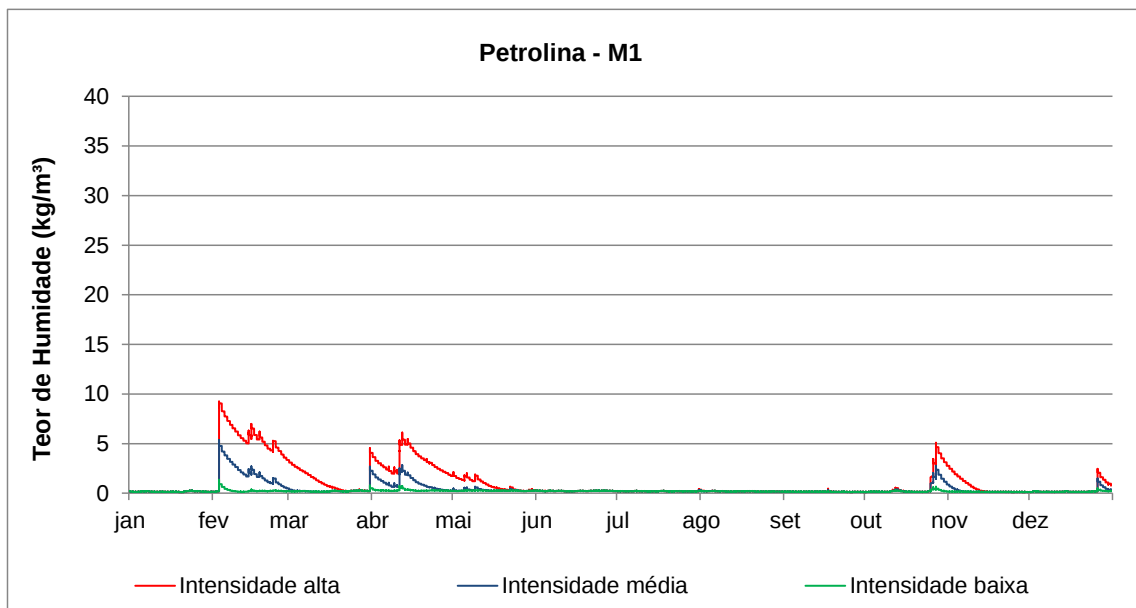


Fig. 118 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina para orientação Leste - M1.

Em Curitiba, a quantidade de chuva calculada através do modelo ASHRAE para intensidade alta, considerando o material M1, apresentam valores máximos de teor de humidade de 15 kg/m^3 entre os meses de março e abril. Para baixa intensidade de chuva, nos mesmos meses do ano, o teor de humidade é quase nula com pico máximo inferior a 2 kg/m^3 .

Em Petrolina, verifica-se que os picos máximos de teor de humidade ocorrem entre os meses de fevereiro e março, entre os meses de abril e maio, e no mês de novembro. O valor máximo de teor de humidade nas paredes analisadas não ultrapassa 10 kg/m^3 (Tabela 62).

Tabela 62- Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente nas cidades de Curitiba e Petrolina- M1.

Valores	Curitiba			Petrolina		
	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa
Máximo	18,73	9,49	1,92	9,25	5,36	1,37
Mínimo	0,23	0,16	0,15	0,10	0,10	0,10
Média	4,61	1,71	0,35	1,09	0,44	0,21
Amplitude	18,50	9,33	1,76	9,14	5,25	1,27

Quando verificada a quantidade de teor de humidade nas paredes com material M2, (Fig. 119 e Fig. 120), nota-se valores máximos de teor de humidade inferiores aos encontrados em Curitiba e Petrolina no material M1 (ver Tabela 63).

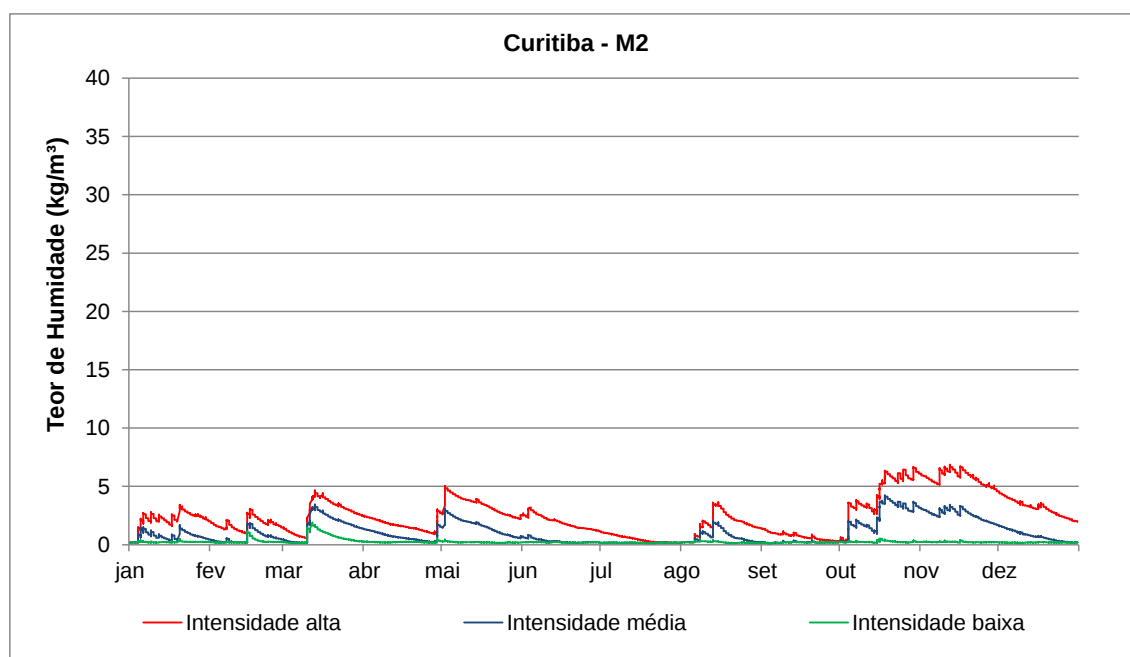


Fig. 119 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Curitiba.

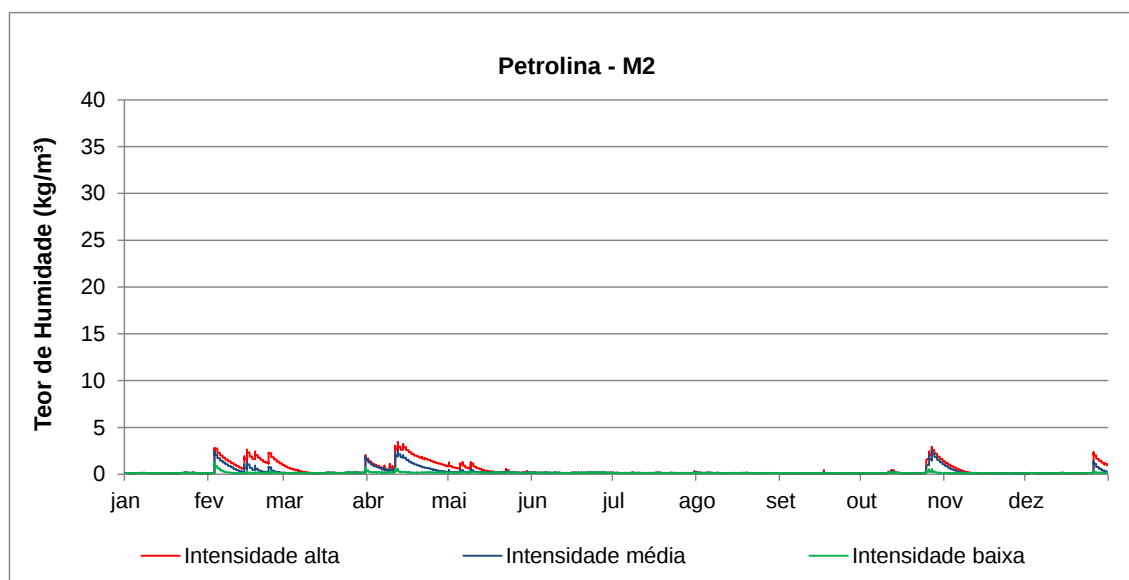


Fig. 120 - Teor de Humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, para diferentes níveis de intensidade da chuva incidente na cidade de Petrolina.

Tabela 63 – Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da quantidade da chuva incidente nas cidades de Curitiba e Petrolina- M2.

Valores	Curitiba			Petrolina		
	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa	Intensidade alta	Intensidade média	Intensidade baixa
Máximo	6,85	4,23	1,90	3,43	2,60	1,30
Mínimo	0,15	0,12	0,11	0,07	0,07	0,07
Média	2,47	1,03	0,25	0,45	0,28	0,14
Amplitude	6,70	4,11	1,79	3,36	2,53	1,23

As curvas de frequência acumulada de humidade relativa e teor de humidade referente às simulações com diferentes níveis de intensidade de chuva incidente são apresentados nas Fig. 121 à Fig. 124.

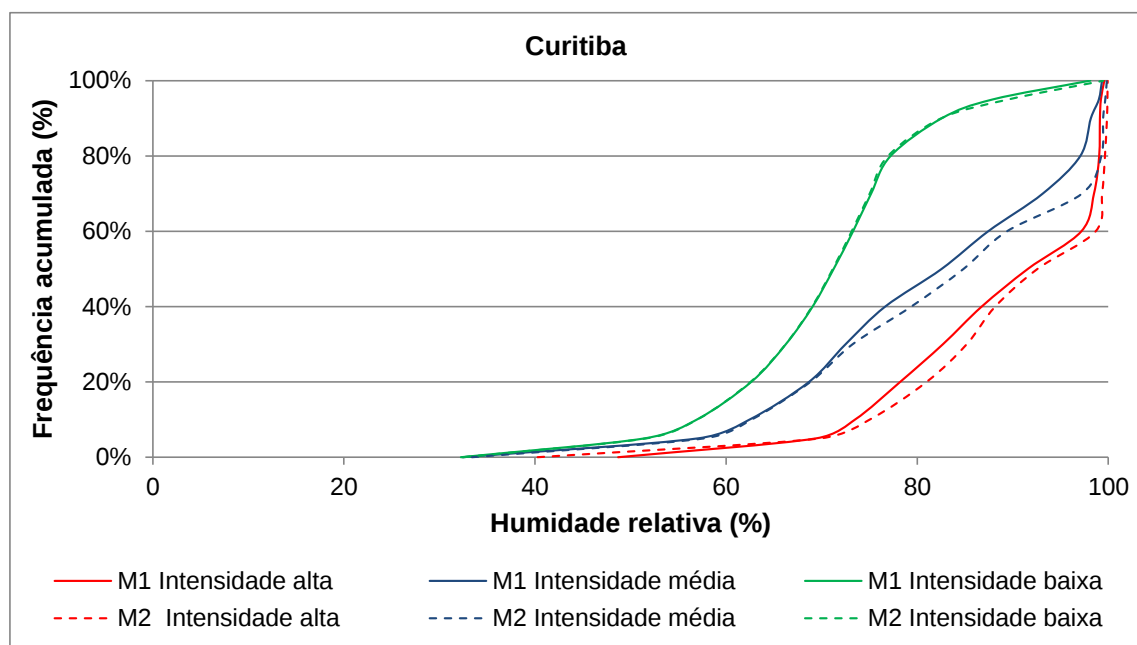


Fig. 121 - Influência da quantidade da chuva incidente na humidade relativa para Curitiba.

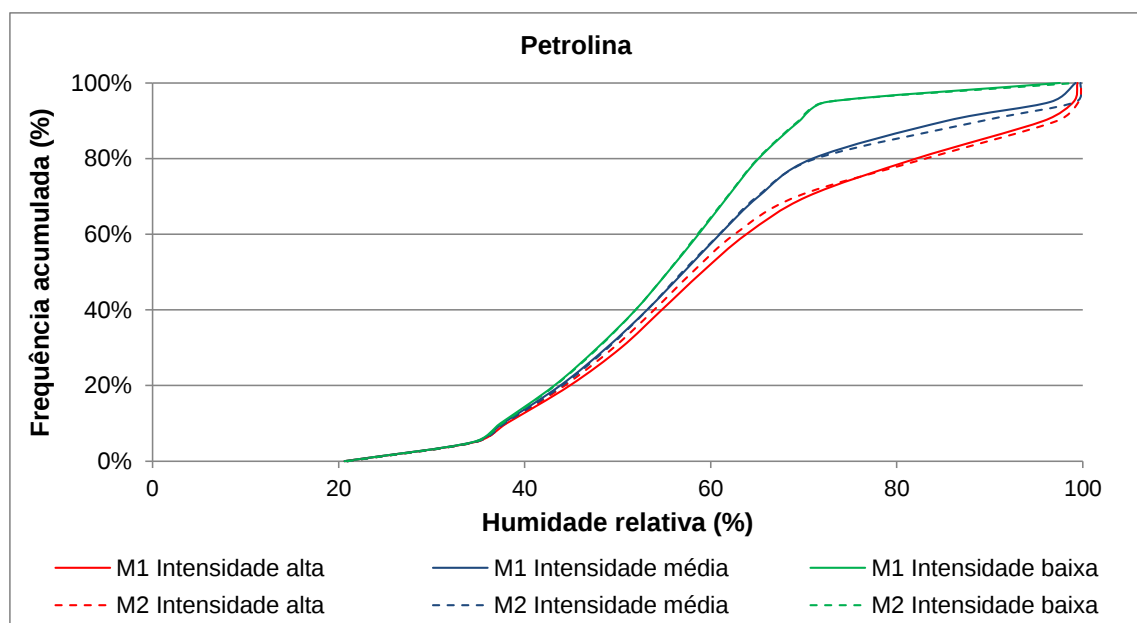


Fig. 122 - Influência da quantidade da chuva incidente na humidade relativa para Petrolina.

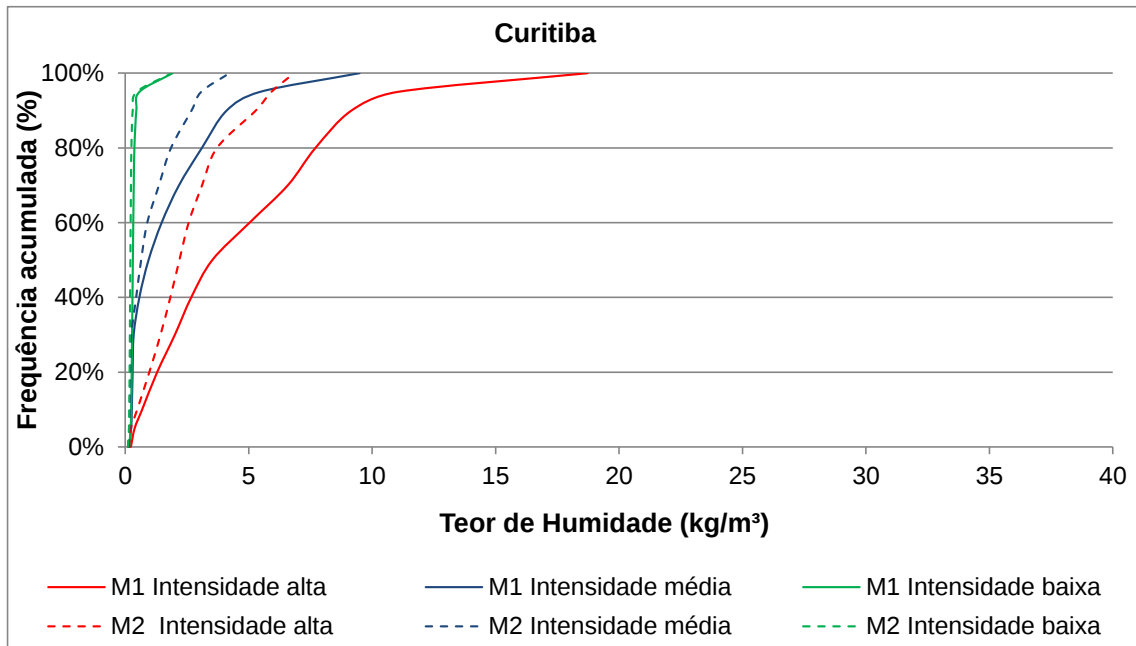


Fig. 123 - Influência da quantidade da chuva incidente no teor de humidade para Curitiba.

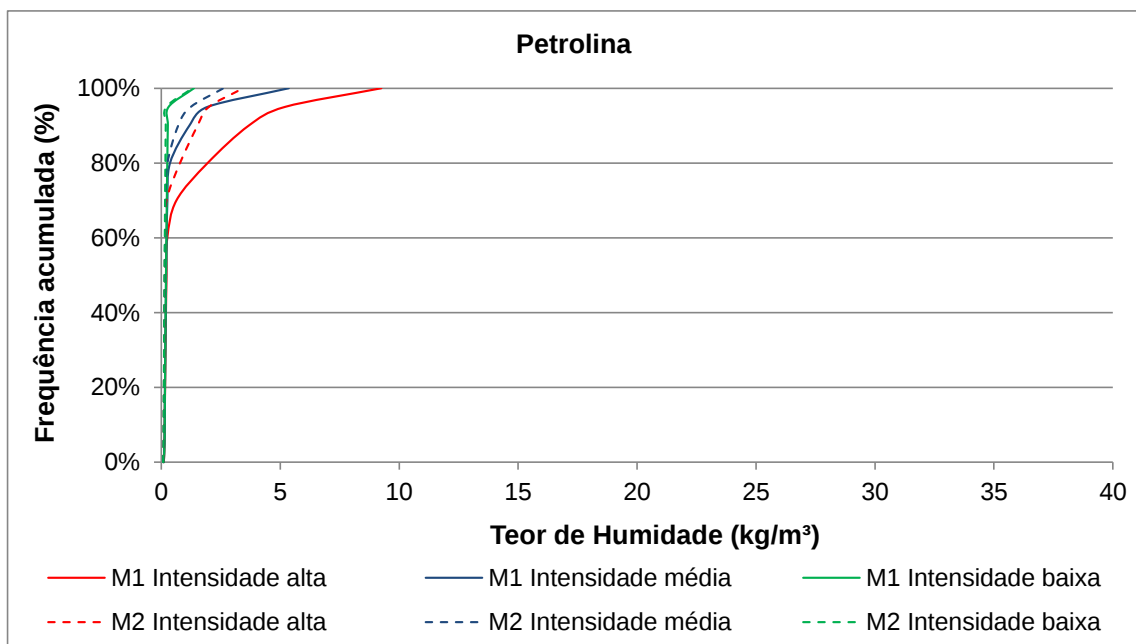


Fig. 124 - Influência da quantidade da chuva incidente no teor de humidade para Petrolina.

Comparando os efeitos dos diferentes níveis de intensidade da chuva incidente no comportamento das paredes de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina pode-se concluir que:

- A variação da intensidade de chuva incidente implica variações de comportamento pouco significativas em Petrolina.
- Uma baixa intensidade de chuva em Petrolina levaria a que, mesmo o gesso não hidrofugado, permanecesse no regime higroscópico durante a maior parte do ano.
- A variação da intensidade de chuva provoca variações claras do teor de humidade e da humidade relativa da parede em Curitiba. A baixa intensidade de chuva implicaria um

comportamento próximo de Petrolina, ainda assim com valores de humidade relativa mais elevada.

5.3.4. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DA PAREDE

Neste subcapítulo tem-se por objetivo compreender como a orientação das fachadas influencia a humidade relativa e o teor de humidade da parede de gesso nas cidades de Petrolina e Curitiba, nos M1 e M2 escolhidas como exemplo. Sendo assim, a partir da situação em análise, faz-se variar a orientação da parede (N, S, L, O), bem como sua localização (Fig. 125 à Fig. 128).

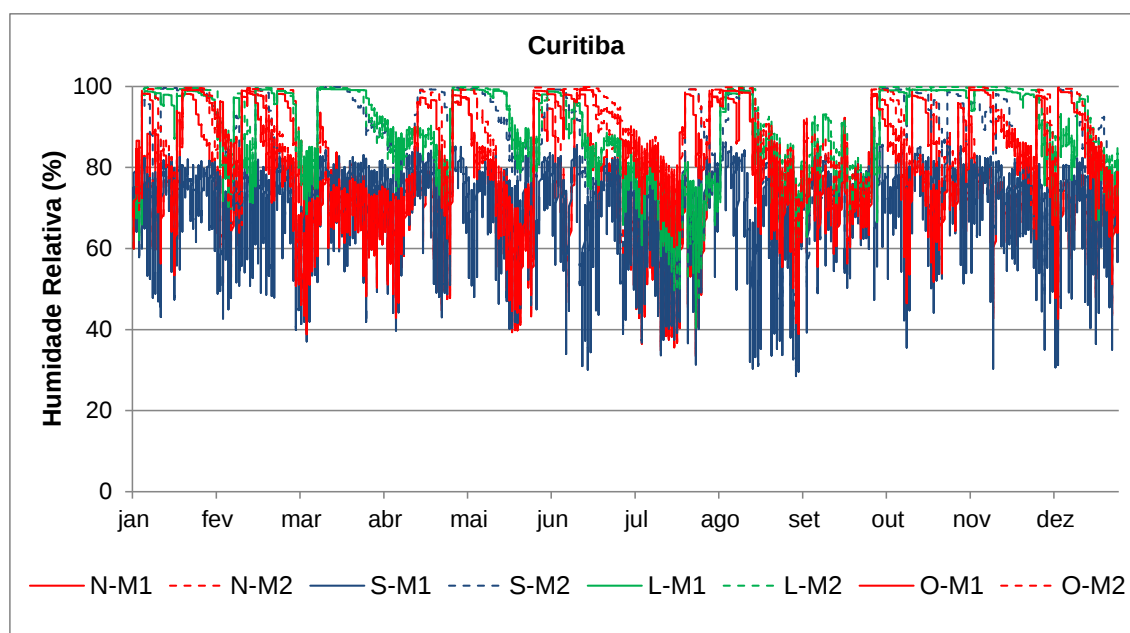


Fig. 125 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da orientação das paredes de gesso na cidade de Curitiba, para os materiais M1 e M2.

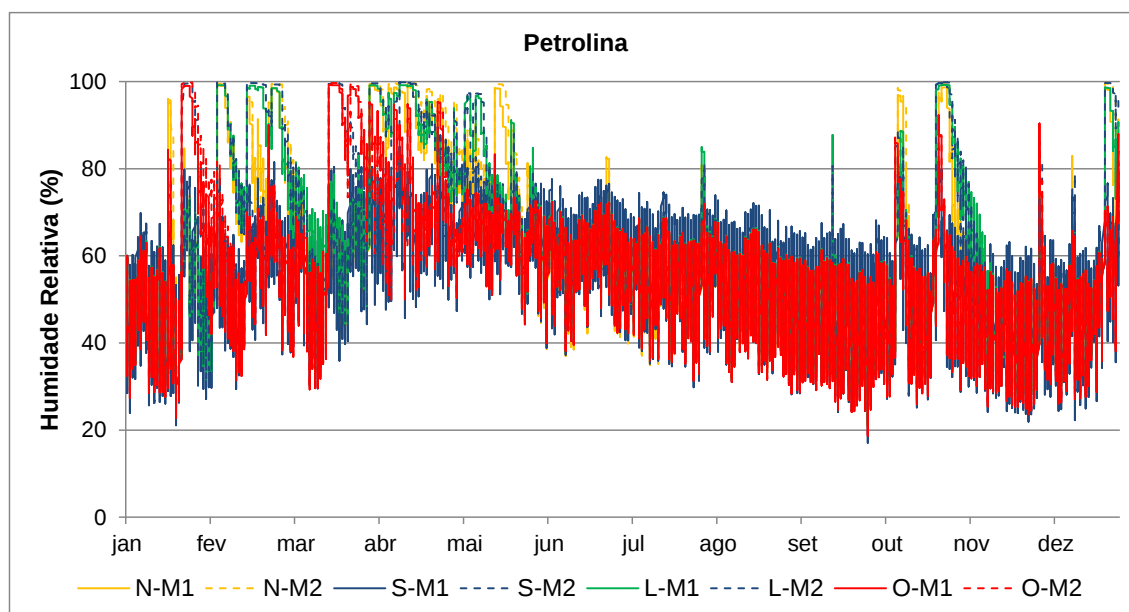


Fig. 126 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da orientação das paredes de gesso na cidade de Petrolina para os materiais M1 e M2.

Numa análise pormenorizada, observa-se através do gráfico da Fig. 125 e Fig. 126, que a orientação da parede tem uma influência sensível na humidade relativa dos blocos de gesso nas duas cidades e nos dois materiais analisados. Os valores médios de humidade relativa apresentam diferenças de 18% HR em Curitiba e 7% HR em Petrolina, para o material M1 (Tabela 64 e Tabela 65). Essa diferença passa de 6% HR em Curitiba e 5% HR em Petrolina para o material M2.

Tabela 64 – Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função da orientação da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina com M1.

Valores	Curitiba				Petrolina			
	N	S	L	O	N	S	L	O
Máximo	99,08	86,18	99,58	99,18	99,20	85,09	99,43	99,27
Mínimo	33,35	28,52	48,70	38,83	21,05	17,04	20,64	18,62
Média	76,89	70,10	88,82	82,79	61,30	55,46	62,45	57,50
Amplitude	65,73	57,66	50,88	60,35	78,15	68,05	78,78	80,65

Tabela 65 - Dados estatísticos da humidade relativa na parede de gesso ao longo de um ano, em função da orientação da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina com M2.

Valores	Curitiba				Petrolina			
	N	S	L	O	N	S	L	O
Máximo	99,77	99,86	99,92	99,89	99,84	99,81	99,85	99,82
Mínimo	33,66	34,00	40,26	39,64	21,32	21,77	20,91	18,88
Média	79,32	84,88	90,10	85,80	62,40	59,71	62,20	57,43
Amplitude	66,11	65,86	59,65	60,25	78,51	78,04	78,94	80,94

No que se refere à influência da orientação da parede no teor de humidade, nota-se novamente uma diferença sensível para cada orientação.

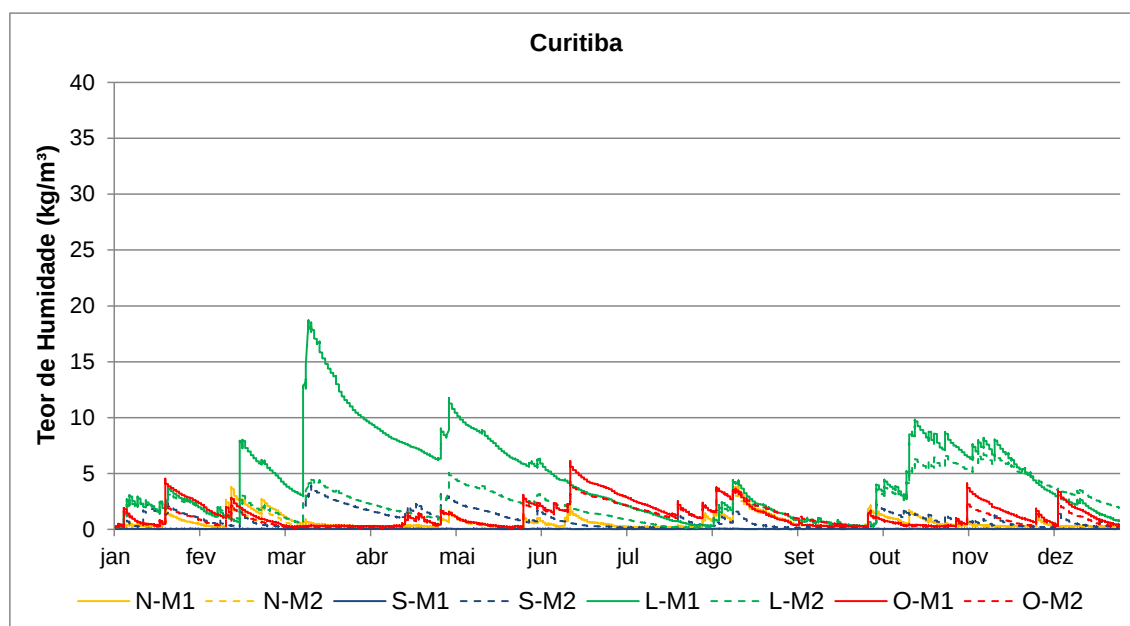


Fig. 127 - Teor de humidade no ponto de monitorização das paredes de gesso ao longo de um ano, em função da orientação na cidade de Curitiba.

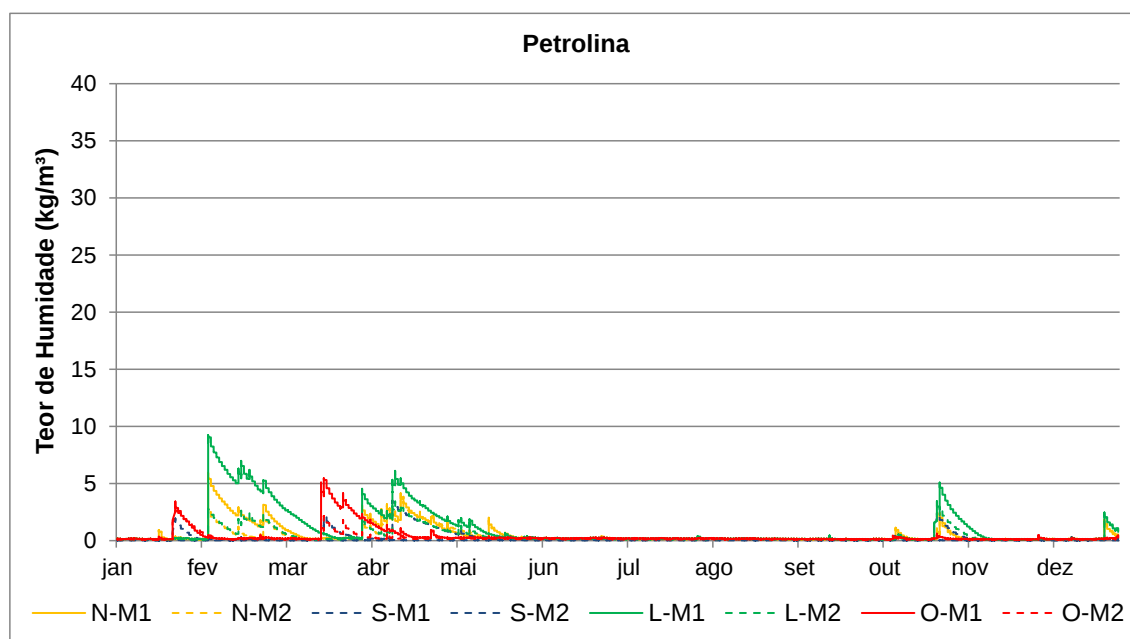


Fig. 128 - Teor de humidade no ponto de monitorização das paredes de gesso ao longo de um ano, em função da orientação na cidade de Petrolina.

Para melhor perceber a influência da orientação nas paredes de gesso na humidade relativa e no teor de humidade da camada interior da parede, constituiu-se a curva de frequência acumulada referente a estes parâmetros (Fig. 129 e Fig. 132).

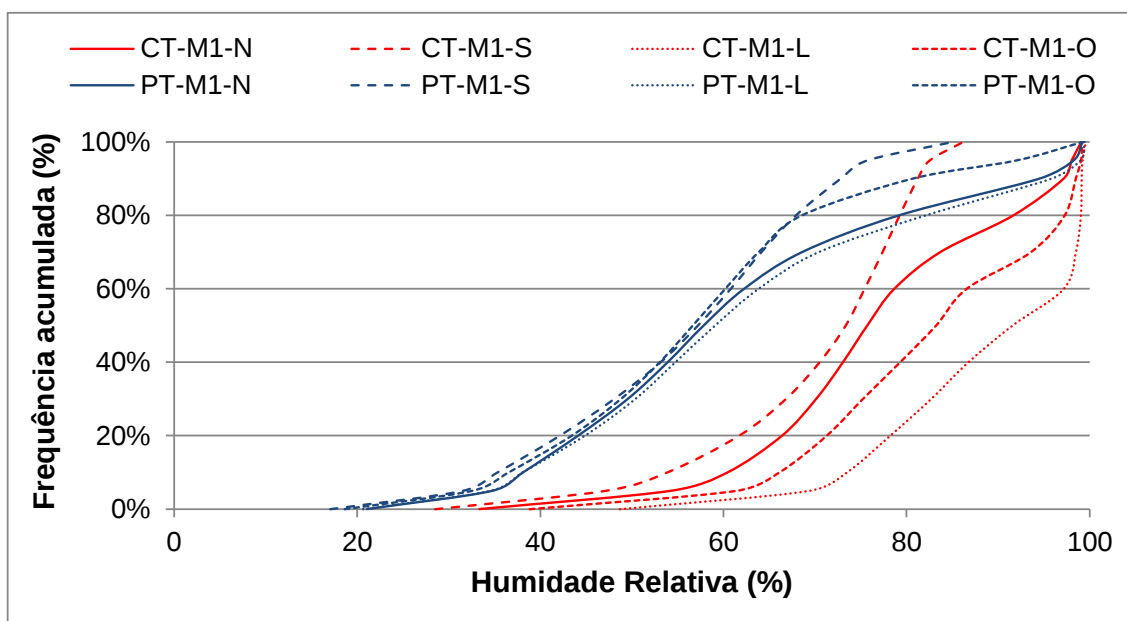


Fig. 129 - Influência da orientação da parede na humidade relativa – Material M1.

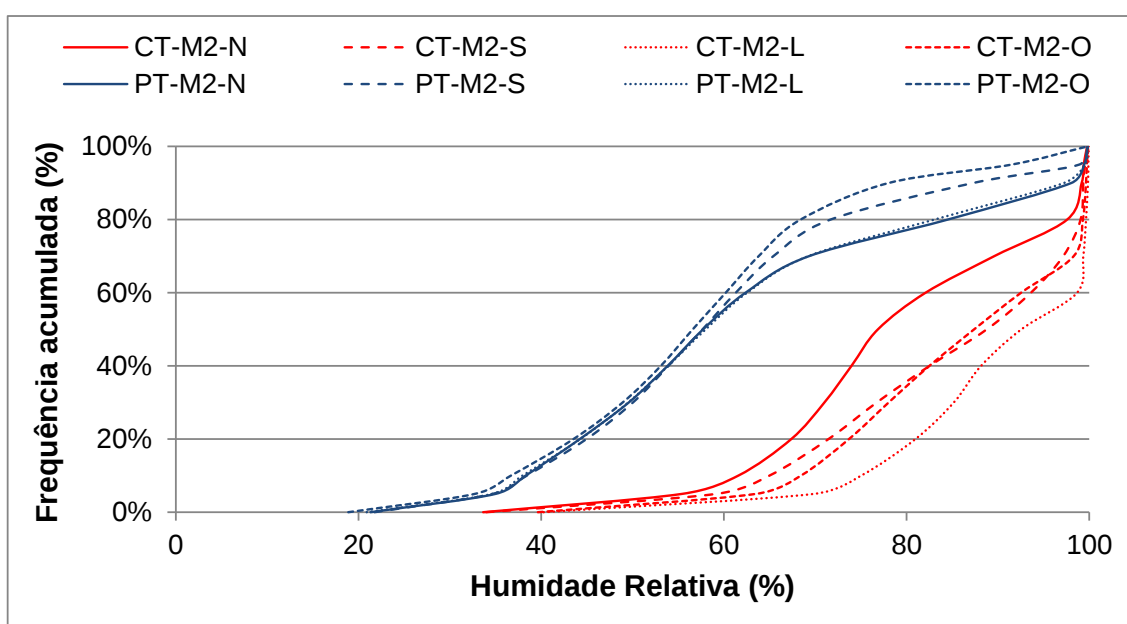


Fig. 130 - Influência da orientação da parede na humidade relativa- Material M2.

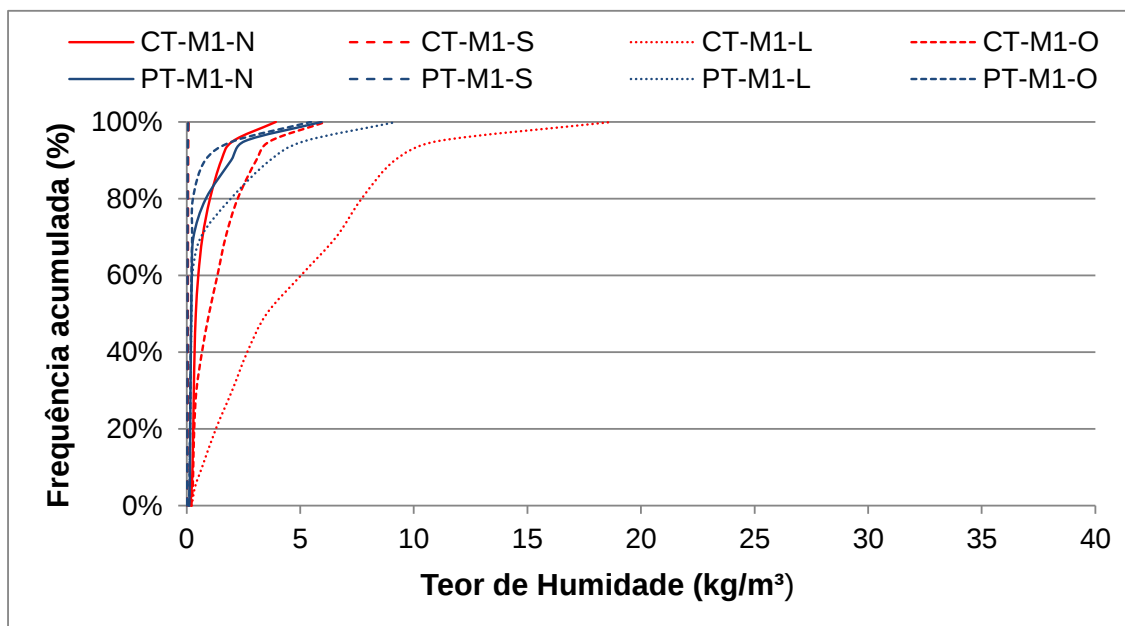


Fig. 131 - Influência da orientação da parede no teor de humidade – Material M1.

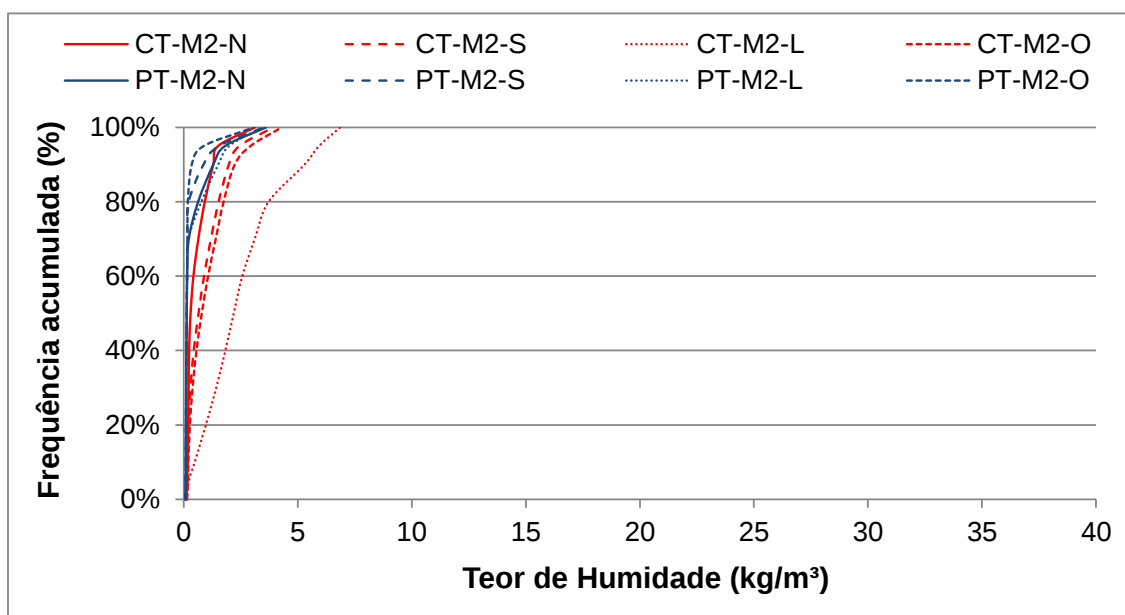


Fig. 132 - Influência da orientação da parede no teor de humidade – Material M2.

A partir dos dados obtidos pode observar-se o seguinte:

- Em Petrolina, os teores de humidade máximos observam-se a Leste, seguidos de perto pelo Norte, Sul e Oeste surgem com valores um pouco mais reduzidos;
- No caso de Curitiba, a orientação Leste destaca-se claramente em termos de teor de humidade e humidade relativa, relativamente às outras orientações.

5.3.5. INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DA PAREDE

Os revestimentos aplicados sobre as paredes podem garantir proteção à alvenaria diminuindo a absorção de chuva incidente. No entanto, um acréscimo da resistência ao vapor resultante das

aplicações de uns revestimentos também dificulta a secagem de água líquida absorvida. Com o objetivo de conhecer a influência do revestimento na secagem das paredes de gesso, analisaram-se para o período de 1 e 10 anos, dois conjuntos de parâmetros para a camada de ar de difusão equivalente (S_D), denominados de C1 e C2, nas paredes com e sem hidrofugação (M1 e M2).

De modo a tornar perceptível a diferença de humidade relativa e de teor de humidade nas paredes analisadas, apresenta-se os gráficos das Fig. 133 à Fig. 136, referente às cidades de Curitiba e Petrolina.

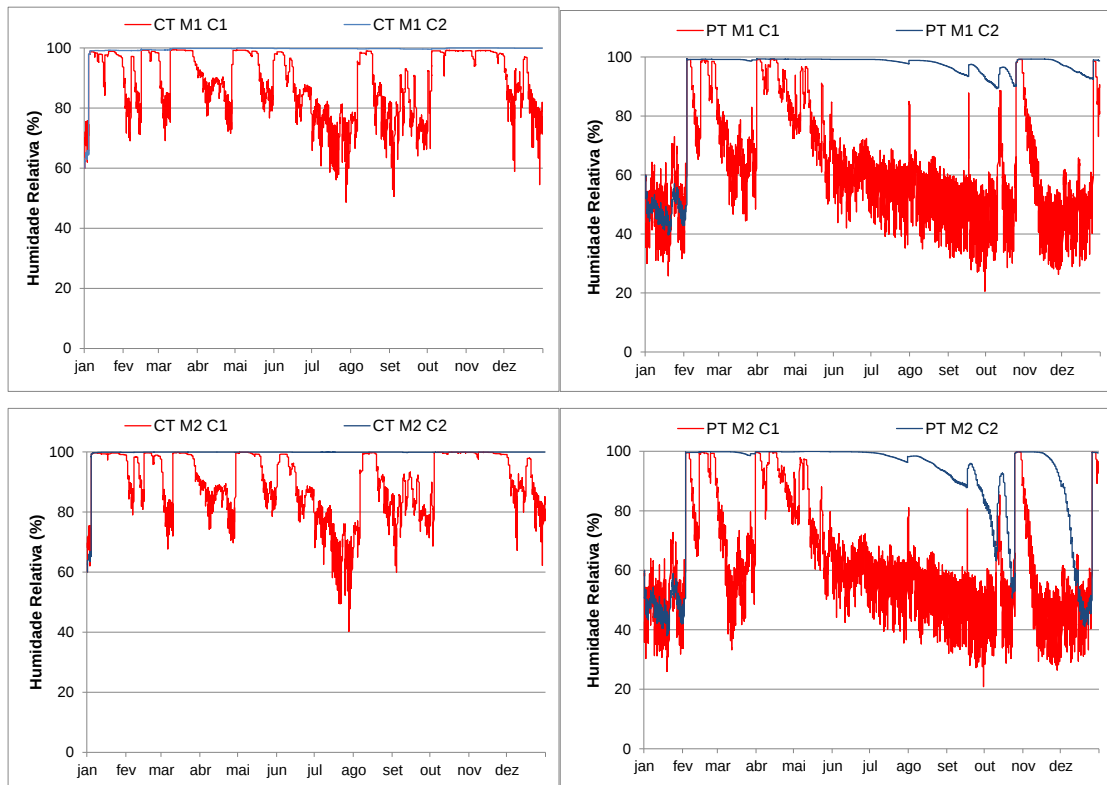


Fig. 133 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Da análise da Fig. 133, para o período de 1 ano, pode-se concluir que para paredes com material M1-C1, a cidade de Curitiba apresenta uma humidade relativa bastante superior à encontrada em Petrolina. Enquanto que o material exposto à ambiência de Curitiba apresenta uma humidade relativa superior a 80%, Petrolina apresenta média de 60%. Esta constatação é comprovada pela média de humidade relativa das cidades apresentada na Tabela 66. Nota-se que a humidade relativa mínima, no mês de agosto, na cidade de Curitiba, no material M2-C1, apresenta um valor de 40% enquanto que no material M1-C1 esta humidade é próxima de 50%.

Quando comparado Petrolina para M1-C1 com M1-C2, ao aplicar um revestimento de $S_D = 1$ no exterior e de $S_D = 0,1$ no interior, verifica-se que inicialmente o material M1-C2 apresenta humidade relativa média próxima de 50% entre os meses de janeiro e fevereiro, devido, sobretudo ao efeito do $S_D = 0,1$ da camada interior. Após a molhagem da camada intermédia ($HR = 100\%$), a parede deixa de secar devido ao efeito da camada exterior com $S_D = 1$.

De forma análoga ao descrito anteriormente, encontra-se o mesmo efeito para o material M2 na cidade de Petrolina com os C1 e C2. Verifica-se um efeito de secagem no material nos períodos compreendidos de outubro a dezembro do ano em análise (1 ano).

Tabela 66 - Valores da humidade relativa no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do revestimento da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Valores	CT-M1		PT-M1		CT-M2		PT-M2	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Máximo	99,58	100,00	99,43	99,43	99,92	99,97	99,85	99,95
Mínimo	48,70	60,00	20,64	39,72	40,26	60,00	20,91	38,03
Média	88,82	99,35	62,45	93,41	90,10	99,56	62,20	89,59
Amplitude	50,88	40,00	78,78	59,71	59,65	39,97	78,94	61,92

Dando prosseguimento à análise, observando agora o ciclo de humidificação nas paredes para 10 anos, verifica-se que se reproduz um ciclo anual para Petrolina enquanto que Curitiba fica permanentemente próximo de HR 100%.

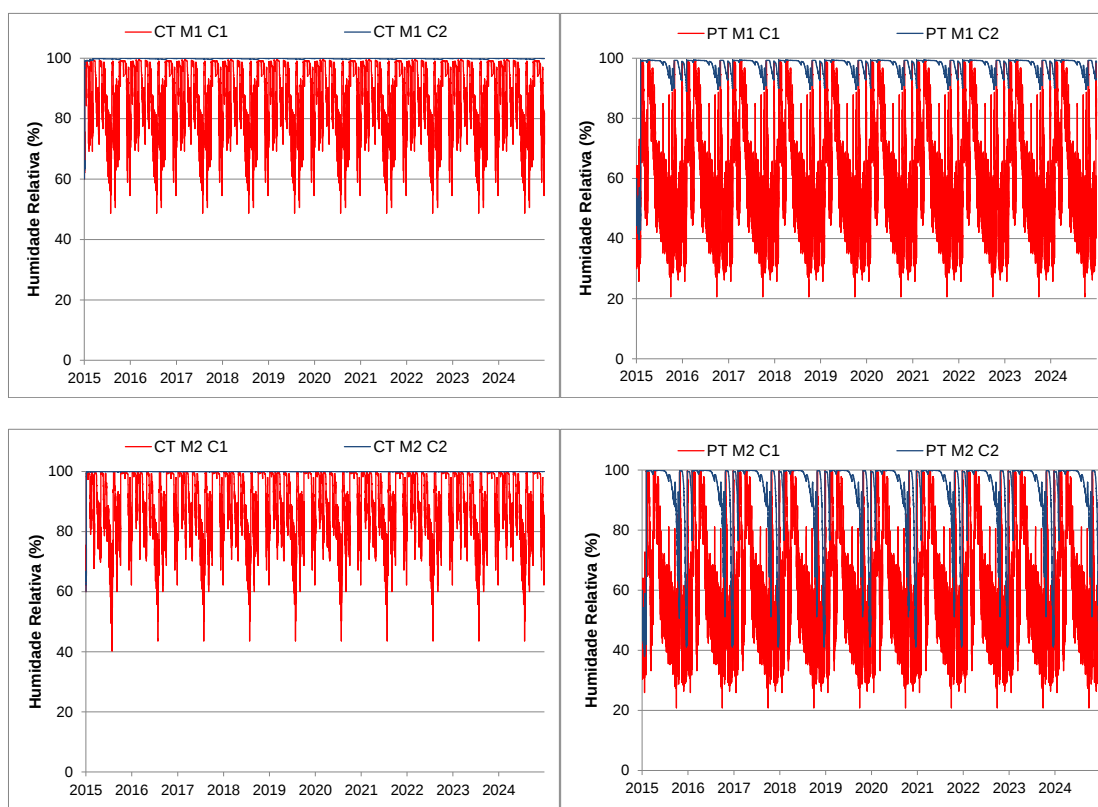


Fig. 134 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de 10 anos, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Fazendo a análise para a cidade de Petrolina com M2- C1, é possível verificar o efeito do hidrofugante fazendo com que a camada do bloco não fique tão húmido. Sendo por isso, visível o melhor efeito de secagem com picos inferiores de humidade relativa cerca de 20%. Enquanto que para o Coeficiente 2

(M2-C2), também pelo efeito da hidrofugação do bloco, a humidade relativa é relativamente baixa, com valores cerca de 40%. Enquanto que no material M1-C2 os picos inferiores estão por volta dos 90% de humidade.

Analisando os gráficos da Fig. 135, observam-se diferenças entre os teores de humidade dos materiais de diferentes valores de coeficiente (S_D), e que são agravados pelo processo de secagem do material, para o período de um ano.

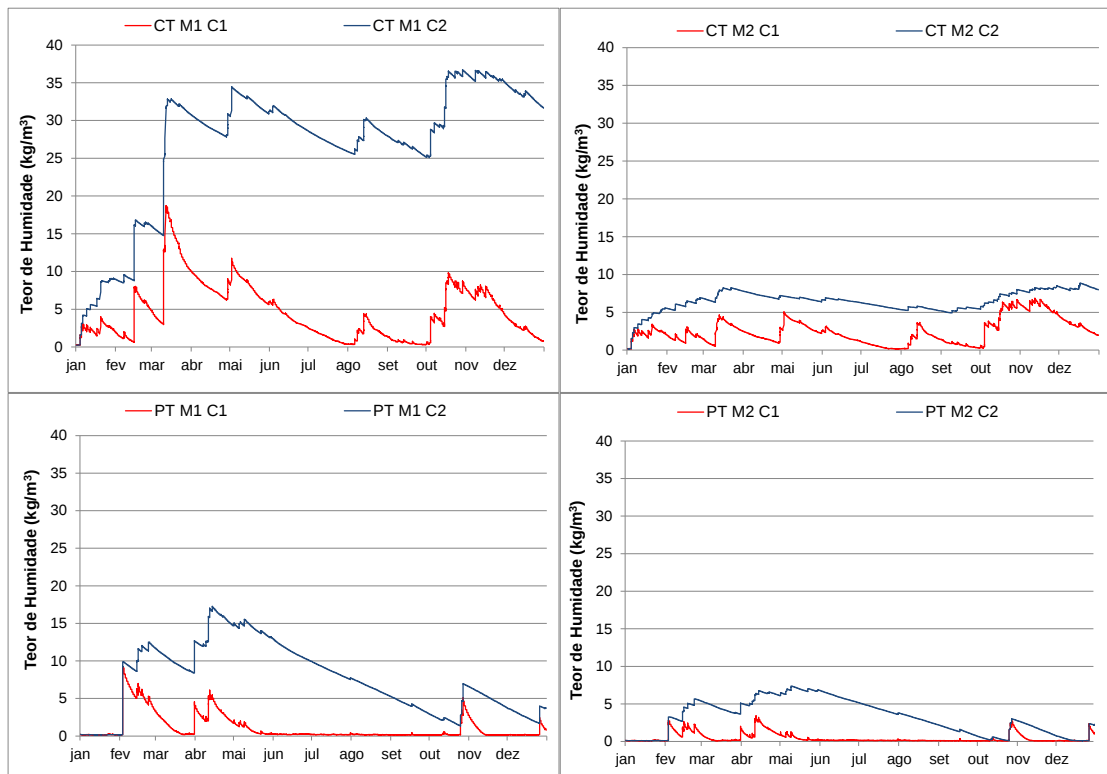


Fig. 135 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Apresenta-se na Fig. 136, os gráficos com os teores de humidade dos materiais de diferentes valores de coeficiente (S_D), para o período de 10 anos.

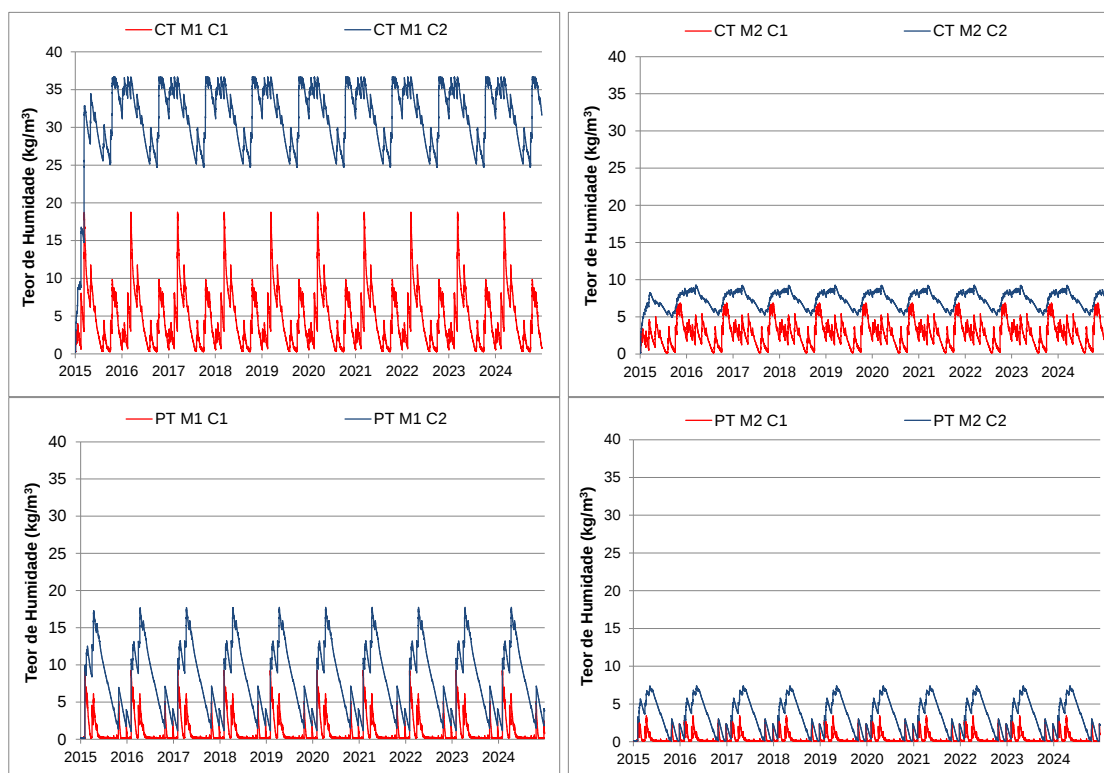


Fig. 136 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de 10 anos, em função do revestimento da parede de gesso nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Fazendo uma análise para a cidade de Petrolina com C1, nota-se que o máximo teor de humidade ao longo de 1 ano no material M2 é de $3,4 \text{ kg/m}^3$, enquanto que no M1 apresenta $9,2 \text{ kg/m}^3$, representando mais que 100% do valor de M2 (Fig. 135), (Tabela 67). Verifica-se mais uma vez, que a presença do hidrofugante interfere positivamente para uma menor quantidade de água na parede de gesso. Quando analisado essas mesmas paredes para o período de 10 anos, os valores do teor de umidade apresentam-se os mesmos (Fig. 136), (Tabela 68). Quando analisado as paredes com coef. 2, os valores de teor de humidade é quase o dobro do que os valores encontrados no C1, nos dois materiais.

Analisando a cidade de Curitiba, observa-se nas paredes com C1 e C2, que no material M2, as paredes apresentam médias inferiores de teor de humidade quando comparados aos C1 e C2 no material M1. Enquanto que a diferença percentual entre os coeficientes analisados no M2 chega a mais de 100%, no material M1, o menor valor para o C1, do M2, representa 17,2% do teor presente no C2 do mesmo material.

Tabela 67 - Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de um ano, em função do revestimento da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Valores	CT-M1		PT-M1		CT-M2		PT-M2	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Máximo	18,73	36,69	9,25	17,28	6,85	8,85	3,43	7,38
Mínimo	0,23	0,23	0,10	0,14	0,15	0,15	0,07	0,09
Média	4,61	26,77	1,09	7,52	2,47	6,49	0,45	3,26
Amplitude	18,50	36,47	9,14	17,14	6,70	8,70	3,36	7,29

Tabela 68 - Valores do teor de humidade no ponto de monitorização da parede de gesso ao longo de 10 anos, em função do revestimento da parede nas cidades de Curitiba e Petrolina.

Valores	CT-M1		PT-M1		CT-M2		PT-M2	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Máximo	18,76	36,70	9,25	17,72	6,85	9,28	3,43	7,42
Mínimo	0,23	0,23	0,10	0,14	0,15	0,15	0,07	0,09
Média	4,63	31,34	1,09	7,97	2,78	7,32	0,46	3,38
Amplitude	18,53	36,47	9,14	17,58	6,71	9,12	3,36	7,33

A seguir, apresentam-se os gráficos da frequência acumulada, para as combinações de materiais e coeficientes de superfícies simulados para um período de 1 e 10 anos (Fig. 137 à Fig. 140).

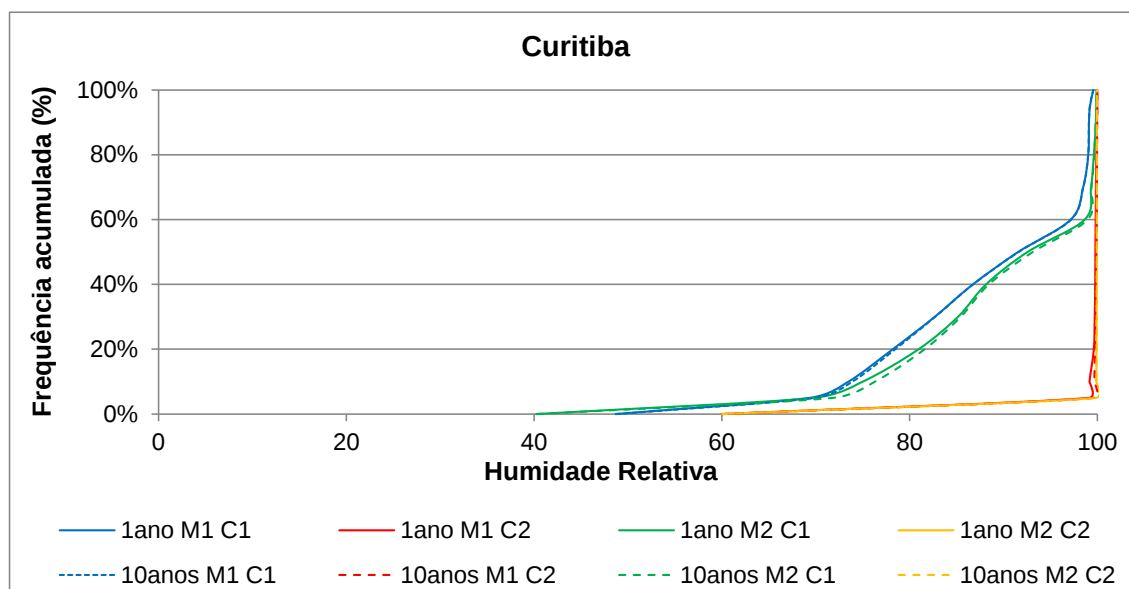


Fig. 137 - Influência do revestimento na humidade relativa para 1 ano e 10 anos na cidade de Curitiba.

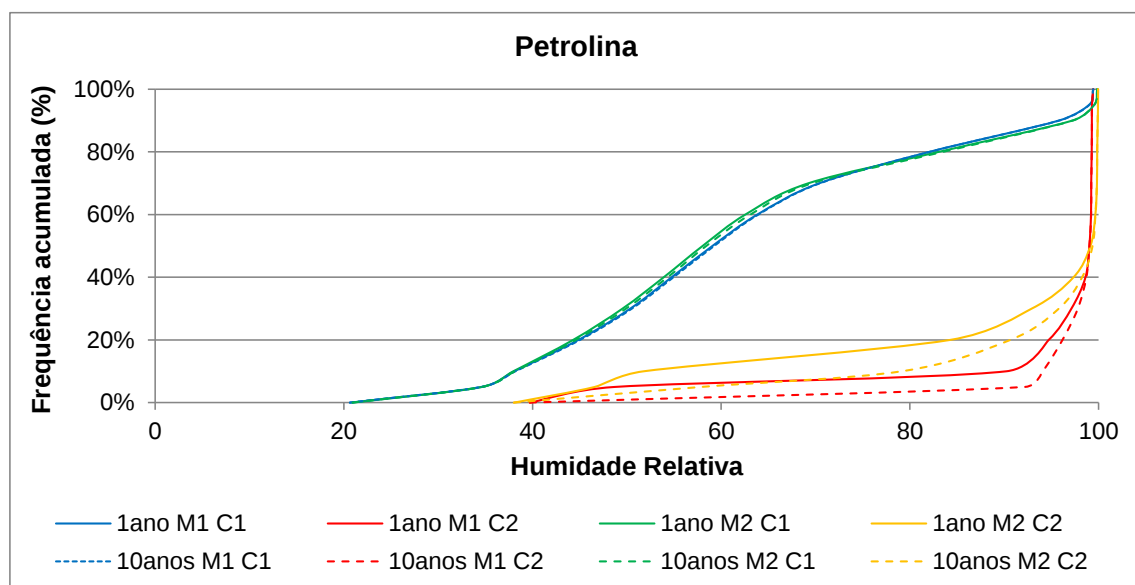


Fig. 138 - Influência do revestimento na umidade relativa para 1 ano e 10 anos na cidade de Petrolina.

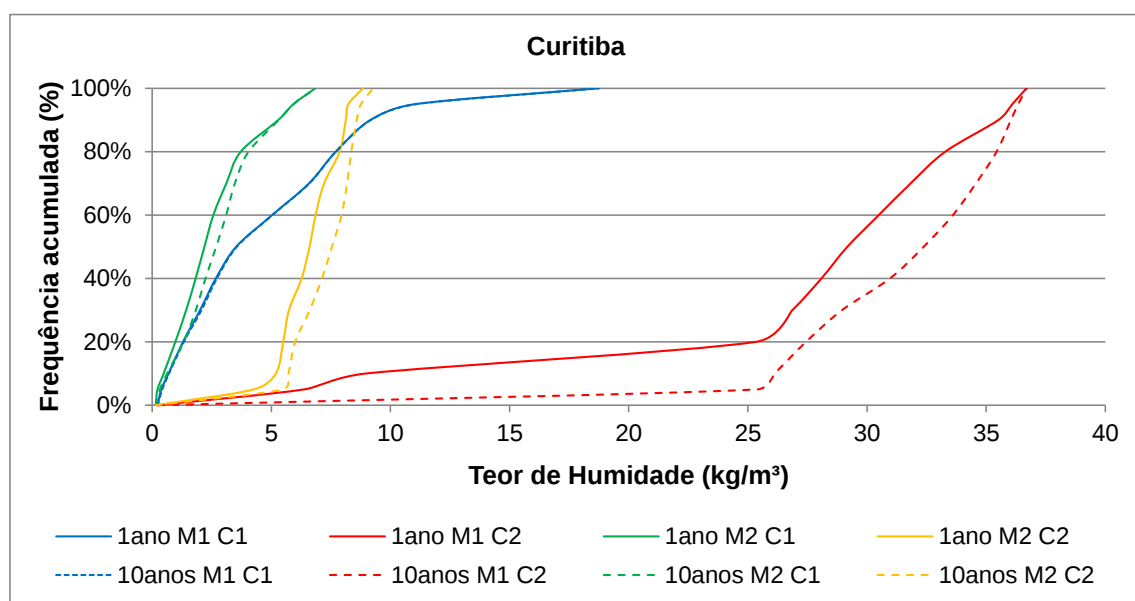


Fig. 139 - Influência do revestimento no teor de umidade para 1 ano e 10 anos na cidade de Curitiba.

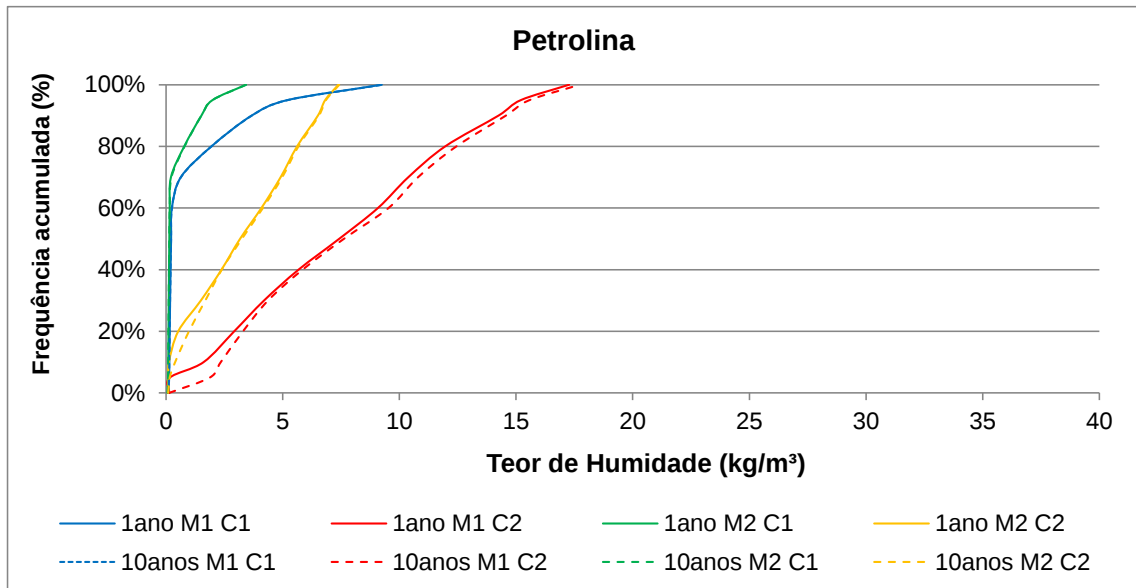


Fig. 140 - Influência do revestimento no teor de humidade para 1 ano e 10 anos na cidade de Petrolina.

Da análise dos gráficos pode-se concluir que:

- Em Curitiba, sem considerar o efeito do revestimento (C1), nota-se que em 50% do tempo a humidade relativa para o Material M1-C1 e M2-C1 é de aproximadamente 90%. No entanto, quando considerado o efeito do revestimento (C2), no mesmo intervalo de tempo, a humidade relativa chega a 100% de humidade. Entretanto, devido ao teor de hidrofugação, o M2 em quaisquer coeficientes utilizados, apresenta humidade inferior ao M1.
- Em Petrolina, sem considerar o efeito do revestimento, em 50% do tempo, a humidade relativa não chega a 60% nos dois materiais analisados (M1e M2).
- Os materiais com o C2, em 10% do tempo, no M1, apresentam cerca de 90% de humidade relativa. Enquanto que no material M2 só a partir de 25% do tempo passa a apresentar o mesmo percentual de humidade (90%).
- O teor de humidade das paredes em Curitiba é superior aos resultados em Petrolina nos dois períodos analisados. Paredes com C2, em 10% do tempo, apresenta no material M1, teor de humidade entre 24 e 26 kg/m³ e no M2 entre 4 e 6 kg/m³, correspondendo a uma diferença percentual entre os dois materiais, em Curitiba, de aproximadamente 80%. Em Petrolina, com C2, no mesmo intervalo de tempo (10%), a parede com o material M2 apresenta-se quase sem teor de humidade, enquanto que o M1 não ultrapassa valores de 3 kg/m³.
- Se comparado o C1 e C2 nas duas cidades, ainda assim, nota-se que os materiais M1 e M2 para o C1 apresentam baixo teor de humidade, com valores que em 10% do tempo para Curitiba, são inferiores a 1 kg/m³ e em aproximadamente 70% do tempo, quase nulos em Petrolina.

5.3.6. INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO

A localização geográfica de uma cidade influencia fortemente o clima de uma região e de um país. Sendo assim, facilmente encontraremos para as mesmas soluções construtivas, uma variação de ocorrência ao longo das diferentes regiões.

Com o intuito de tornar mais perceptível os diferentes comportamentos das paredes de gesso nas diferentes localizações, será apresentado nas Fig. 141, Fig. 142, Fig. 143 e Fig. 144, as variações de humidade relativa e teor de humidade nos dois tipos de paredes (M1 e M2), orientadas nos quatro pontos cardeais, para cada uma das localizações estudadas.

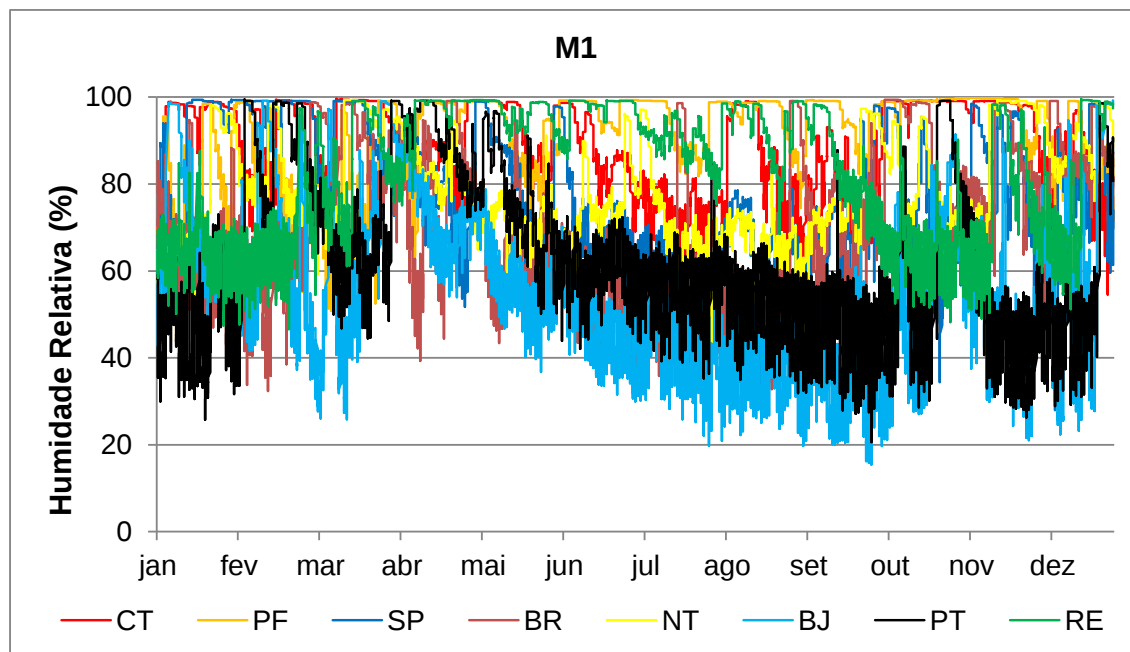


Fig. 141 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso- Material M1.

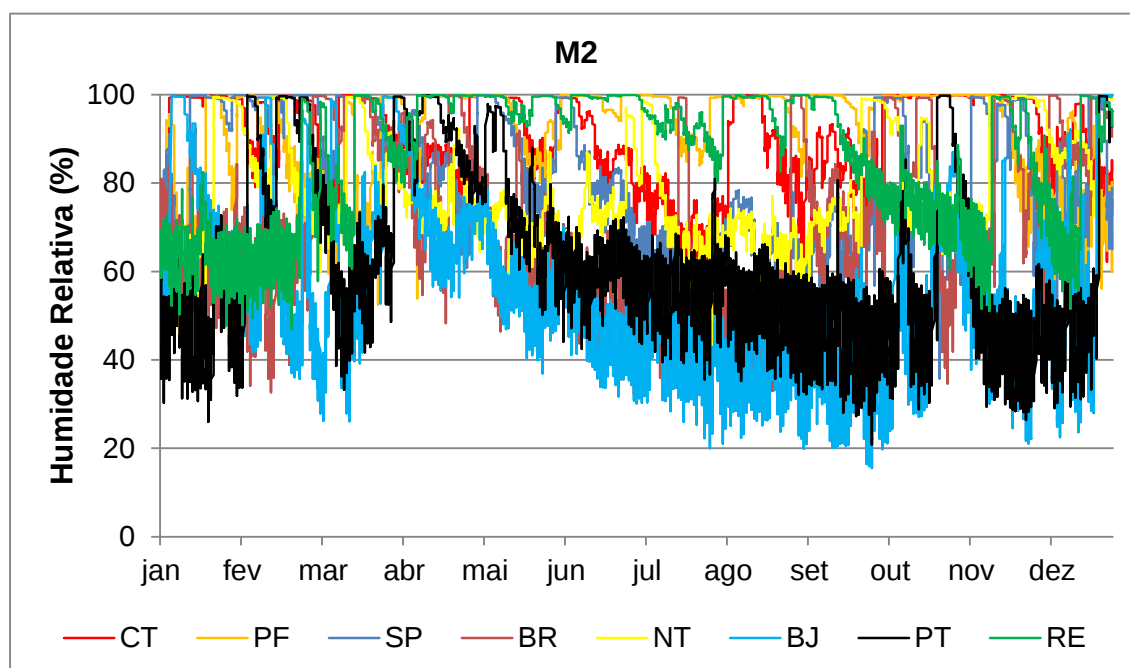


Fig. 142 - Humidade relativa no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso- Material M2.

Observa-se através das Fig. 141 e Fig. 142 uma grande variabilidade de resultados para todas as cidades avaliadas. Nota-se ao longo do tempo, uma variação na humidade relativa de 15% a 100%, e que são as cidades de Bom Jesus da Lapa- BJ e Petrolina - PE, as que apresentam tanto no material M1 como no material M2, uma menor humidade, em torno de 15% a 40%.

Relativamente ao teor de humidade, observam-se as Fig. 143 e Fig. 144.

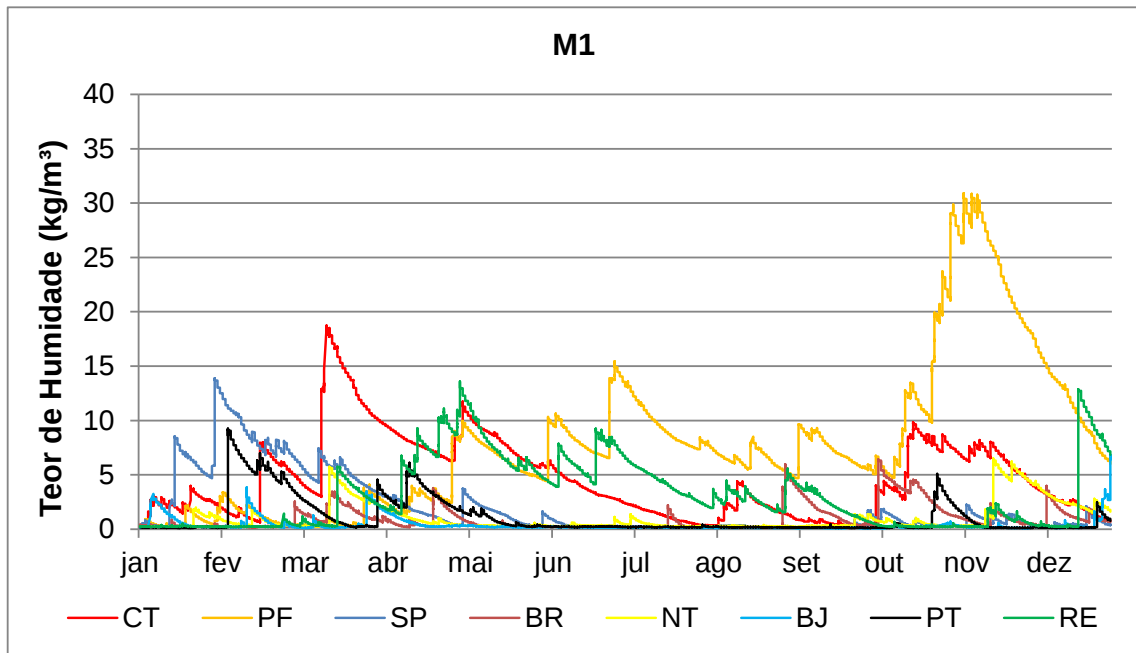


Fig. 143 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso – Material M1.

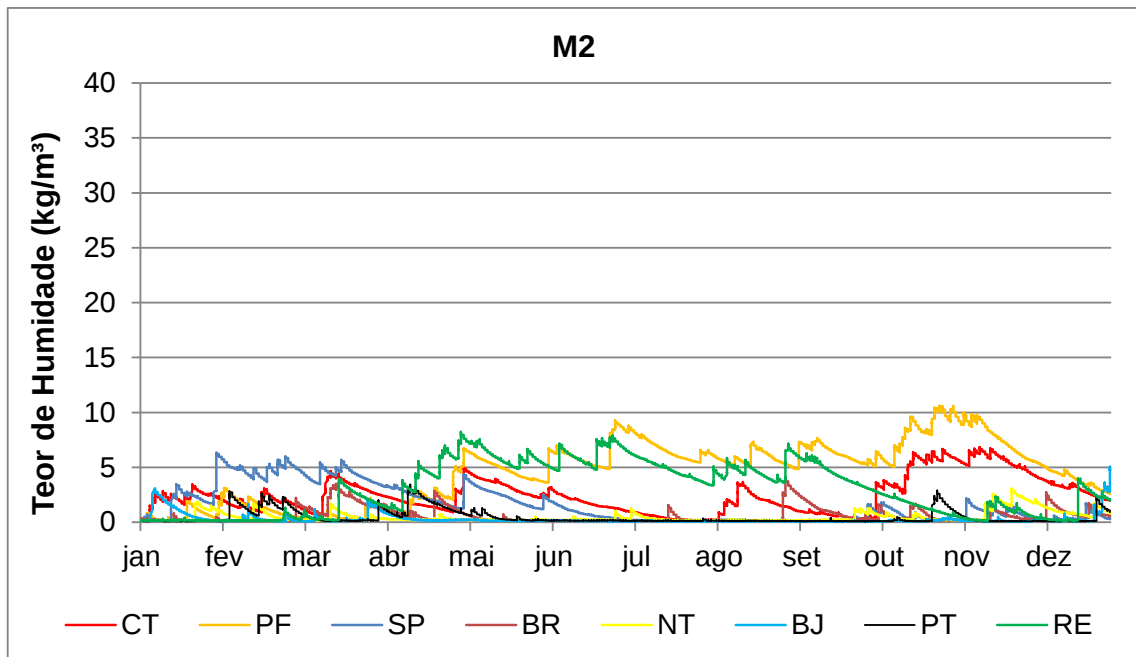


Fig. 144 - Teor de humidade no ponto de monitorização ao longo de um ano, em função da localização das paredes de gesso- Material M2.

Das cidades que apresentam maior teor de humidade nas paredes com material M1, encontra-se Passo Fundo com aproximadamente 30 kg/m^3 no mês de novembro, seguida da cidade de Curitiba com cerca de 18 kg/m^3 no mês de março. Nas paredes com material M2, a variação média do teor de humidade em todas as cidades é de aproximadamente 5 kg/m^3 . Com picos de humidade mais elevados entre os meses de outubro a novembro na cidade de Curitiba.

Para uma melhor visualização, apresenta-se o gráfico da frequência acumulada quanto ao comportamento da humidade relativa e do teor de humidade nas paredes de gesso com material M1 e M2, na orientação Leste, de acordo as cidades estudadas e a sua localização (Fig. 145 e Fig. 146).

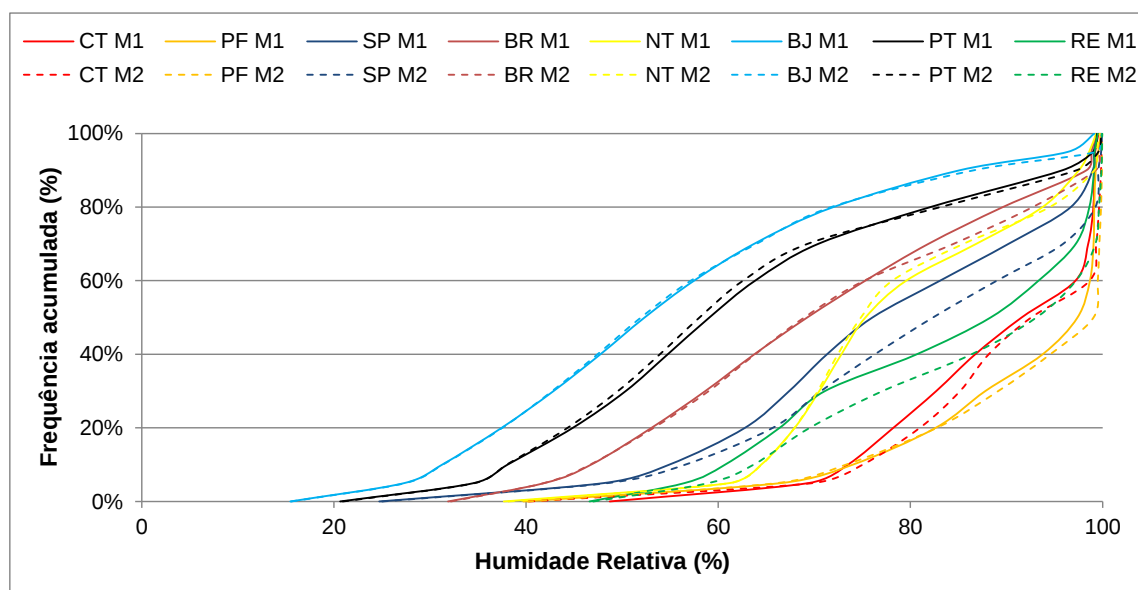


Fig. 145 - Influência da localização na humidade relativa.

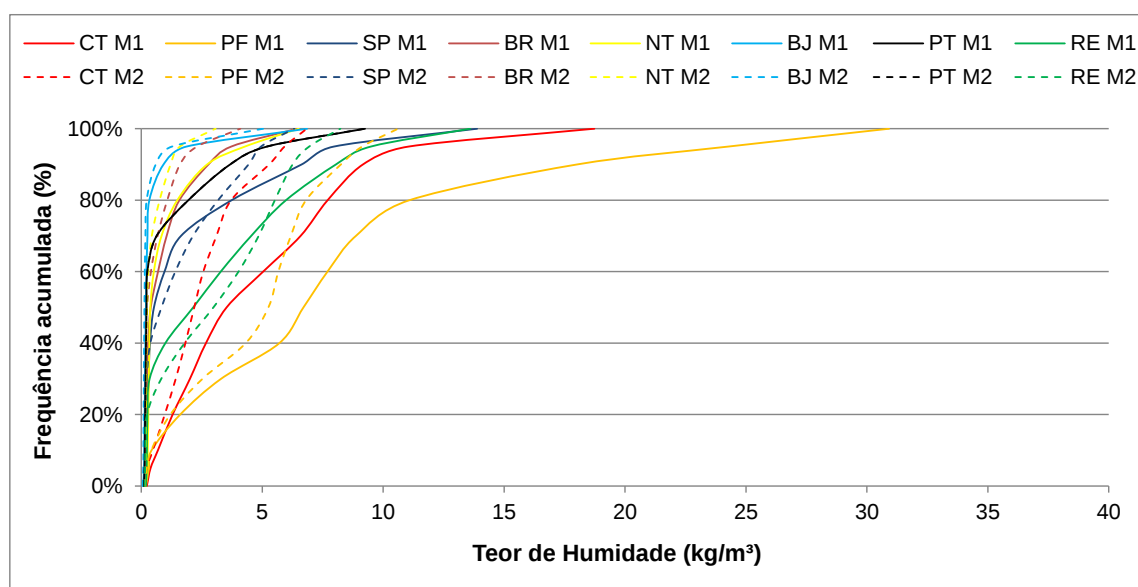


Fig. 146 - Influência da localização no teor de humidade.

Da análise dos gráficos conclui-se que:

- A humidade relativa e o teor de humidade das cidades analisadas, tanto no material M1, como no M2, apresentam comportamento semelhantes.
- A cidade de Bom Jesus da Lapa e Petrolina apresenta em todo o tempo analisado, menor humidade relativa nas paredes nos dois materiais. Seguida da cidade de Brasília, que a partir de 65% do tempo, apresentam paredes mais húmidas com o material M2.
- Observando as cidades de São Paulo (SP) e Recife (RE) seguidos de Curitiba (CT) e Passo Fundo (PF), nota-se que as paredes com aditivo hidrofugante (M2) apresentam em quase todo o tempo analisado, maior humidade relativa que as paredes sem aditivo (M1). As paredes com material M2 localizadas em todas as cidades analisadas apresentam menor teor de humidade quando comparado ao material M1 para as mesmas localidades. Uma ressalva para as cidades de Recife e São Paulo com situação contrária, apresentando maior teor de humidade com o M2 em até 75% do tempo. Entretanto, a partir dos 75% do tempo, passando a apresentar menor teor de humidade no M2, comprovando o efeito positivo das paredes com o aditivo hidrofugante.
- As paredes nas cidades de Bom Jesus, Petrolina, Niterói e Brasília, em aproximadamente 70% do período analisado, apresentam teor de humidade quase nulos nos dois materiais, comprovando o efeito da hidrofugação da parede no material (M2).

Com vista a avaliar o efeito da orientação com a localização das paredes de gesso no material M2, realizaram-se gráficos (Fig. 147 e Fig. 148), tendo em conta a precipitação anual e a radiação solar, respetivamente, das oito cidades brasileiras, nas quatro orientações geográficas, em função do teor de humidade para o percentil de 90%. Como tal, a precipitação e a radiação solar anual de cada cidade encontram-se descritas nas Tabela 69 e Tabela 70, respetivamente.

Tabela 69 – Precipitação anual das cidades brasileiras em estudo.

Cidade	PT	BJ	BR	NT	CT	SP	PF	RE
Precipitação (mm/ano)	680	877	1011	1093	1466	1519	1683	1791

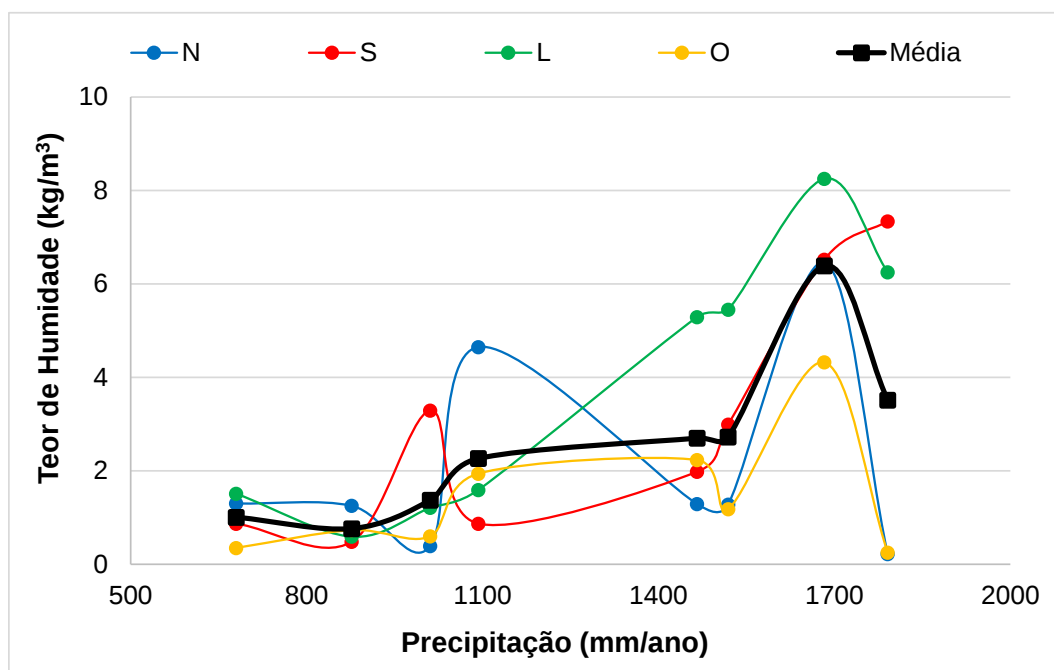


Fig. 147 - Teor de umidade no ponto de monitorização em função da orientação e da precipitação.

Tabela 70 – Radiação solar anual das cidades brasileiras em estudo.

Cidade	PF	CT	SP	NT	BR	BJ	PT	RE
Radiação solar (kWh/m²ano)	5547	5711	5795	5842	6146	6226	6321	6345

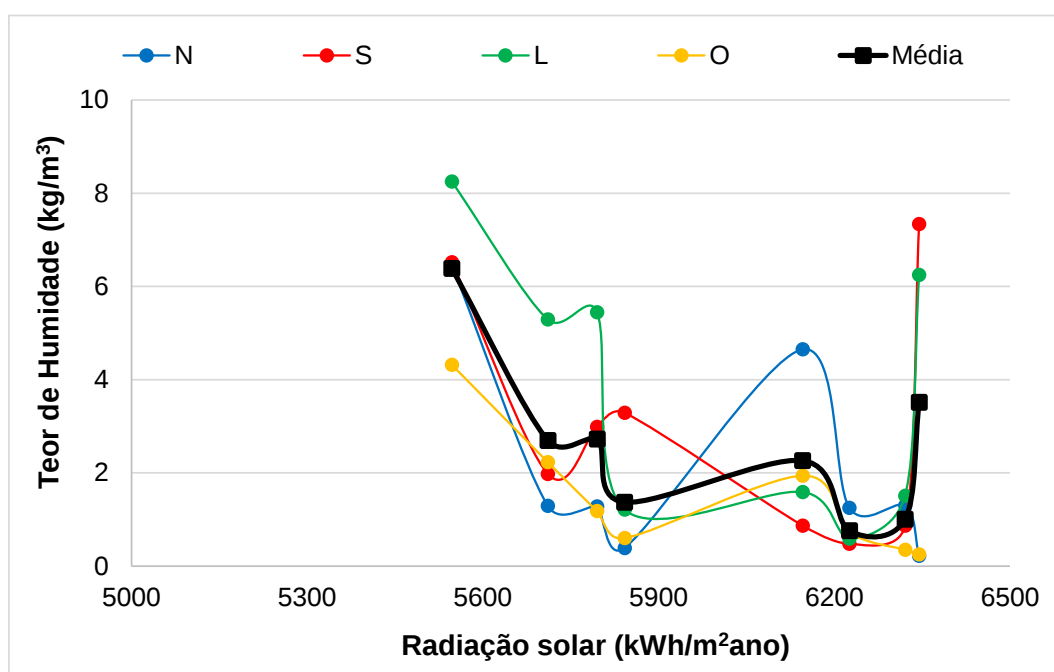


Fig. 148 - Teor de umidade no ponto de monitorização em função da orientação e da radiação solar.

Observa-se através da Fig. 147, que há uma tendência de quanto maior o valor da precipitação, maior o teor de humidade.

A tendência observada não se verifica na cidade de Passo Fundo, que por apresentar maior teor de humidade nas quatro orientações, apresenta pontos extremos de teor de humidade, na média encontrada.

Ao contrário de Passo Fundo, as cidades de Petrolina e Bom Jesus da Lapa, apresentam menor teor de humidade nas quatro orientações.

Das duas cidades situadas no mesmo estado brasileiro, Recife e Petrolina apresentam volumes de precipitação bastante diferenciados. Recife a Leste com 1791 mm/ano e Petrolina no extremo Oeste do estado com 680 mm/ano (Tabela 69). Nota-se um teor de humidade em Recife, quatro vezes maior que em Petrolina.

Quanto à influência da radiação solar no teor de humidade, verifica-se que, de um modo geral, o teor de humidade diminui com o aumento da radiação solar. No entanto, essa correlação não se verifica na cidade de Recife, o que pode dever-se ao facto de apresentar um clima quente, mas também húmido. Ao contrário da cidade de Petrolina que apresenta teores de humidade muito baixos, para as quatro orientações, em comparação com Recife. De uma forma geral, a orientação Oeste apresenta teor de humidade inferior em quase todas as cidades, à exceção de Curitiba onde se verifica uma maior diferença.

Para uma melhor visualização, apresenta-se o mapa do Brasil com as oito cidades analisadas, com os gráficos do teor de humidade para o material M2 (Fig. 149).

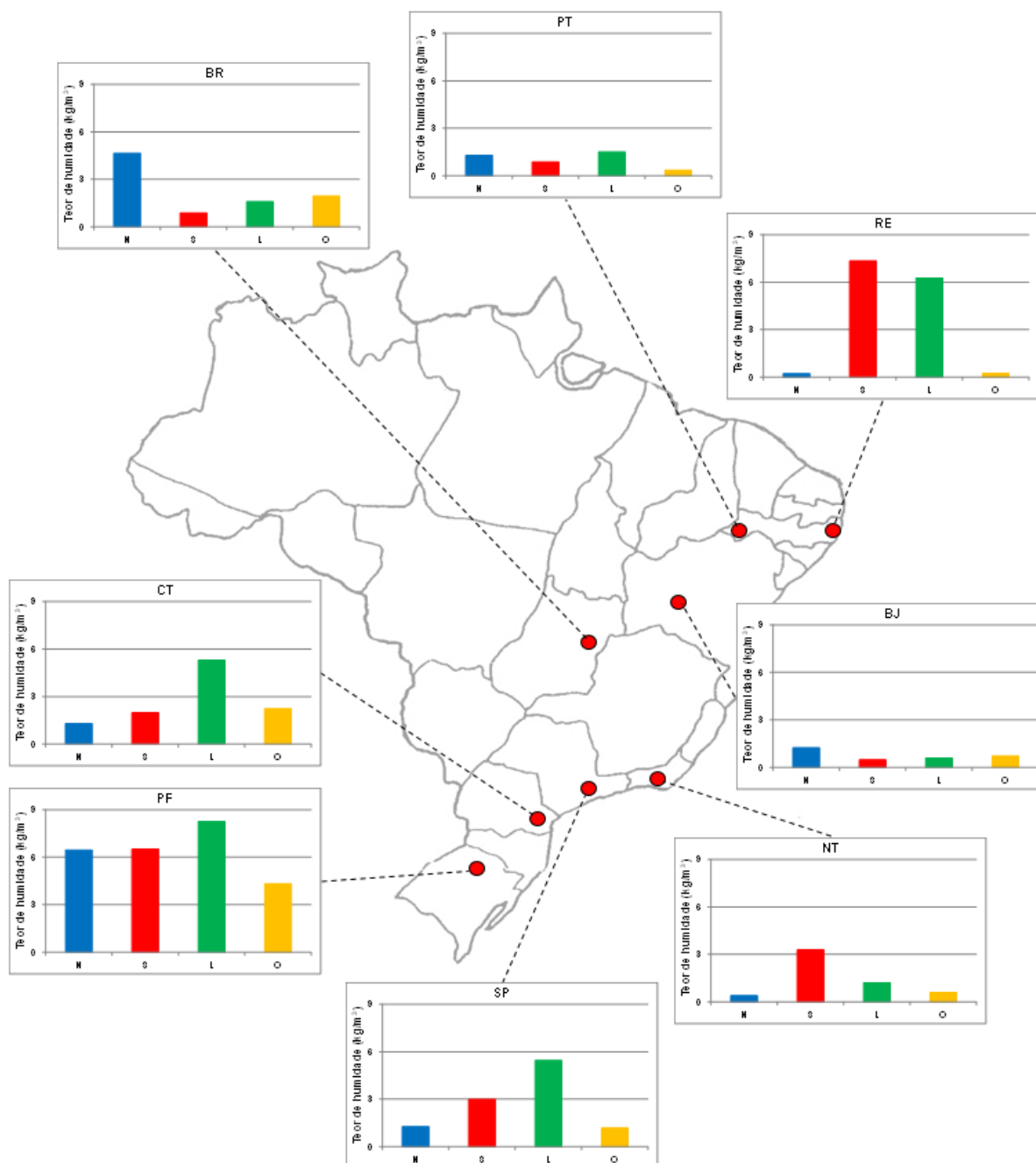


Fig. 149 - Teor de humidade em função da localização.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido contribuiu para o conhecimento do comportamento higrotérmico das paredes em blocos de gesso e permitiu a avaliação de fatores relevantes quanto ao uso desse material na construção civil, nomeadamente:

- Relevância deste tipo de solução construtiva para as regiões do Brasil;
- Determinação das propriedades do gesso através de ensaios laboratoriais;
- Importância do teor de hidrofugação dos blocos hidro para o armazenamento e transporte de humidade,
- Simulação numérica do processo de humedificação pela chuva incidente, e sua influência na variação da humidade relativa e do teor de humidade de paredes de gesso aplicadas na envolvente exterior;
- Avaliação do desempenho das paredes de gesso em climas do Brasil, tendo em conta a composição e a exposição.

A construção com gesso assume uma enorme relevância no Nordeste brasileiro, tendo sido possível concluir que:

- A disponibilidade dessa matéria-prima na região do Araripe é elevada. O pólo gessífero concentra 93% da produção nacional de gipsita com teor de pureza considerado de melhor qualidade no mundo, com teor médio em torno de 95%;
- O bom desempenho do bloco, da pasta e do gesso cola, está relacionado com a qualidade do gesso que compõem esses materiais, já que são produzidos com pasta pura e, eventualmente, no caso do bloco, recebem aditivos e reforços com fibras;
- Existe um grande potencial de indústrias na região do Araripe, onde se concentra a produção de blocos, gesso cola e gesso para pasta, com vasta aplicação na construção civil, inclusive por empresas de distribuição de gesso, de construção civil, indústrias químicas, metalúrgicas, de embalagens e centros tecnológicos, no sentido de apresentar parâmetros no controlo de qualidade e uso dos materiais.

O conhecimento sobre construção com gesso demonstra constante crescimento, visto que:

- Existe um grande interesse por parte da comunidade científica no sentido de desenvolver tecnologias capazes de incrementar o uso do gesso como material na construção civil, aplicado como um dos principais materiais de construção em determinadas zonas;
- Existe uma comissão de estudos em parceria com a Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, que visa elaborar a normalização do bloco de gesso no Brasil, visto que,

até o momento, os procedimentos adotados na confecção dos mesmos são preconizados pelas normas europeias e americanas;

- Existem no mercado diversos aditivos hidro-repelentes capazes de proporcionar alguma impermeabilidade aos componentes de gesso. Embora na área da investigação esteja pouco desenvolvido o seu estudo quanto à dosagem dos aditivos hidrofugantes, essas mesmas dosagens são específicas de cada fabricante do aditivo, bem como, de cada produtor de componentes de gesso.

A determinação laboratorial de propriedades pretendeu caracterizar o comportamento higrotérmico e mecânico de provetes de gesso correspondentes a diferentes componentes e com diferentes níveis de hidrofugação. Neste caso, as conclusões mais relevantes retirados da campanha experimental efetuada são as seguintes:

- O coeficiente de absorção dos blocos hidro com teor de hidrofugação inferior a 0,2% não permite ultrapassar a classificação do bloco Standard, correspondente a “Sucção Rápida”. Os blocos hidro com teores de hidrofugação a partir de 0,2% atingiram a classificação “Preventivos contra água”;
- O coeficiente de absorção dos percentuais de hidrofugação (0,3%; 0,5% e 0,7%) para o gesso de revestimento permitiram classificar o material como sendo “Quase impermeável”;
- Dos dois gessos colas hidro apresentado por dois diferentes representantes locais, o coeficiente de absorção da cola de gesso produzida pelo fabricante (I) classifica-se como de “Sucção rápida, enquanto que a cola do fabricante (S) é “Preventivo contra água”;
- O teor de humidade de saturação obtido do ensaio das amostras com 0,3%, 0,5% e 0,7% de hidrofugação, após 24 horas, apresentaram valores de absorção respectivamente de 13,05kg/m³, 6,95kg/m³ e 2,82kg/m³.
- Após a obtenção da curva de retenção com base no teor de humidade de referência (80% de HR) e no teor de humidade de saturação, verificou-se que para o valor de referência houve pouca alteração para os diferentes teores de hidrofugação, enquanto que o teor de saturação apresentou uma grande variação;
- A determinação da permeabilidade ao vapor nos dois materiais estudados resultou uma média na resistência à difusão, quase duas vezes maior nos blocos Hidro que nos blocos Standard para os ensaios de tina seca.;
- A condutibilidade térmica dos materiais resultantes dos ensaios dos provetes de gesso Standard e de gesso Hidro é idêntica e da ordem de 0,28. Este coeficiente, no caso específico do gesso, varia com a humidade e com a densidade do material hidratado e seco. Verifica-se através dos resultados obtidos que os materiais analisados encontram-se entre estes valores;
- A resistência à compressão apresentou-se maior para o bloco com menor teor de hidrofugação, mas ambas as amostras encontram-se em conformidade com o projeto de norma brasileiro PN. 02: 013-40-010 que estabelece para os blocos de gesso resistência à compressão entre 4,5 e 5,5 MPa;
- Para a resistência à flexão os resultados são o oposto do ensaio de resistência à compressão, sendo maior no bloco com maior teor de hidrofugação. Neste caso, os resultados apresentados não se enquadram no estabelecido pelo projeto de norma brasileiro, o qual admite valores de resistência à flexão dos blocos de gesso com valores entre 2,0 e 3,0 MPa;

- Relativamente à dureza superficial dos blocos de gesso com dois teores de hidrofugação distintos (0,1% e 0,3%) estão em conformidade com o projeto de norma brasileiro, sendo superiores a 55 (U.S. C).

A medição experimental desenvolvida quanto ao desempenho dos componentes de gesso evidenciou os seguintes resultados:

- Dos resultados dos ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro nas paredes de gesso, nos dois teores de hidrofugação, conclui-se que as paredes ensaiadas atendem aos critérios da norma, enquadrando-se no nível M, nível mínimo de desempenho, segundo NBR 15575-4 para paredes externas sem função estrutural;
- Os resultados de resistência de aderência do gesso cola hidro aplicada sobre bloco de gesso, tanto para 0,1% como para 0,3% de hidrofugação, apresentaram valores inferiores a 1 Mpa. A forma de ruptura ocorrida nos dois blocos aconteceu na interface argamassa/substrato, (classificada como tipo A), assemelhando-se aos preceitos estabelecidos na norma brasileira NBR 14081 para argamassa colante industrializada AC I e AC II;
- De acordo com as condições do ensaio de estanquidade à água do SVVE e ao enquadramento em um dos níveis de desempenho, as paredes de gesso com teor de hidrofugação de 0,1% e 0,3% de hidrofugação em análise, não ultrapassaram os valores permitidos pela norma NBR 15575-4. Visto que os percentuais máximos das somas das áreas de mancha de humidade, na face oposta à incidência da água, em relação à área total submetida ao ensaio, para todas as paredes analisadas, não apresentaram quaisquer manchas após 7 horas de ensaio.

O Brasil apresenta uma divisão em zonas climáticas com condições muito diversas. Dado o foco desta Tese de Doutorado no comportamento higrotérmico das paredes de gesso aplicadas no exterior, foi efetuada uma quantificação da chuva incidente em paredes para várias cidades brasileiras escolhidas como exemplo.

Dos resultados obtidos dos diferentes modelos semi-empíricos para quantificação da chuva incidente mencionados nesta tese para a quantificação da chuva incidente conclui-se:

- As cidades escolhidas apresentam uma grande variação quanto à precipitação anual, verificando-se que mesmo em duas cidades do mesmo estado (Pernambuco), a cidade de Petrolina, localizada no interior, apresenta precipitação quase três vezes inferior à precipitação da cidade de Recife, localizada no litoral;
- A escolha dos modelos de chuva incidente e os seus parâmetros levam a quantidades de chuva incidentes diferentes e, por isso, influenciam significativamente o teor de humidade da parede de gesso. Nota-se que dos quatros modelos analisados, o WUFI e a EN 15927-3 foram os que apresentaram menor quantidade da chuva incidente, conferindo valores percentuais muito próximos entre os modelos no que se refere à intensidade da chuva nas mesmas orientações para as cidades de Curitiba, Passo Fundo e Recife;
- As orientações das fachadas mais atingidas pela chuva incidente das três cidades analisadas são as mesmas em todos os métodos, isso devido ao resultado da combinação dos fatores da precipitação e da direção e velocidade do vento;
- Observam-se diferenças significativas nos resultados obtidos por meio dos quatro modelos de quantificação, quando analisada a intensidade da chuva incidente nas quatro orientações. Isso ocorre devido à representação dos diferentes coeficientes quanto às características do edifício e das condições de exposição.

Do estudo de sensibilidade realizado com base na simulação numérica em duas cidades brasileiras (Curitiba e Petrolina), foi possível concluir:

- Relativamente à influência do teor de hidrofugação nas paredes de gesso, orientadas a Leste (utilizadas como exemplo), nos materiais M1, M2 e M3, apresentam para a cidade de Petrolina, de forma global, humidade relativa e teor de humidade muito reduzida ao longo da análise feita para um ano. O mesmo não se verificou para a cidade de Curitiba, onde apenas o M3, apresentou teores de humidade mais reduzidos;
- No que diz respeito à influência da quantidade de chuva incidente nas paredes de gesso, considerando os modelos de chuva adotados (WUFI e ASHRAE) e suas diferentes variáveis para a orientação Leste, verificou-se que o teor de humidade e a humidade relativa nas paredes com materiais M1 e M2, apresentaram comportamento análogo nos dois materiais e nas duas cidades. Verificou-se ainda, que nas duas cidades, os teores de humidades nas paredes com material M2 é sempre inferior aos registados nas paredes com material M1 em todos os modelos aplicados;
- Observa-se ainda, que em 60% do tempo analisado, as paredes com os materiais M1 e M2 na cidade de Curitiba, apresentam humidade relativa de quase 100% quando utilizados as variáveis do WUFI e da ASHRAE para o cenário base de chuva. Enquanto que na cidade de Petrolina, para o mesmo intervalo de tempo, nos dois materiais, e nos dois modelos aplicados, a humidade é inferior a 70%;
- Relativamente à influência da orientação da parede de gesso, conclui-se que a direção privilegiada para implantação de uma fachada na cidade de Curitiba é a orientação norte, enquanto que na cidade de Petrolina, as orientações de melhor exposição para as fachadas estão a sul e oeste. Estas orientações apresentam menor humidade relativa nas paredes quando utilizados os dois materiais;
- Quanto ao teor de humidade, as paredes com os dois materiais, orientadas a Norte, Sul, Leste e Oeste, em Petrolina, em aproximadamente 70% do tempo analisado, é muito reduzido. Inclui-se a esse comentário a cidade de Curitiba, que em 100% do tempo, quando orientada a Sul, apresenta teor de reduzido para paredes com M1;
- Quanto à influência do revestimento nas paredes de gesso na humidade relativa e no teor de humidade, verificou-se em uma análise realizada para o período de 1 e 10 anos, que na cidade de Petrolina, sem considerar o efeito do revestimento (cenário C1), em 50% do tempo analisado, a humidade relativa é inferior a 60% na parede nos dois materiais (M1 e M2) para os dois períodos. No entanto, na cidade de Curitiba, para o mesmo intervalo de tempo, também sem considerar o efeito do revestimento, a humidade relativa chega a 90% nos dois materiais, nos dois períodos analisados. Entretanto, quando considerado o efeito de um revestimento em termos de resistência ao vapor (C2) verificou-se humidade relativa de quase 100% nas paredes das duas cidades e nos dois materiais. Podendo concluir-se, que a presença do revestimento (C2) no estudo realizado, dificulta a secagem das paredes nos dois materiais;
- No que se refere ao teor de humidade, quando comparado às paredes com e sem o efeito do revestimento (C1 e C2), nas duas cidades, ainda assim, nota-se que os materiais M1 e M2 para o C1 apresentam menor teor de humidade, com valores inferiores a 1kg/m³ para Curitiba em 10% do tempo e quase nulos em Petrolina em aproximadamente 70% do tempo;
- Nota-se em todos os casos que Curitiba apresenta paredes mais húmidas que Petrolina nos dois períodos e nos dois materiais analisados. No entanto, conferindo as paredes com teor de hidrofugação (M2), paredes mais secas, nas duas cidades;

- No que concerne à influência da localização para as paredes de gesso na humidade relativa e no teor de humidade, verificou-se para as mesmas soluções construtivas, uma variação de ocorrências ao longo das diferentes regiões analisadas. Das oito cidades estudadas (CT, PF, SP, BR, NT, BJ, PT, RE), BJ-Bom Jesus da Lapa e PT – Petrolina foram as que apresentaram resultados satisfatórios quanto ao uso das paredes de gesso nos dois materiais. Visto que, em 60% do tempo analisado, a humidade relativa das paredes nessas regiões, foi sempre inferior a 60% e o teor de humidade quase nulo em até 70% do tempo;
- Entretanto, verificaram-se resultados insatisfatórios quanto ao uso desses materiais nas paredes localizadas nas cidades de São Paulo (SP), Recife (RE), Curitiba (CT) e Passo Fundo (PF), tendo em vista após 10% do tempo analisado, as paredes com material M2, nas quatro cidades, apresentarem humidade relativa superior ao apresentado no material M1, e teor de humidade em até 75% do tempo, mais alto nas cidades de São Paulo e Recife no material M2. Uma situação desfavorável às paredes com aditivo hidrofugante;
- Curitiba e Passo Fundo embora com diferenças mínimas de humidade relativa entre os materiais M1 e M2, apresenta na parede M2 maior humidade que na M1, entretanto, apresenta nessas mesmas cidades, paredes mais secas no material M2 em todo o período analisado;
- Brasília e Niterói, embora apresentem paredes com humidade relativa próximo dos 80%, as paredes têm baixo teor de humidade, sendo quase nulos nos dois materiais em até 70% do tempo analisado;
- Observou-se uma relação entre o valor da precipitação e o teor de humidade, visto que, na medida em que aumenta a precipitação, também aumenta o teor de humidade nas paredes de gesso, com exceção da cidade de Passo Fundo. Este aspeto revela a importância não só da pluviosidade total, mas também da eventual concentração de pluviosidade em determinados períodos;
- Quanto à influência da radiação solar no teor de humidade, verifica-se também uma relação, pois quando o teor de humidade diminui aumenta a radiação solar, à exceção da cidade de Recife, que pode relacionar-se com o clima ser quente e húmido.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A contribuição dos resultados obtidos neste trabalho não finaliza o vasto campo de investigação no domínio do comportamento higríco das paredes de gesso nas diferentes regiões do Brasil. Neste sentido, salientam-se alguns aspectos que se considera importante a ser desenvolvidos no futuro:

- Desenvolver um estudo do comportamento higrotérmico de paredes de gesso aplicadas a edificações em serviço;
- Desenvolver uma metodologia de análise de risco associado à humidade em edifícios com paredes de gesso;
- Instrumentar edifícios de forma a avaliar, ao longo do ano, as condições higrotérmicas presentes na face exterior das fachadas;
- Melhorar os modelos de simulação introduzindo dados reais quanto às propriedades do gesso standard e hidro, aperfeiçoando tecnologias atuando sobre a cor e a emissividade dos materiais de revestimento exterior, no sentido de proteção das paredes;
- Desenvolver estudos de durabilidade das paredes de gesso nas edificações em serviços que proporcionem ao material a trabalhabilidade e fluidez requerida e que não interfiram nas resistências finais requeridas pelo componente.

BIBLIOGRAFIA

ANGELERI, F. B.; CARDOSO, S. R. F.; SANTOS, P. S. **As Gipsitas Brasileiras e sua Aplicação como Gesso na Indústria Cerâmica**. Descrição dos métodos utilizados para seu estudo e caracterização. Parte III: Ensaio tecnológicos. Cerâmica, São Paulo, v. 29, n. 160, p.93-114, abril. 1982b.

ARAÚJO, S. M. S. de, O Pólo Gesseiro do Araripe: **Unidades Geo-Ambientais e Impactos da Mineração**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 276f. Tese de doutorado (Programa de Pós-graduação em Geociências. Área de Administração e Política de Recursos Minerais), 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma 02: 013-40-009: **Blocos de Gesso Utilizados na Vedação Interna de Edificações** – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma 02: 013- 40-010: **Blocos de Gesso utilizados na Vedação Interna de Edificações** – Especificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma 02: 013-40-011 – **Cola de Gesso utilizado na união de elementos pré-fabricados em gesso** - Método de ensaio, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma 02: 013-40-012 – **Gesso cola utilizado na união de elementos pré-fabricados em gesso** – Especificação, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma 02: 013-40-014 - **Execução de Alvenaria de Vedação em bloco de gesso** – Procedimento, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13207. **Gesso para Construção Civil**, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14081. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas** - Requisitos, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575-4: **Sistemas de vedações verticais internas e externas** - SVVE, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12127 – **Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó** – Método de ensaio, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12128 – **Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta** – Método de Ensaio, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12129 – **Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas da pasta** – Método de Ensaio, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12130 – **Gesso para construção - Determinação de água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidro sulfúrico** – Método de ensaio, 1991.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. NF P72-202-1994: "**Ouvrages verticaux de plâtrerie nécessitant pas l'application d'un enduit au plâtre - Exécution des cloisons en carreaux de plâtre**", composta por 3 partes.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. NF EN 12859: **Carreaux de Plâtre - Définitions, Specifications et Methodes d'essai**. Paris, 2008.

ASOCIACIÓN TÉCNICA Y EMPRESARIAL DEL YESO. **Manual de Ejecución de Tabiques con Paneles de Yeso o Escayola**. Disponível em: <<http://www.atedy.es/buscarPub.asp>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

ASHRAE, 9th, 2004, **Clearwater Beach. Proceedings**. Atlanta 2004.

ASHRAE – **Standard 160P Design Criteria for Moisture Control in Buildings**. Atlanta, ASHRAE, July 2009.2

ASTM C 28 M – 2005 b – **Standard specification for gypsum plasters**.

ASTM C 471 M - 2001 – **Test methods for chemical analysis of gypsum and gypsum products**.

ASTM C 1396- 2004 a – **Specification for gypsum board**.

ASTM C 35- 2005 c – **Specification for inorganic aggregates for use in gypsum plaster**.

ASTM C 11- 2005 a – **Terminology relating to gypsum and related building materials and systems**.

ASTM C 842- 2005 d – **Specification for application of interior gypsum plasters**.

ASTM E 11- 2004 c – **Specification for wire cloth and sieves for testing purposes**.

ASTM C 472- 2004 b – **Test methods for physical testing of gypsum, gypsum plasters, and gypsum concrete**.

ATLAS CLIMÁTICA- IBÉRICO. **Agencia Estatal de Meteorologia, Ministério de Médio ambiente y Médio Rural y Marino**, Instituto de Meteorologia de Portugal.

ATUAL ENGENHARIA. **Principais Vantagens da Alvenaria de Blocos de Gesso**, 2009. Disponível em <http://www.atual.eng.br/2009>, acessado em 20 de abril de 2013.

AURÉLIO. Aurélio Buarque de Holanda Ferreira. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 1975.387 p.

BALTAR, C. A. M., BASTOS, F. F., LUZ, A. B. Gipsita – L.E.P. (2003). **Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso**. In.: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios Metalurgia Extrativa, Anais. Florianópolis.

BALTAR, C. A. M., BASTOS, F. F., LUZ, A. B. Gipsita - CT2005-122-00. Comunicação. Técnica elaborada para edicao do livro **Rochas & Minerais Industriais: Uso e Especificações**, pp. 449-470, Rio de janeiro, 2005.

BAUER, E. **Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos- Uma Análise de Desempenho**. 1987. 168f Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 2001. 44 p.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. *Spatial and temporal distribution of driving rain on a low-rise building*. **Wind and Structures** 5 (5), 2002, pp. 441-462.

BLOCKEN, B. *Wind-Driven Rain on Buildings – measurements, numerical modeling and applications*. Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 2004.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. *Overview of three state-of-the-art wind-driven rain assessment models and comparison based on model theory*. **Building and Environment** 45 (3), 2010, pp. 691-703.

BLOCKEN, B.; ABUKU, M.; ROELS, S.; CARMELIET, J. *Wind-driven rain on building facades: some perspectives*. In: EUROPEAN & AFRICAN CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 5ht, 2009, Florence. Proceedings... Firenze University Press, 2009. Disponível em <<http://www.iawe.org/Procceedings/5EACWE/028.pdf>>Acesso em 18 nov.2013.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. *A review of wind-driven rain research in buildings science*. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Ontario, v.92, n.13 pp. 1079-1130, 2004. Disponível em http://sts.bwk.tue.nl/urbanphysics/pdf/JWEIA_WDRreview_preprint.pdf>Acesso em 20. Jan.2014.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Ministério de Minas e Energia. Balanço mineral brasileiro 2001: Gipsita. Brasil: DNPM, 2001. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf>>. Acessoem: 07 nov. 2013.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Ministério de Minas e Energia. SumárioMineral brasileiro de 2008. Brasil: DNPM, 2009. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>>. Acesso em: 07 nov. 2013.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário Mineral**, Brasília, 2010. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSeção=68&IDPagina=64>>.Acesso em: 16 nov 2013.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Ministério de Minas e Energia. Sumário Sumário Mineral brasileiro de 2010. Brasil: DNPM, 2011 a. Disponívl em: < https://sistema.dnpm.gov.br/publicação/mostra_imagens.asp?ID_Banco_Arquivo=5474>.Acesso em 07 nov.2013.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Sumário Mineral**, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSeção=68&IDPagina=64>>. Acesso em: 18 maio 2016.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 02 set. 1981. Disponível em: <www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.HTM>. Acesso em: 06 maio 2009.

CEN, EN 12572: **Hygrothermal Performance of Building Materials and Products - Determination of water vapour transmission properties**, 2001.

CEN, EN 13279: **Gypsum binders and gypsum plasters**, 2008.

CEN, EN 12571: **Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of hygroscopic sorption properties**. European. Committee for Standardization, Brussels, Belgian, 2000

CEN, EN ISO 15148: **Hygrothermal Performance of Building Materials and Products. Determination of Water Absorption Coefficient by Partial Immersion**, 2002.

CEN, EN 15318: **Design and application of gypsum blocks**, 2007.

CEN, EN 15026: **Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Assessment of Moisture Transfer by Numerical Simulation**, Brussels, Belgium, 2007.

CEN, EN ISO 13788: **Hygrothermal Performance of Building Components and Building Elements – Internal Surface Temperature to Avoid Critical Surface Humidity and Interstitial Condensation – Calculation Method**, Brussels, Belgium, 2001.

CEN, EN ISO 12859: **Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission propertie**: 2001 s.

CEN, EN 12859: **Gypsum blocks - Definitions, requirements and test methods**: 2008.

CEN, EN 12860: **Gypsum based adhesives for gypsum blocks - Definitions, requirements and test methods** 2001.

CEN, EN 12664: **Desempenho Térmico de Materiais e Produtos de Construção**. Determinação da Resistência Térmica por meio de Métodos de Placa Quente e Medidor de Fluxo de Calor Guardado. Produtos Secos e Úmidos de Resistência Térmica Média e Baixa 2001.

CEN, ISO 15927-1: **Hygrothermal performance of buildings -- Calculation and presentation of climatic data -- Part 1: Monthly means of single meteorological elements**, 2003.

CEN, ISO 15927-3: **Hygrothermal Performance of Buildings - Calculation and presentation of climatic data – Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data**. International Organization for Standardization, 2007.

CEN, ISO 15927-3: ***Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data -- Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data***, 2009.

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2005

CIARLINI, A. G. C - **Potencialidade da Indústria Gesseira para o Estado de Pernambuco e a Competitividade do Gesso como Material de Construção Civil** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPE, 2001.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. **O Gesso como Material de Construção - Composição Química (2ª Parte)**, Tecnologia de edificações, Editora PINI, 53-56, 1988 a.

CINCOTTO, M. A.; Marques, J. C.; Helene, P. P. L. **Propriedades das Argamassas Cimento: Cal: Areia**. In: Seminário Sobre Argamassas. Anais... São Paulo: IBRACON, 1985 a.

COSTA, A. M. G.; INOJOSA, A. C. N. **Alvenaria em Blocos de Gesso**. Sistema Construtivo Gypway, 2007.

COSTA, A.M.; INOJOSA, A.C. **Sistema construtivo Gypway. Alvenaria em blocos de gesso**. SINDUSGESSO. Manual construtivo de manutenção. 2013.

CT2005-122-00 Comunicação Técnica elaborada para edição do livro **Rochas & Minerais Industriais: Uso e Especificações** Pág. 449 A 470.

CUNHA, L. M., SILVA, A. J. da C. e. **Avaliação do Desempenho Mecânico de Pastas de Gesso para Revestimento em Contato Permanente com a Água**. In: CONDER, 2007, Caruaru-PE. Congresso Nacional de Desenvolvimento Regional, 2007.

D. BÜLICHEN, J. Plank, "**Water retention capacity and working mechanism of methyl hydroxypropyl cellulose (MHPC) in gypsum plaster Which impact has sulfate?**", Cement and Concrete Research, 46 (2013). 66-72

DA ROCHA, C. A. L - **O Gesso na Indústria da Construção Civil: Considerações Econômicas sobre Utilização de Blocos de Gesso**. Tese de doutorado. Universidade federal de pernambuco, 2007.

DELGADO, J. M. P. Q., Ramos, N. M., M., Barreira, E. Freitas, V. P., **A Critical Review of Hygrothermal Models Used in Porous Building Materials**, Laboratório de Física de Construções, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.

DELGADO, J. –**Influência das Condições Climáticas Exteriores, em WUFI 2010** - Workshop sobre Simulação Higrotérmica. Porto, FEUP, Março 2010.

DELGADO, J.; Freitas, V.; Ramos, N.; Barreira, E. **Numerical Simulation of Exterior Condensations on Façades: The Undercooling Phenomenon**. Proceedings of the Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference, 5-9 December, 2010, Clearwater Beach, Florida, USA.

DENG Y, Furuno T (2001) **Properties of Gypsum Particleboard Reinforced with Polypropylene fiber**. J. Wood Sci – 47(4):445-450.

DENG Y, Furuno T (2002) **Study on Gypsum – Bonded Particleboard Reinforced with Jute fibers**. Holzforschung 56 (4):440-445.J.

DENG Y, Xuan L, Feng Q (2006) Effect of waterproof agent on gypsum particleboard properties. Holzforschung 60(3):318–321

DIN 52617:1987 – **Determination of the water absorption coefficient of construction materials**

DOMINGUEZ, L. V. e SANTOS, A. G. **Manual del Yeso**. Madrid: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY), 2001, P 267.

FENG-qing Zhao, HONG-jie Liu, Li-xia Hao, Qian Li.: **Water resistant block from desulfurization gypsum**. Article in *Construction and Building Materials* 27(1):531–533 · February 2012 with 15 Reads DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.07.011.

FREITAS, A. S. S. L. A. **Avaliação do Comportamento Higrotérmico de Revestimentos Exteriores de Fachadas devido à Acção da Chuva Incidente**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.

FREITAS, V. P. **Transferência de Humidade em Paredes de Edifícios – Análise do Fenómeno de Interface**. Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 1992.

FREITAS, V., KRUS, M., KÜNZEL, H., QUENARD, D. **Determination of the Water Diffusivity of Porous Materials by Gamma-ray Attenuation and NMR. Proceeding of the International symposium on Moisture Problems in Building Walls**, 11-13 de Setembro, Porto, 1995.

FREITAS, V. P.; PINTO, P. **Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção. Condensações Internas**. NIT 002. LFC, Porto, Portugal, 1998.

FREITAS, V. P.; PINTO, P. **Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção Condensações Interna**. 2ª ed. Nota de informação técnica 2, Porto: Laboratório de Física das Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000.

FREITAS, V. P.; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**, FEUP Edições.2008.

FRICK E (1988) **The Bison System for the Production of Wood Gypsum Particleboards**. In: Moslemi AA, Hamel MP (eds) International conference on fiber and particleboard bonded with inorganic binder. Idaho, USA, pp 98-102.

FUNDAÇÃO ARARIPE. Potencialidades do setor florestal da Região Nordeste. Crato: Fundação Araripe/Programa Nacional de Florestas/MMA.. Relatório Técnico, 2001.

GASPAR, P.; BRITO J. (2005). **Modelo de degradação de rebocos**. Revista Engenharia Civil, n.º 24, Setembro, Universidade do Minho, p. 17-27. G.

GIONGO, M. **Análise do Nível de Exposição das Edificações à Chuva Dirigida para Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GRÜNER, Marcelo Fröhlich. **Metodologia para quantificação de áreas molhadas em modelos submetidos à simulação de chuva dirigida**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Civil, Julho, 2014.

GOMES, Mayara Feliciano – **Otimização do Tempo e Temperatura no Processamento da Gipsita Oriunda dos Cristalizadores da Produção de Sal para Obter Gesso de Uso na Construção Civil** – Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Engenharia Química- Natal, 2012.

GONÇALVES, T. **Salt Crystallization in Plastered or Rendered Walls**. Dissertação de Doutorado, LNEC e IST, 2007.

GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. **The Beginnings of Pyrotechnology: Neolithic and Egyptian Lime Plaster**. *Journal of Field Archaeology*, Boston, v. 2, n. 1, p.133-150, 1975. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/529624>>. Acesso em: 17 Jan 2014.

GOVERNO DE PERNAMBUCO, 2006, **Pólo Gesseiro**, Disponível em: <http://www.pe.gov.br/investimentos_pologesseiro.htm> . Acesso em 20 de maio de 2013.

HATTGE, A. F. **Estudo Comparativo sobre a Permeabilidade das Alvenarias em blocos cerâmicos e Alvenarias em blocos de Concreto**. 2004. 136 f. Trabalho de conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HENRIQUES, F. **Quantificação da Chuva Incidente em Paredes**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1993.

IBP - FRAUNHOFER INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS. **WUFI Pro 5.2.**, Holzkirchen, Germany, 2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Ed. Rev. e ampliada. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília-DF, 2009.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa de índice de Precipitação Anual**. Brasília-DF, 2008.

ISOLAVA. **Blocs de plâtre**. Disponível em: < <http://www.isolava.be/fr/idis008.htm>>. Acesso em: 17 abr 2009.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Gesso de construção civil**. In: ISAIA, G. C. *Materiais de construção civil*. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

JORNE, F.J.F. **Análise do Comportamento Higrotérmico de Soluções Construtivas de Paredes em Regime Variável**, Universidade Nova de Lisboa, 2010.

JÚNIOR, A.R.M. “**Otimização das Condições Experimentais na Desidratação da Gipsita para Obtenção de um Gesso Beta Reciclável**” Universidade Católica de Pernambuco, Mestrado, 2008.

KANNO, W, M. **Propriedades Mecânicas do Gesso de Alto Desempenho**. Tese de doutorado 130p. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia dos Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

KARAGIOZIS, A.: G. Hadjisophocleous.: Shu Cao. **Wind-driven rain distributions on two buildings** - Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Volume 67 Pages 559-572 Publisher Elsevier.

KARAGIOZIS, A.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. **WUFI-ORNL/IBP - A North American Hygrothermal Model**. *Proceedings of the Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings VIII: Integration of Building Envelopes*, 2-7 December, 2001, Clearwater Beach, Florida, USA.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de paredes de materiais cerâmicos à penetração de água chuva: Uma análise de fatores condicionantes**. 1989. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

KRUS, M., KÜNZEL, H. **Determination of Dw from A-value**. IEA Annex XXIV, Report T3-D-93/02.1993.

KÜNZEL, H. **Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components – One and two dimensional calculation using simple parameters**. IBP Verlag, Stuttgart, Germany, 1995.

KUMARAN, M. **Heat, air and moisture transfer through new and retrofitted insulated envelope parts. Task 3 Material properties**. International Energy Agency (IEA) ANNEX 24 – Final Report. K. U.-Leuven, Leuven, Belgium, 1996.

LANZINHA, J., Freitas, V.P. **Propriedades Higrotérmicas de Materiais de Construção** –Um Catálogo. 6as Jornadas de Construções Cívicas –Umidade na Construção, 26 de Novembro de 1998, pp. 127-131, FEUP, Porto,1998.

LES INDUSTRIES DU PLÂTRE. **Le plâtre au cœur de la construction durable**- SNIP - Syndicat national des **industries du plâtre** : toute une gamme de solutions de plâtre, cloison platre, carreaux de platre, plafond platre, plaque de platre, ...2009. lesindustriesduplatre.org.

LFC Laboratório de Física das Construções, **Condutibilidade Térmica**, FEUP, 2007. <http://paginas.fe.up.pt/~lfc-scc/ensaio07.html>. 21 de nov de 2012.

LIMA, M. G., MORELLI, F. **Mapa Brasileiro de Chuva Dirigida** - Algumas Considerações. In: Simpósio Brasileiro Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** ANTAC, 2005, 16p. 58.

- LI, J.; LI, G.; YU, Y. **The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth.** *Materials Letters*. 2006. Disponível em: . Acesso em: 16 jul. 2007.
- LORDSLEEM JR., A.C. **Método construtivo de Vedação Vertical Interna com Blocos de Gesso.** Projeto de pesquisa. FACEPE, Recife, 2009.
- MARCONDES, F. C. S. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil:** estudo da cadeia da cadeia produtiva das chapas de gesso acartonado. 2007. 365 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MELO JÚNIOR, C. M. **Influência da Chuva Dirigida e dos Detalhes Arquitetônicos na Durabilidade de Revestimentos de Fachada.** 2010. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- METEONORM – **Version 6.0 Meteotest, Bern, Switzerland.**
- MOURA, F.S. **Bloco de Gesso na Construção Civil.** São Cristóvão, 2009. 41 p.: il. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 2009.
- MUNHOZ, Fabiana Costa. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa** / Fabiana Costa Munhoz, 2008. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2008.
- NAPPI, S. C. B. **Umidades em paredes.** Anais congresso técnico-científico de engenharia civil. Florianópolis: UFSC, v. 04, 1996. p. 537-544.
- NEVES, M. L. R. **Método Construtivo de Vedação Vertical Interna com Blocos de Gesso.** Dissertação (mestrado), Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2011.
- NORDTEST **Building Materials: Degree of Capillary Saturation**, 1996.
- OKINO EYA, de Souza MR, Santana MAE, da Alves MV, de Sousa ME, Teixeira DE (2004) **Cement-bonded Wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood.** *Cem Concr Comp* 26 (6): 729–734.
- OKINO EYA, de Souza MR, Santana MAE, da Alves MV, de Sousa ME, Teixeira DE (2005) **Physico-mechanical properties and decay resistance of Cupressus spp. Cement-bonded particleboards.** *Cem Concr Comp* 27(3); 333-338.
- PAIVA, J.Vasconcelos: **Humidade nas edificações.** Lisboa, LNEC, 1969.
- PEREZ, A. R. **Umidade nas Edificações: Recomendações para a Prevenção da Penetração de Águas pelas Fachadas.** Tecnologia de Edificações (1º e 2 partes). São Paulo: PINI/IPT- Divisão de Edificações, 1988. p. 571 – 578.
- PERES, L; BENACHOUR, SANTOS, V.A. Dos. **Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil.** Recife: Bagaço, 2001.

PERES, L.; BENACHOUR, M. SANTOS, V.A. **Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil**, SEBRAE, Recife, 2008.

PETRUCCI, E. **Materiais de construção II**. Documento de apoio nº10. Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. 1992. p. 1487-1559.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**, 11ª ed. Editora Globo. São Paulo, 1998.

PETRUCCI, H. M. C. **A Alteração da Aparência das Fachadas dos Edifícios: Interação Entre as Condições Ambientais e a Forma Construída**. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PEUHKURI, R. **Moisture Dynamics in Building Envelopes**, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, DTU, Lyngby, Denmark, 2003.

PINHEIRO, S. M. de M – “**Gesso Reciclado: Avaliação de Propriedades Para uso em Componentes**”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Campinas, UNICAMP. 2011.

PIRES SOBRINHO, C. W. **Influência da Adição de Resíduos de Gesso nas Propriedades Mecânicas das Pastas para Revestimento**. In: Encontro Nacional sobre aproveitamento de resíduos na Construção Civil; SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 2009. Anais... Feira de Santana, 2009.

PIRES SOBRINHO, C. W. **Divisórias internas de Edifícios em Alvenaria de Blocos de Gesso-Vantagens técnicas, Económicas e Ambientais**. Congresso Internacional de Tecnologia Aplicada para a Arquitetura & Engenharia Sustentáveis, 2010. Centro de Convenções – Recife- PE.

RAMOS, N.; DELGADO, J.; BARREIRA, E.; FREITAS, V. P. **Hygrothermal Properties Applied in Numerical Simulation: Interstitial Condensation Analysis**. *Journal of Building Appraisal*, Vol. 5, Issue 2, pp. 161-170. Palgrave Macmillan, Hampshire, UK, 2009.

RAMOS, N.M.M. – **A Importância da Inércia Higroscópica no Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto- FEUP, 2007.

RAMOS e PEREIRA. – Boletim de Ensaio – **Determinação da condutibilidade de provetes de espuma de poliuretano** - Relatório LFC/IC – 200- 2009- Porto abril, 2009.

RIBEIRO, A. S. **Produção de Gesso Reciclado a partir de Resíduos Oriundos da Construção Civil**. 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Departamento de Centro Tecnológico, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2006.

RODRIGUES, C. C - **Desenvolvimento de um Sistema Construtivo Modular com Blocos de Gesso** / (mestrado). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

RORIZ, M. **Correções nas Irradiâncias e Iluminâncias dos arquivos EPW da Base ANTAC**. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos – SP, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivosclimaticos/formato-epw>. Acesso em: setembro de 2013.

ROCHA, C. A. L. **O Gesso na Indústria da Construção Civil: Considerações Econômicas sobre Utilização de Blocos de Gesso**. Dissertação (mestrado), 103 p. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SANTOS, A. P.; MATIAS, L. **Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios**. ITE 50. LNEC, Lisboa, Portugal, 2007.

SAYIL, B. and ÇOLAK, Adnan **Durability of Polymer Modified and Impregnated Gypsum**, 8 DBMC 8th International Conferences on Durability of Building Materials and Components, CIB W78 Workshop on Information Technology in Construction, Vancouver, May 30 - June 3, 1999.

SENAI. DR.PE. **Manual do aplicador de Gesso**. Recife – PE, Brasil, 2003.

SINAT 008- **Vedações verticais internas em alvenaria não estrutural de blocos de gesso**, 2012.

SILVEIRA, P. M.; VEIGA, M. R.; BRITO, J. **Gypsum coatings in ancient buildings**. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 1, p.126-131, Jan. 2007.

SINDUSGESSO. **Pólo Gesseiro**. 2009 Disponíveis em: < <http://www.sindusgesso.org.br/>>. Acesso em: 08 Abr. 2013.

SINDUSGESSO. **Pólo Gesseiro**. 2014 Disponíveis em: < <http://www.sindusgesso.org.br/>>. Acesso em: 10 Set. 2014.

SILVA, E. M. P - "**Avaliação Laboratorial de Propriedades Hígricas dos Materiais de Construção**." Dissertação de mestrado, FEUP, 2012.

SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU PLÂTRE. Le Plâtre - **Physico-Chimie et Fabrication**. Paris, France, 1982. Disponível em: www.gessotopline.com.br/historia.htm, acessado em 01 Out 2012.

SOUZA, ANGELA. C.A. G DE – **Análise Comparativa de Custos de Alvenaria para Construção de Habitações Populares** – UNICAP, 2009.

SUPERGESSO **Superbloco: Paredes Divisórias Inteligentes**. Disponível em: <<http://www.supergesso.com/superbloco.asp>>. Acesso em: 17 abril 2013.

STRAUBE, J.F. **Simplified Prediction of Driving Rain on Buildings: ASHRAE 160P and WUFI 4**. *Building Science Digest 148* – Building Science Press, 15 Nov, 2010.

STRAUBE, J. F. **Moisture in buildings**. *ASHRAE Journal*, 2002. Disponível em: http://energydesignsystems.com/ASHRAE_Journal_Jan_2002_Moisture.pdf. Acesso em: Mar, 2011.

STRAUBE, J. F. **Moisture in buildings**. *ASHRE Journal*, Atlanta, v. 44, n. 1, p. 15-19, Jan 20012. Disponível em: <<http://bookstore.ashrae.biz/journal/download.php?file=straube.pdf>>. Acesso em: 13 Nov. 2013.

SVENNBERG, K., WADSO, L. **A Modified Cup-method for Lightweight and Highly Permeable Materials**, IN CARMELIET, H. V. (Ed) *2nd International Building Physics Conference*, Swets & Zeitlinger, Leuven, Belgium, 2003.

TANIGUTI, E.K. **Método construtivo de vedação interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. 316 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**, 4^a ed. São Paulo: PINI, 2002, 669p.

YUHE DENG, Ling Xuan, Qian. Feng, **“Effect of a waterproof agent on gypsum particleboard properties”**, *Holzforschung*, 60 (3). 318-321 (2006).

WUFI Pro 5.2 Fraunhofer – IBP, Holzhirchen, Germany, 2008.

WUFI Pro 4.2 Fraunhofer – IBP, Holzkirchen, Germany.

ZANONI, Vanda A. G. *et al.* **Chuva Dirigida: Um Estudo da ISO 15927-3 no Contexto Brasileiro**. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído- ENCAC, e VIII ELACAC Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, set. 2013, Brasília – DF, Brasil.

ZANONI, Vanda A. G. *et al.* **Chuva Dirigida: Um Estudo da ISO 15927-3 no Contexto Brasileiro**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído- ENTAC, nov. 2014- Maceió – AL, Brasil.

ZHAO FENG-GING, Liu Hong-jie, Hao Li-xia, Li Qian, **“Water resistant block from desulfurization gypsum”**, *Construction and Building Materials* 27 (2012) 531–533.