



**Douglas Rocha**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

# Análise das potencialidades de utilização da inércia higroscópica em edifícios

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Doutor Fernando M. A. Henriques, Professor Catedrático da  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Mário Vicente da Silva

Arguente: Professor Doutor Luís G. C. Baltazar

Vogais: Professor Doutor Fernando M. A. Henriques



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2016



**[Análise das potencialidades de utilização da inércia higroscópica em edifícios]**

Copyright © Douglas Rocha, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Fernando Henriques, orientador deste trabalho, por todo o conhecimento transmitido, pela total disponibilidade e simpatia demonstrada.

Ao Engenheiro Vítor Silva e Doutorando Hugo Silva, por todo apoio e ajuda ao longo das actividades laboratoriais e aos ensinamentos transmitidos.

A todos os professores e colegas que participaram do meu percurso escolar. Apesar deste trabalho ser desenvolvido em alguns meses todos os ensinamentos e apoios obtidos ao longo dos anos contribuíram para elaboração deste trabalho.

Quero agradecer ainda a grandes amigos dentro e fora da faculdade que conseguiram tornar o meu tempo universitário os melhores possíveis e aos bons momentos partilhados.

Um agradecimento especial aos meus colegas e amigos, Tiago Matos, Miguel Ornelas e Catarina Araújo.

Os meus familiares, principalmente minha mãe e minhas irmãs que sempre me apoiaram e incentivaram-me.

Gostaria ainda de agradecer à Gyptec Ibérica - Gessos Técnicos, S.A. e à Stier - Soluções Acústicas pela disponibilidade e prontidão no fornecimento de amostras para o desenrolar deste trabalho.



## Resumo

A capacidade dos materiais adsorverem a humidade dos ambientes pode representar uma mais valia para o controlo da humidade e temperatura. Esta característica pode ser relevante para o conforto e salubridade nos ambientes interiores como no caso de museus, galerias, arquivos ou até mesmo em ambientes comuns como casas e escritórios. Nos ambientes existem diferentes fluxos de pessoas e actividades, que proporcionam diferentes cargas de humidade ao longo do dia e do ano. Estes acréscimos de concentração de vapor podem facilmente interagir com elementos expostos, que por meio de difusão poderão armazenar grande parte deste aumento de humidade. O contributo mais significativo para este efeito vem dos materiais de revestimento devido à sua grande área de exposição e por estarem sempre presentes no interior dos edifícios.

Na presente dissertação é estudado o efeito da inércia higroscópica de materiais de revestimento utilizados correntemente, analisando a sua resposta destes quando submetidos a variações de humidade relativa. Através deste estudo é possível compreender o contributo da inércia higroscópica dos materiais para o controlo do ambiente interior.

A dissertação integra uma série de ensaios experimentais que permitem a caracterização dos materiais em relação à capacidade de armazenamento de humidade. Para cada material ensaiado foi realizado a sua caracterização através da massa volúmica, porosidade e curvas higroscópicas. Foram também efectuados ensaios que permitiram estimar a capacidade de armazenamento de humidade nomeadamente através do MBV - “Moisture Buffer Value” e de outros ensaios.

O estudo da inércia higroscópica dos materiais de revestimento permite desenvolver metodologias ainda pouco utilizadas para o projecto e a reabilitação de edifícios com o intuito de melhorarem as condições higrotérmicas de forma passiva.

Palavras-chave: Humidade relativa, Higroscopicidade, Inércia higroscópica, Capacidade de armazenamento de humidade, MBV.



# Abstract

The ability of materials to absorb moisture from the environment may be an asset for the control of humidity and temperature. This feature may be relevant for the comfort and health in indoor environments such as museums, galleries, archives or in homes and offices. In such environments there are different flows of people that provide different loads of moisture throughout the days and months. These vapor concentration can easily interact with exposed elements, and by diffusion can increase the humidity levels. The most significant contribute to this effect is the coating materials due to a large exposed area that is always present inside buildings.

The aim of the present work is to study the effect of the hygroscopic inertia coating materials currently used, analyzing the response when submitted to relative humidity changes. Through this study it is possible to understand the contribution of materials to control the variation of indoor relative humidity.

The dissertation is composed of a series of experimental tests that allow the characterization of materials in relation to the moisture buffer capacity. Each tested material was characterized by density, porosity and hygroscopic curves. Other tests were carried out to estimate the moisture storage capacity including MBV - "Moisture Buffer Value" and others.

The study of hygroscopic inertia of coating materials allows further development of some methodologies used for the design and rehabilitation of buildings in order to improve the hygrothermal conditions passively.

Keywords: Relative humidity, Hygroscopicity, Hygroscopic inertia, Moisture buffer capacity, MBV.



# Índice Geral

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objectivo e metodologia .....	2
1.3	Estrutura da dissertação .....	2
<b>2</b>	<b>Humidade e os edifícios .....</b>	<b>5</b>
2.1	Ar húmido .....	5
2.2	Transferência de humidade nos materiais porosos .....	7
2.3	Humidade nos edifícios .....	11
2.4	Variáveis condicionantes da humidade relativa .....	12
2.4.1	Contextualização .....	12
2.4.2	Utilizadores .....	13
2.4.3	Ventilação.....	13
2.4.4	Clima exterior.....	14
2.5	A influência da higroscopicidade dos materiais no controlo da humidade relativa interior .....	15
2.5.1	Ensaio de variação transitória da humidade relativa .....	15
2.5.2	Ensaio de avaliação da capacidade de controlo da humidade com a introdução de materiais higroscópicos.....	18
<b>3</b>	<b>Análise experimental .....</b>	<b>23</b>
3.1	Materiais e preparação das amostras .....	23
3.2	Caracterização geral .....	27
3.2.1	Organização dos ensaios.....	27
3.2.2	Massa volúmica e porosidade aberta .....	27
3.2.3	Condutibilidade térmica e calor específico.....	30
3.3	Caracterização higroscópica .....	32
3.3.1	Organização dos ensaios.....	32
3.3.2	Equipamentos para os ensaios higroscópico.....	33
3.3.3	Impermeabilização dos provetes.....	35
3.3.4	Curvas higroscópicas.....	36
3.3.5	Determinação do Moisture Buffer Value – MBV.....	37
3.3.6	Determinação da capacidade de adsorção/desadsorção dos materiais segundo a ISO 24353 .....	41

3.3.7	Ensaio dinâmico .....	42
3.3.8	Tempo de resposta .....	44
<b>4</b>	<b>Análise dos resultados da caracterização higroscópica .....</b>	<b>47</b>
4.1	Curvas higroscópicas .....	47
4.2	Ensaio MBV .....	50
4.2.1	Resultados ensaio MBV 33 % - 75 % .....	50
4.2.2	Análise da influência da utilização de acabamento superficial .....	55
4.2.3	Análise da influência do intervalo de humidade relativa para o ensaio MBV .....	56
4.3	Ensaio ISO:24353 .....	62
4.4	Ensaio dinâmico .....	70
4.5	Ensaio tempo de resposta .....	75
4.6	Síntese do capítulo .....	80
<b>5</b>	<b>Análise da cinética da adsorção e desadsorção dos materiais: modelos numéricos .....</b>	<b>83</b>
5.1	Modelos numéricos para análise das curvas higroscópicas .....	83
5.2	Modelos numéricos para análise das curvas do tempo de resposta .....	86
<b>6</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>103</b>
6.1	Conclusões finais .....	103
6.2	Desenvolvimentos futuros .....	105
	<b>Referências .....</b>	<b>107</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>115</b>
	Anexo A .....	A.1
	Anexo B .....	B.1
	Anexo C .....	C.1

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Designação e constituição dos materiais seleccionados.....	24
Tabela 3.2 - Composição e característica no estado fresco .....	25
Tabela 3.3 - Designação e tipos de acabamento .....	26
Tabela 3.4 - Dimensões adoptadas para cada material .....	26
Tabela 3.5 - Massa volúmica aparente e porosidade aberta .....	29
Tabela 3.6 - Especificações técnicas ISOMET 2104 .....	31
Tabela 3.7 - Propriedades térmicas dos materiais .....	32
Tabela 3.8 – Variantes do ensaio MBV .....	40
Tabela 3.9 - Variantes do ensaio tempo de resposta e condições de ensaio.....	45
Tabela 4.1 - Valores médios do MVB para as diferentes variantes e respectivas variações de massa para cada ensaio .....	61
Tabela 4.2 - Dados da bibliografia do ensaio MBV .....	62
Tabela 4.3 - Resultados ensaio ISO 24353 ciclo único e cíclico e MBV 50 % - 75 %..	69
Tabela 4.4 - Comparação ensaio dinâmico e ensaio MBV 50 % - 75 % .....	74
Tabela 4.5 - Variação do teor de água no ensaio tempo de resposta.....	79
Tabela 5.1 - Parâmetros de ajuste as curvas higroscópicas .....	84
Tabela 5.2 - Parâmetros obtidos pela aproximação as curvas para intervalo de HR 33 % - 75 % .....	96
Tabela 5.3 - Parâmetros obtidos pela aproximação as curvas para intervalo de HR 50 % - 75 % .....	97
Tabela 5.4 - Parâmetros obtidos pela aproximação as curvas para intervalo de HR 60% - 75 % .....	98



# Índice de Figuras

Figura 2.1 - Diagrama psicrométrico.....	6
Figura 2.2 - Esquema convencional do teor de humidade de um material .....	7
Figura 2.3 - Diferentes tipos de curvas higroscópicas segundo Brunauer, Emmet e Teller .....	8
Figura 2.4 - Gráfico genérico da curva de armazenamento de humidade em condições isotérmicas .....	9
Figura 2.5 - Diferença de ângulos para adsorção e desadsorção devido à fenómenos de atração das moléculas de água nas paredes durante a secagem.....	10
Figura 2.6 - Poro tinteiro e fenómeno de desadsorção (efeito da histerese).....	10
Figura 2.7 - O efeito da humidade para vários parâmetros relacionados com a saúde e qualidade do ar interior, indicando o intervalo ideal de humidade relativa 30 – 55 %, adaptado de .....	12
Figura 2.8 - Balanço da humidade num quarto e os factores que influenciam como a produção de vapor, a ventilação e capacidade dos materiais de interagirem com ambiente . .....	13
Figura 2.9 - Temperaturas máximas e mínimas mensais (coluna da direita e esquerda respectivamente) e humidade relativa médias as 9 horas e as 18 horas (curva superior e curva inferior respectivamente) da região de Lisboa e Porto .....	15
Figura 2.10 - Adsorção e desadsorção de argamassas de cimento e argamassas de cal, com ou sem papel de parede depois dos intervalos de humidade relativa 40 - 80% . .....	16
Figura 2.11 - a) esquema da câmara de fluxo: caixa de aço inoxidável (A), base de aço inoxidável (B), equipamento de ar condicionado (C), provete de teste (D) e ligações electrónicas (E), b) fotografia da câmara aberta .....	19
Figura 2.12 - Ciclo diário da variação sinusoidal da HR, a vermelho HR da câmara vazia, azul humidade no interior da câmara durante o ensaio, a verde HR no interior do provete de madeira e a lilás humidade no interior do material de revestimento .....	19
Figura 3.1 - Foto do grupo das argamassas .....	23
Figura 3.2 - Foto grupo dos revestimentos pré-doseados .....	23
Figura 3.3 - Foto do grupo dos revestimentos pré-fabricados.....	24

Figura 3.4 – Preparação das amostras .....	25
Figura 3.5 - Curvas granulométricas para as diferentes areias .....	26
Figura 3.6 - Exsiccador e bomba de vácuo em utilização .....	28
Figura 3.7 – Equipamento para a medição da condutibilidade térmica e calor específico, ISOMET 2104 .....	30
Figura 3.8 - Câmara climática adaptada para os ensaios higroscópico .....	33
Figura 3.9 - Exsiccador com solução salina e provetes sob a grelha .....	34
Figura 3.10 - Anemómetro digital .....	35
Figura 3.11 – Análise da qualidade de várias técnicas de impermeabilização: a) ensaio resistência ao calor a temperatura de 60 °C, b) verificação da resistência ao calor a temperatura de 40 °C .....	35
Figura 3.12 - Impermeabilização dos provetes com fita alumínio .....	36
Figura 3.13 - Comparação temperatura e humidade relativa, ciclo teórico vs. ciclo real .....	40
Figura 3.14 - Perfil vertical da temperatura e humidade relativa, a) Outono 2011, b) Inverno 2012, c) Primavera 2012 .....	43
Figura 3.15 - Gráfico da variação da HR no interior da câmara a laranja e HR média do ensaio a azul.....	44
Figura 4.1 - Curva higroscópicas: a) argamassa de terra (S), b) celulose projectada (N) .....	47
Figura 4.2 - Curva higroscópicas: a) gesso cartonado (G) e com acabamento (GP), b) placa de celulose (M) e com acabamento (MP), c) placa fibras de madeira e ligante (O).....	48
Figura 4.3 - Curva higroscópicas: a) argamassa bastarda sem acabamento (B) e com acabamento (B), b) argamassa cimentícia sem acabamento (C) e com acabamento (CP), c) argamassa de cal hidráulica natural sem acabamento (NHL) e com acabamento (NHLP), d) estuque sem acabamento (E) e com acabamento (EP)....	49
Figura 4.4 - Curva de adsorção da argamassa bastarda (B), argamassa de cimento (C), argamassa de cal hidráulica natural (NHL), argamassa de terra (S), estuque projectado (E) e placas de gesso cartonado (G) .....	50
Figura 4.5 - Curva higroscópicas do revestimento de celulose projectada (N), placas de fibras de madeira e ligante (O) e placas de celulose reciclada (M).....	50
Figura 4.6 - Ciclo estável ensaio MVB 1: a) argamassa bastarda (B), b) argamassa cimentícia (C), c) argamassa de cal hidráulica natural (NHL) e d) argamassa de terra (S).....	51
Figura 4.7 - Ciclo estável ensaio MVB 1: a) estuque (E), b) reboco de celulose projectada (N).....	52

Figura 4.8 - Ciclo estável ensaio MVB 1: a) placas de gesso cartonado (G), b) placas de celulose reciclada (M), c) placas de fibras de madeira e ligante (O).....	53
Figura 4.9 - Valores médios e desvios determinados para o MBV simples 33 % - 75% HR.....	54
Figura 4.10 - Classificação qualitativa em relação ao MBV das soluções. Adaptado ..	54
Figura 4.11 - Comparação do MBV 1 dos provetes com e sem acabamento superficial: a) argamassa bastarda (B) e pintada (BP), b) argamassa cimentícia (C) e pintada (CP), c) argamassa de cal hidráulica natural (NHL) e pintada (NHLP), d) estuque (E) e com acabamento (EP), e) gesso cartonado (G) e pintado (GP) e f) placas de celulose reciclada (M) e pintada (MP) .....	55
Figura 4.12 - Comparação dos diferentes níveis de HR no ciclo estável das arg.; a) bastarda (B), b) bastarda pint. (BP), c) cimentícia (C), d) cimentícia pint. (CP), e) cal hidráulica natural (NHL), f) cal hidráulica natural pint. (NHLP) e g) de terra (S) .....	57
Figura 4.13 - Comparação dos diferentes níveis de HR no ciclo estável revestimentos pré-doseados: a) estuque (E), b) estuque com acabamento (EP), c) celulose projectada (N) .....	58
Figura 4.14 - Comparação dos diferentes níveis de HR no ciclo estável produtos pré-fabricados: a) gesso cartonado (G), b) gesso cartonado pintado (GP), c) placas de celulose (M), d) placas de celulose pintadas (MP), e) placas de fibras de madeira e ligante (O).....	59
Figura 4.15 - Ciclo único da ISO: a) arg. bastarda (B) e pint. (BP), b) arg. cimentícia (C) e pint.(CP), c) arg. cal hid. (NHL) e pint. (NHLP), d) arg. terra (S), e) estuque (E) e acab. (EP), f) celulose projectada (N) e placas fibras de madeira (O), g) gesso cartonado (G) e (GP), h) placas de celulose (M) e (MP).....	63
Figura 4.16 - Gráficos da taxa de adsorção dos materiais ensaiados. ....	65
Figura 4.17 - Ensaio cíclico das argamassas bastardas sem acabamento (B) e com acabamento (BP).....	66
Figura 4.18 - Ensaio cíclico das argamassas de cimento sem acabamento (C) e com acabamento (CP).....	66
Figura 4.19 - Ensaio cíclico de cal sem acabamento (NHL) e com acabamento (NHLP) .....	66
Figura 4.20 - Ensaio cíclico argamassa de terra (S) .....	67
Figura 4.21 - Ensaio cíclico estuque sem acabamento (E) e com acabamento (EP).....	67
Figura 4.22 - Ensaio cíclico celulose projectada (N) e placa de fibras de madeira e ligante (O).....	68
Figura 4.23 - Ensaio cíclico gesso cartona sem pintura (GP) e com acabamento (GP) .	68

Figura 4.24 - Ensaio cíclico placas de celulose sem acabamento (M) e com acabamento (MP).....	68
Figura 4.25 - Ensaio dinâmico das argamassas: a) bastarda (B), b) bastarda pint. (BP), c) cimentícia (C), d) cimentícia pint. (CP), e) cal hidráulica (NHL), f) cal hidráulica pint. (NHLP) e g) terra (S) .....	71
Figura 4.26 - Ensaio dinâmico dos provetes pré-doseados: a) estuque (E), b) estuque com acabamento (EP) e c) reboco de celulose projectada (N) .....	72
Figura 4.27 - Ensaio dinâmico elementos pré-fabricados: a) gesso cartonado (G), b) gesso cartonado pintado (GP), c) placas de celulose (M), d) placas de celulose pintadas (MP) e e) placas de fibra de madeira e ligante (O) .....	73
Figura 4.28 - Gráfico de comparação da capacidade obtida para o ensaio dinâmico e o MBV 50 % - 75 % .....	74
Figura 4.29 - Ensaio tempo de resposta para argamassa com e sem revestimento .....	76
Figura 4.30 - Ensaio tempo de resposta dos produtos pré-doseados .....	77
Figura 4.31 - Ensaio tempo de resposta provetes de gesso cartonado sem revestimento (GP) e com acabamento (GP).....	77
Figura 4.32 - Ensaio tempo de resposta placas de celulose sem revestimento (M) e com acabamento (MP).....	78
Figura 4.33 - Ensaio tempo de resposta placas de fibras de madeira e ligante (O).....	78
Figura 5.1 - Ajuste a curva higroscópica argamassa bastarda (B) .....	84
Figura 5.2 - Ajuste a curva higroscópica estuque projectado (E).....	85
Figura 5.3 - Ajuste a curva higroscópica gesso cartonado (G).....	85
Figura 5.4 - Curvas da capacidade higroscópica específica argamassa bastarda (B), argamassa cimentícia (C), estuque (E), gesso cartonado (G), placas de celulose (M), argamassa de cal hidráulica natural (NHL) e argamassa de terra (S) .....	86
Figura 5.5 - Curvas da capacidade higroscópica específica celulose projectada (N) e placas de fibras de madeira e ligante (O) .....	86
Figura 5.6 - Função linear $f(t) = t/w$ .....	88
Figura 5.7 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa bastarda (B).....	90
Figura 5.8 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa cimentícia (C) .....	91
Figura 5.9 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa cal hidráulica natural (NHL) .....	91
Figura 5.10 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa de terra (S).....	92
Figura 5.11- Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - estuque (E) ..	92

Figura 5.12- Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - reboco projectado de celulose (N).....	93
Figura 5.13 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - gesso cartonado (G).....	93
Figura 5.14 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - placas de celulose (M).....	94
Figura 5.15 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - fibras de madeira e ligante (O) .....	94
Figura 5.16 - Resultados experimentais e parametrização das curvas de tempo de resposta 50 % - 75 % para argamassa de terra (S).....	95
Figura 5.17 - Aplicação dos modelos a argamassa bastarda sem acabamento (B) .....	99
Figura 5.18 -Aplicação dos modelos a argamassa cimentícia sem acabamento (C) .....	99
Figura 5.19 -Aplicação dos modelos a argamassa de cal hidráulica natural sem acabamento (NHL) .....	99
Figura 5.20 - Aplicação dos modelos a argamassa de terra (S).....	99
Figura 5.21 - Aplicação dos modelos ao estuque sem acabamento (E) .....	100
Figura 5.22 - Aplicação dos modelos ao reboco de celulose projectado (N) .....	100
Figura 5.23 - Aplicação dos modelos as placas gesso cartonado sem acabamento (G).....	100
Figura 5.24 - Aplicação dos modelos as placas de celulose sem acabamento (M) .....	100
Figura 5.25 - Aplicação dos modelos as placas gesso cartonado com acabamento (GP) .....	101
Figura 5.26 - Aplicação dos modelos a placas de celulose com acabamento (MP).....	101
Figura 5.27 - Aplicação dos modelos as fibras de madeira e ligante (O).....	101
Figura 5.28 - Aplicação dos modelos a argamassa bastarda com acabamento (BP)....	102
Figura 5.29 - Aplicação dos modelos a argamassa cimentícia com acabamento (CP) .....	102
Figura 5.30 - Aplicação dos modelos a argamassa de cal hidráulica natural com acabamento (NHLP) .....	102
Figura 5.31 - Aplicação dos modelos ao estuque com acabamento (EP).....	102



## Símbolos e siglas

Símbolo	Unidade	Designação
$A$	$m^2$	Área
$A_w$	$g/(m^2 \cdot dia)$	Água disponível
$b$	$W \cdot vs / (m^2 \cdot K)$	Efusividade térmica
$bm$	$kg / (m^2 \cdot Pa \cdot vs)$	Efusividade higrica
$cp$	$J / (Kg \cdot K)$	Calor específico
$d$	$m^2$	Espessura
$dp$	$m$	Profundidade de penetração
$G$	$kg/s$	Fluxo total de humidade
$G_n$	$g / (m^2 \cdot h)$	Taxa adsorção-desadsorção
$HR, \phi$	%	Humidade relativa
$L$	$m$	Comprimento ou largura
$m_0$	$kg$	Massa provete seco
$m_h$	$kg$	Massa humida
$m_s$	$kg$	Massa seca
MBV	$kg / (m^2 \cdot \%HR)$	"Moisture Buffer Value" - Capacidade de armazenamento de vapor por um material ou elemento num ciclo diário
$N$	$h^{-1}$	Número de renovações horárias
$P_{ab}$	%	Porosidade aberta
$p_{ar}$	Pa	Pressão total do ar
$P_v$	Pa	Pressão parcial de vapor de água no ar
$P_{sat}$	Pa	Pressão de saturação de vapor de água
$R^2$	-	Coeficiente de correlação linear
$t$	s	Tempo
$T_p$	horas	Tempo da oscilação sinusoidal da humidade relativa
$T$	$^{\circ}C$	Temperatura
$u$	$kg/kg$	Teor de humidade em massa
$u_h$	$kg/kg$	Teor de humidade crítico
$v$	$kg/m^3$	Concentração de vapor no ar
$v_s$	$kg/m^3$	Limite de saturação
$V$	$m^3$	Volume

<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Designação</b>
$w$	kg/m <sup>3</sup>	Teor de humidade em volume aparente
$w_{cap}$	kg/m <sup>3</sup>	Teor de humidade de saturação capilar
$w_{cr}$	kg/m <sup>3</sup>	Teor de humidade crítica
$w_{eq}$	kg/m <sup>3</sup>	Teor de equilíbrio para determinada humidade relativa
$w_{sat}$	kg/m <sup>3</sup>	Teor de saturação
$w_{max}$	kg/m <sup>3</sup>	Teor de humidade máximo
$x_{ar}$	kg/kg	Humidade absoluta do ar
$\delta_s$	kg/(m·s·Pa)	Permeabilidade ao vapor no ar
$\lambda$	W/(m·K)	Condutibilidade térmica
$\mu$	-	Factor de resistência ao vapor
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Massa volúmica do material
$\rho_{ar}$	kg/m <sup>3</sup>	Massa volúmica do ar
$\rho_a$	kg/m <sup>3</sup>	Massa volúmica da água
$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	Massa volúmica seca do material sólido
$\rho_{A,a}$	g/m <sup>2</sup>	Teor de adsorção
$\rho_{A,d}$	g/m <sup>2</sup>	Teor de desadsorção
$\rho_{A,s}$	g/m <sup>2</sup>	Teor de diferença
$\rho_{\bar{A}}$	g/m <sup>2</sup>	Teor médio de adsorção/desadsorção
$\sigma$	N/m	Tensão superficial dos fluidos
$\xi_u$	kg/kg	Capacidade higroscópica específica
$\xi_w$	kg/m <sup>3</sup>	Capacidade higroscópica específica

<b>Constantes</b>	<b>Valor</b>	<b>Designação</b>
$p_o$	1013,25 hPa	Pressão barométrica padrão
$R_a$	287 J/(kg·K)	Constante universal dos gases relativa ao ar seco
$R_v$	461,4 J/(kg·K)	Constante universal dos gases relativa ao vapor de água

<b>Sigla</b>	<b>Designação</b>
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
NP	Norma Portuguesa
EN	European Standard
JIS	Japanese Industrial Standard
ISO	International Organization for Standardization
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
UNL	Universidade Nova de Lisboa
DEC	Departamento de Engenharia Civil

<b>Sigla dos provetes</b>	<b>Designação</b>
B	Cimento Portland II e cal aérea
BP	Cimento Portland II e cal aérea + duas demãos de tinta plástica
C	Cimento Portland II
CP	Cimento Portland II + duas demãos de tinta plástica
E	Estuque projectado
EP	Estuque projectado + acabamento em gesso < 2 mm
G	Placas de gesso cartonado
GP	Placas de gesso cartonado + duas demãos de tinta plástica
M	Placas de celulose reciclada
MP	Placas de celulose reciclada + duas demãos de tinta plástica
N	Celulose projectada
NHL	Cal hidráulica natural 3,5
NHLP	Cal hidráulica natural 3,5 + duas demãos de tinta plástica
O	Placas de fibras de madeira de abeto e ligantes
S	Terra argilosa



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

A maioria dos materiais de construção são porosos e têm a possibilidade de realizar trocas de humidade com o ambiente em que estão inseridos. A capacidade que os poros têm para adsorver a humidade do ambiente pode contribuir para o desenvolvimento de fungos e conseqüentemente deterioração dos materiais. Contudo pode também ser encarada de forma positiva, podendo contribuir para a diminuição da variação da humidade relativa em ambientes interiores. A capacidade de adsorver vapor de água quando a humidade relativa interior é elevada e posteriormente libertá-lo quando o ambiente apresenta condições mais secas pode constituir uma importante ferramenta passiva para o controlo da humidade relativa.

Em condições específicas a utilização de materiais higroscópicos pode excluir a necessidade da utilização de meios mecânicos para o controlo higrotérmico dos ambientes. A humidade relativa é de extrema importância pois as condições de salubridade e qualidade do ar estão ligadas directamente com esta característica, que nos casos anómalos pode gerar problemas tanto para o edifício como para os próprios ocupantes.

A capacidade dos materiais de adsorverem e desadsorverem a humidade dos espaços é um fenómeno complexo que envolve transferências de calor e de massa. Algumas abordagens para a caracterização da capacidade de armazenamento de humidade utilizando materiais higroscópicos têm sido propostas, mas nenhuma consegue abranger todos os factores que influenciam esta capacidade.

O efeito da utilização de materiais de construção bem como todos os elementos de decoração, têxteis e móveis nos ambientes interiores tem grande influência no conceito de inércia higroscópica, na medida em que como todos elementos porosos poderão contribuir para o balanço da humidade interior.

## 1.2 Objectivo e metodologia

O objectivo principal desta dissertação é o estudo da capacidade higroscópica de materiais de revestimento e sua influência para o contributo no controlo da humidade relativa ambiente. Para tal definiram-se alguns objectivos parciais:

- Levantamento bibliográfico sobre a importância da humidade relativa para os edifícios e influência da inércia higroscópica para o controlo do ambiente interior, analisando-se metodologias utilizadas e resultados obtidos.
- Determinação das propriedades higroscópicas de materiais de revestimento comuns utilizados em construções novas ou em casos de reabilitação de acordo com os métodos documentados na bibliografia
- Avaliação da influência da variação do clima interior na parametrização dos materiais
- Avaliação da importância do tempo que os materiais necessitam para atingir o equilíbrio com determinadas condições para a previsão do seu comportamento.
- Utilização de modelos numéricos que permitam estimar a capacidade de adsorção e desadsorção dos materiais.

## 1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação divide-se em seis capítulos:

- No capítulo 1 é feita a introdução geral do trabalho, enquadrando o tema da dissertação, apresentam-se também os objectivos e metodologias seguidas.
- No capítulo 2 procura-se introduzir os conceitos de humidade e o efeito desta nos materiais e nos ambientes interiores. É feita também uma revisão bibliográfica de trabalhos realizados nesta temática.
- No capítulo 3 encontra-se a determinação experimental das características higroscópicas dos materiais em estudo. As campanhas experimentais permitem a análise da capacidade de armazenamento de humidade dos elementos porosos presentes nos ambientes interiores.

- No capítulo 4 são apresentados os resultados da caracterização higroscópica dos materiais.
- No capítulo 5 é feita uma análise numérica a alguns ensaios por meio a fazer aproximações aos dados obtidos.
- No capítulo 6 é apresentada as conclusões finais dos resultados obtidos bem como também uma proposta para trabalhos futuros.



## 2 Humidade e os edifícios

### 2.1 Ar húmido

A água está sempre presente em todos lugares, apresentando-se na forma sólida, líquida ou gasosa. No ar encontra-se na forma de vapor de água e nos materiais nos preenchendo seus vazios.

Quando existe humidade no ar pode-se denominar a mistura como “ar húmido”, que consiste na mistura de ar seco (cerca de 78% em volume de azoto, 21% de oxigénio e 1% de outros gases) e vapor de água. Admitindo que ambos os gases se comportam como gases ideais é possível aplicar a lei geral dos gases que relaciona a pressão parcial de vapor no ar,  $P_v$ , [Pa] com a concentração de vapor,  $v$ , [kg/m<sup>3</sup>] descrita na seguinte expressão [1]:

$$\frac{P_v}{v} = R_v \cdot (T + 273,15) \quad (2.1)$$

Em que  $R_v$  é a constante específica do vapor da água, com o valor de 461,52 J/(kg·K) e  $T$  é a temperatura dada em °C.

A pressão parcial de vapor no ar corresponde à pressão que o vapor de água exerceria caso ocupasse a totalidade do volume ocupado, à temperatura da mistura ideal.

Diz-se que se atingiu o limite de saturação,  $v_s$ , [kg/m<sup>3</sup>] quando num determinado volume se atinge a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter. O limite de saturação pode ser calculado através das equações 2.2 e 2.3 que se encontra presente norma DIN 4108-3 [2]:

$$v_s = 0,6257 \cdot \frac{\left(1,098 + \frac{T}{100}\right)^{8,02}}{T + 273,15}, \quad \text{para } 0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.2)$$

$$v_s = 0,01016 \cdot \frac{\left(1,486 + \frac{T}{100}\right)^{12,3}}{T + 273,15}, \quad \text{para } -20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T < 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

Em termos de pressão esta característica corresponde à pressão de saturação,  $P_{sat}$ , [Pa] e pode ser calculada através das expressões 2.4 e 2.5, presentes na norma EN ISO 13788 [3]:

$$P_{sat} = 610,5 e^{\left(\frac{21,875 \cdot T}{265,5+T}\right)}, \quad \text{para } T \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.4)$$

$$P_{sat} = 610,5 e^{\left(\frac{17,269 \cdot T}{237,3+T}\right)}, \quad \text{para } T > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.5)$$

Entre várias formas possíveis de expressar a humidade no ar, o conceito de humidade relativa é o mais comum. A humidade relativa no ambiente, (HR), relaciona a concentração de vapor de água real com o limite de saturação, expressando-se normalmente em percentagem:

$$HR = \frac{v}{v_s} \times 100 \quad (2.6)$$

A HR pode-se também ser calculada pelo quociente entre a pressão de saturação e a pressão parcial dum determinado espaço, também dada em percentagem.

$$HR = \frac{P_v}{P_{sat}} \times 100 \quad (2.7)$$

A representação das propriedades termodinâmicas do ar húmido é feita pelo diagrama psicrométrico, como demonstra na Figura 2.1, onde se pode verificar a relação entre a pressão parcial de vapor de água, temperatura, humidade relativa e concentração de vapor de água.

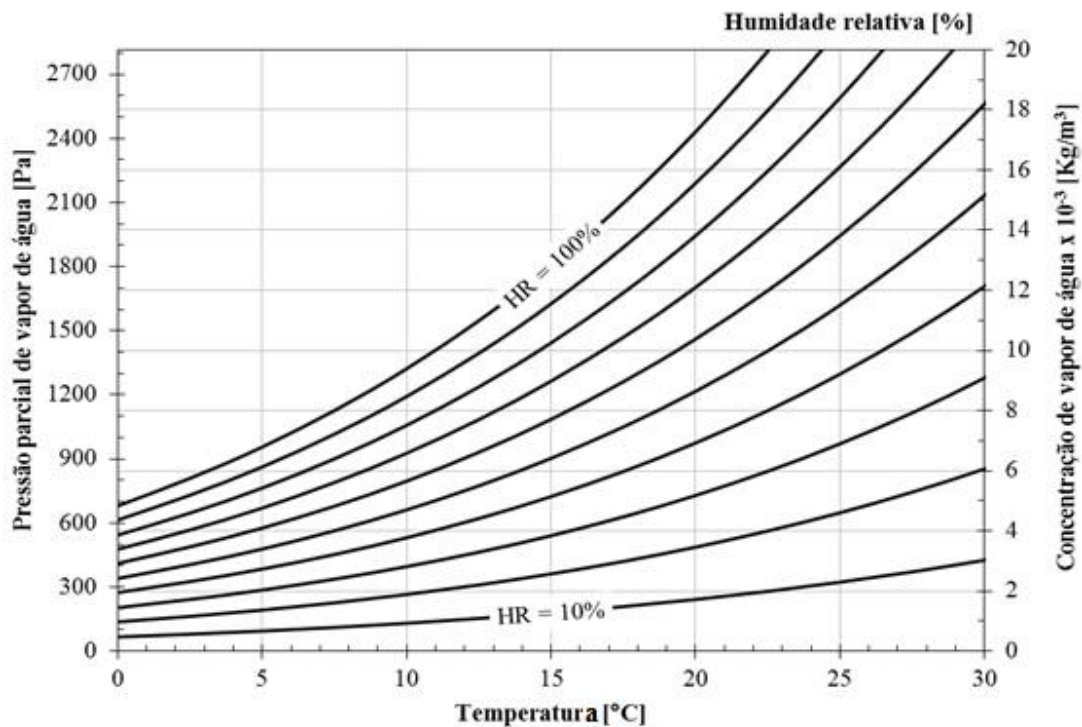


Figura 2.1 - Diagrama psicrométrico

## 2.2 Transferência de umidade nos materiais porosos

Os materiais de revestimento interior são geralmente formados por estrutura sólida e espaços vazios preenchidos com água líquida ou em forma gasosa e até mesmo por ar seco. Dependendo das condições ambientais, a umidade contida nos poros pode ser encontrada, no estado sólido, líquido ou gasoso, ou em múltiplos estados no interior dos micróporos [4].

A propriedade que permite caracterizar a quantidade de água que o material contém é o teor de umidade, expresso em massa por massa,  $u$  – (kg/kg), ou através da relação massa / volume,  $w$  – (kg/m<sup>3</sup>). A relação entre as duas grandezas depende apenas da massa volúmica seca do material,  $\rho_s$  [kg/m<sup>3</sup>].

$$\rho_s = \frac{w}{u} \quad (2.8)$$

Segundo a norma ISO 9346 [5] o teor de umidade pode ser calculado segundo as seguintes expressões:

Relação entre massas:

$$u = \frac{m_h - m_s}{m_s} \quad (2.9)$$

Relação massa e volume:

$$w = \frac{m_h - m_s}{V} \quad (2.10)$$

em que  $m_h$  é a massa húmida, e  $m_s$  a massa seca do material em análise dadas em quilograma e  $V$  é o volume do material.

O teor de água estipulado pelas equações acima pode assumir valores compreendidos entre o zero absoluto e um valor máximo, como se pode verificar na Figura 2.2.

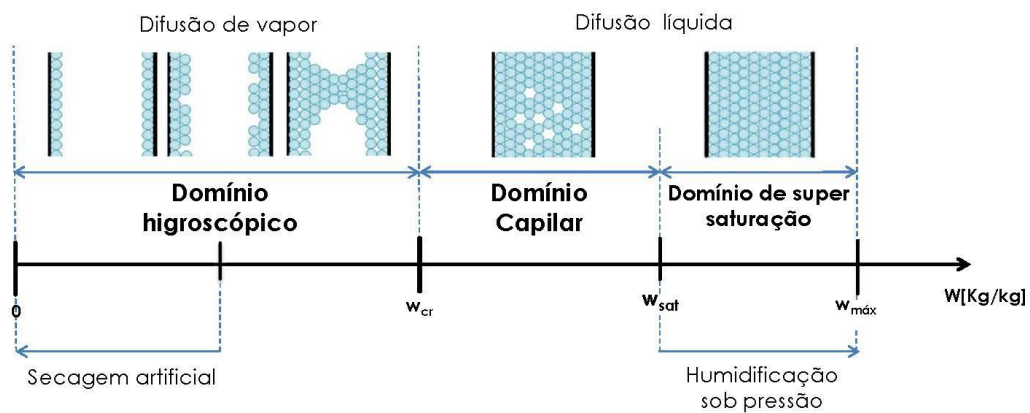


Figura 2.2 - Esquema convencional do teor de umidade de um material [6].

O zero absoluto corresponde ao estado seco do material, sendo este obtido normalmente através de métodos artificiais. Até o teor de humidade crítico,  $w_{cr}$ , o material está dentro do domínio higroscópico, melhor definido como o teor mínimo de humidade para o qual deixa de ocorrer o transporte de humidade na fase gasosa e passa a ocorrer sob forma líquida.

Entre o teor de humidade crítico e o teor de saturação,  $w_{sat}$ , existe o domínio capilar ao longo do qual a transferência de água nos poros ocorre predominantemente sob a forma líquida. Além deste domínio, através de pressão induzida é possível atingir o teor de humidade máximo,  $w_{max}$ , em que todos os poros do material se encontram saturados por água.

No âmbito desta Dissertação, o domínio higroscópico será o objecto principal de estudo, recaindo maioritariamente sobre a transferência de humidade na forma de vapor de água.

Quando o material é colocado em contacto com vapor da água tem a capacidade de adsorver a humidade e armazená-la nos poros. Em materiais de construção esta adsorção ocorre de forma progressiva e crescente, com o aumento da humidade relativa. Na Figura 2.3 é possível identificar o comportamento dos materiais quando expostos a humidade, sendo as curvas do tipo II da classificação de Brunauer, Emmet e Teller representa a maioria dos materiais de construção.

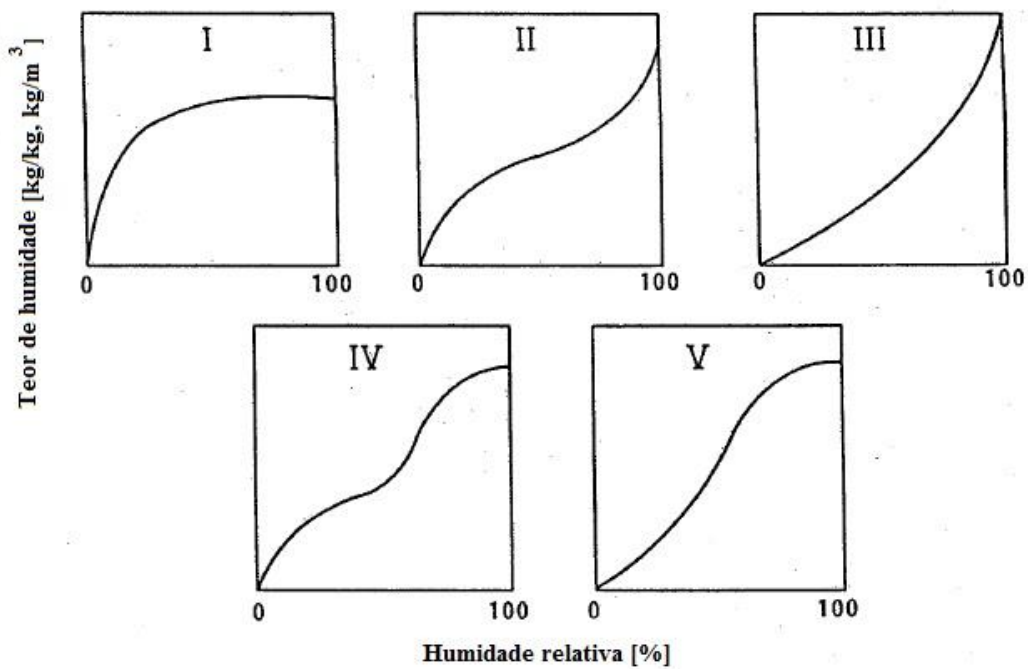


Figura 2.3 - Diferentes tipos de curvas higroscópicas segundo Brunauer, Emmet e Teller [7]

Na Figura 2.4 está representado um gráfico que simula a quantidade de água adsorvida em relação à humidade relativa.

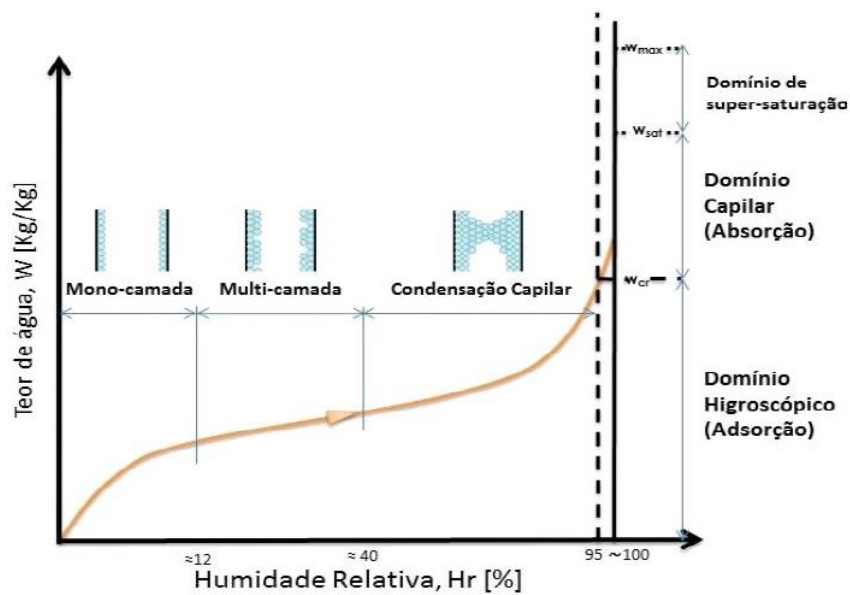


Figura 2.4 - Gráfico genérico da curva de armazenamento de humidade em condições isotérmicas [1]

Na zona de adsorção monomolecular, ocorre a adesão de uma fina camada de moléculas de água sobre a superfície das paredes dos poros. Com o aumento da pressão parcial, e devido às forças intermoleculares ocorre a sobreposição de múltiplas camadas, designando-se este fenómeno como adsorção plurimolecular ou multi-camada. Por fim ocorre a condensação capilar, em que é constituído um menisco pela união das multicamadas. Este efeito é acelerado em poros de menores dimensões dado que as moléculas se arranjam de forma mais estável.

Este efeito pode ser descrito pela lei de Kelvin, que relaciona o raio dos poros e a humidade relativa, como apresentado na seguinte equação:

$$HR = e^{\left(\frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho_a RT}\right)} \quad (2.11)$$

em que  $\sigma$  é a tensão superficial do fluido,  $\theta$  ângulo de contacto (para água assume-se zero),  $r$  é o raio médio do poro,  $\rho_a$  é a massa volúmica da água,  $R$  constante dos gases e  $T$  é a temperatura absoluta.

Verifica-se através da equação 2.11 que a probabilidade de ocorrer condensações é tanto maior quanto menor for diâmetro do poro, ou seja, existe uma maior probabilidade de ocorrer condensações nos poros de menor raio. Assim quanto maior for a percentagem de poros de pequenas dimensões, maior será o teor de humidade higroscópica.

Quando a humidade relativa diminui seria expectável que a perda de água (desadsorção) nos materiais tivessem o mesmo comportamento da adsorção, mas em muitos casos tal não se verifica. Esta diferença entre a adsorção e desadsorção dos materiais é designada como histerese. Para este

efeito não existe apenas uma teoria, mas é possível utilizar duas hipóteses plausíveis. A primeira hipótese afirma que o atraso na desadsorção ocorre devido ao ângulo do menisco na fase de condensação capilar ser menor em relação ao menisco durante a secagem. Esta diferença entre o menisco nas diferentes fases acontece pelas força de atrito causadas pelo humedecimento das paredes durante a fase de adsorção [8]. Na Figura 2.5 apresenta-se o caso de adsorção à esquerda, em que as paredes inicialmente secas facilitam a adsorção, e de desadsorção à direita, mostrando-se a possível dificuldade de secagem dado que existe um maior atrito pelas paredes se encontrarem molhadas.

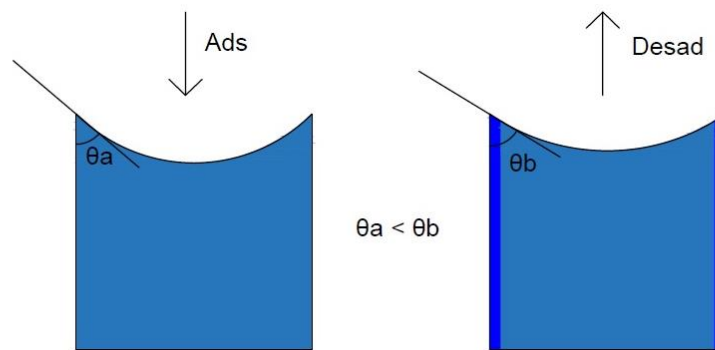


Figura 2.5 - Diferença de ângulos para adsorção e desadsorção devido à fenômenos de atração das moléculas de água nas paredes durante a secagem

Tendo em conta a existência de poros com diferentes secções, (tipo tinteiro), a Figura 2.6 apresenta outra hipótese. Esta hipótese tem em conta a influência da pressão dos diferentes meniscos, que pelo efeito de sucção leva a que o menisco de menor diâmetro tenda a estar sujeito a maiores pressões, traduzindo-se numa maior facilidade de secagem, estando todo o processo de perda de água condicionado por este menisco. Durante a secagem podem ainda ocorrer transferências do poro  $D_2$  para o poro  $D_1$  de forma a criar um equilíbrio físico [6][1][8].

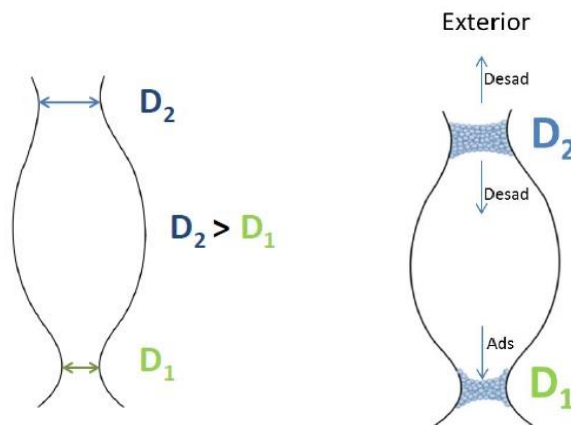


Figura 2.6 - Poro tinteiro e fenômeno de desadsorção (efeito da histerese) [6]

## 2.3 Humidade nos edifícios

No último século houve uma preocupação crescente com o conforto higrotérmico nas edificações que se justifica, pelo facto da temperatura e humidade relativa nos ambientes influenciarem directamente fenómenos como a degradação dos materiais, conforto, saúde e rentabilidade dos utilizadores e em questões energéticas.

Com o aumento do conhecimento sobre o comportamento dos materiais e com o desenvolvimento tecnológico, procurou-se definir intervalos climáticos cada vez mais apertados com o objectivo de aumentar o conforto humano, tanto em termos térmicos, como com o aumento da salubridade no interior dos edifícios, e de reduzir o risco de degradação dos materiais, principalmente em edifícios de relevo cultural, como museus ou galerias [9][10].

Em relação aos materiais a humidade relativa pode causar diferentes anomalias como a degradação, redução da resistência mecânica e química e propensão ao desenvolvimento de microrganismos [11][12][13].

Em casos comuns a deficiência de ventilação conjuntamente com produções elevadas de vapor de água propicia a germinação e crescimento de fungos. Caso sejam mantidas condições ideais, os esporos tendem a aumentar e geram manchas de bolor, que para além de danificarem as paredes, libertam odores desagradáveis e podem causar problemas de saúde aos utilizadores, como micoses e alergias [14]. As condições propícias para o desenvolvimento dos microrganismos são muito fáceis de serem atingidas nos ambientes pouco ventilados com temperaturas amenas, inferiores à 23 °C e HR superiores à 75 % - 85 % [11].

A qualidade do ar interior é imprescindível para os ocupantes [15][16], podendo em casos de *sick building syndrome* [13] desenvolver problemas do foro respiratório, irritações cutâneas e nas mucosas, alergias, entre outras doenças [17][18][19].

Também são propostos por diversos autores e organizações valores óptimos de humidade relativa compreendidos entre 30 % e 55 % que permitem assegurar ambientes saudável, que reduzem o desenvolvimento de microrganismos e ácaros [20]. Na Figura 2.7 apresentam-se valores óptimos considerando diferentes factores relacionados com a saúde dos utentes.

No entanto as condições de conforto térmico também são tidas em conta como requisitos de salubridade. A presença da água nos ambientes pode afectar de duas formas distintas as condições higrotérmicas do edifício: a primeira esta relacionada com a presença de água nos poros dos materiais, em que a condutibilidade aumenta de forma proporcional com o aumento do teor de água do material [6][21][22], causando grande impacto na temperatura. A outra forma relaciona-se com a influência que a humidade desempenha na percepção da temperatura aos utilizadores, em que a capacidade do utilizador para realizar as trocas de calor através da transpiração é

condicionada pela humidade. Uma ambiência em que a humidade relativa é alta ou muito baixa, provoca o efeito de desconforto e sensação térmica indesejada [23][24].

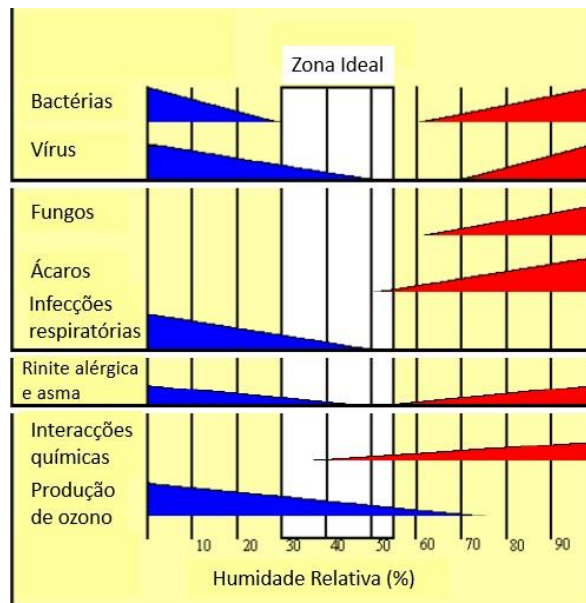


Figura 2.7 - O efeito da humidade para vários parâmetros relacionados com a saúde e qualidade do ar interior, indicando o intervalo ideal de humidade relativa 30 – 55 %, adaptado de [20]

Como não se pode equacionar todos os parâmetros que influenciam o ambiente interior, não é possível definir apenas um intervalo de humidade relativa ideal, devendo-se estudar cada caso individualmente de acordo com as necessidades dos ocupantes, da envolvente, do clima exterior e da ocupação que o edifício tem.

## 2.4 Variáveis condicionantes da humidade relativa

### 2.4.1 Contextualização

A humidade relativa de um ambiente é extremamente variável e depende de vários factores que a podem influenciar de forma directa ou indirecta. Os factores que possuem maior influência na humidade do ambiente são os utilizadores, a ventilação, o clima exterior, a difusão do vapor nos materiais e as produções de vapor. Existem ainda outros factores, tais como: a possibilidade de ocorrência de condensações, a produção de calor, os ganhos solares, a envolvente exterior e a variação dos parâmetros anteriormente especificados em função do tempo. Na Figura 2.8 podem-se verificar alguns dos parâmetros que influenciam a humidade no ar.

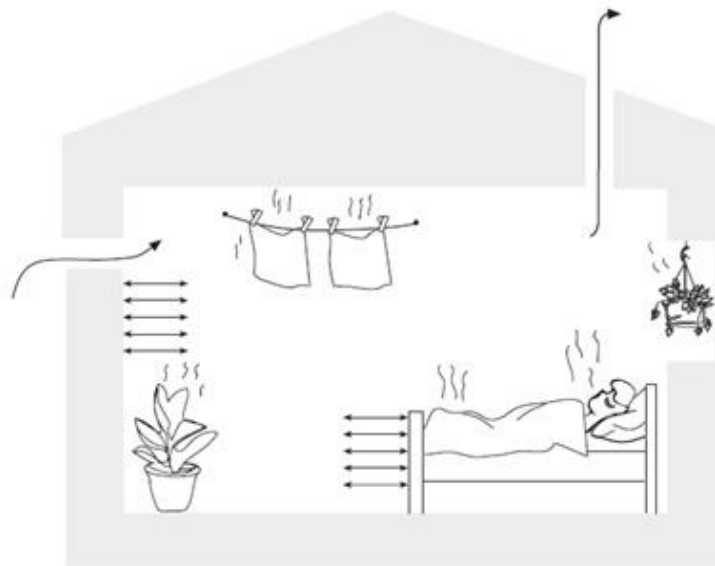


Figura 2.8 - Balanço da humidade num quarto e os factores que influenciam como a produção de vapor, a ventilação e capacidade dos materiais de interagirem com ambiente [14].

#### 2.4.2 Utilizadores

Os utilizadores influenciam de forma activa o ambiente interior, tanto de forma voluntária com a abertura de janelas e instalação de sistemas de climatização, como de forma involuntária com as trocas de calor e massa associadas à sua utilização do edifício. As actividades realizadas no interior dos edifícios têm uma produção de vapor associada. Veja-se os seguintes exemplo a actividade de cozinhar envolve uma taxa de produção de vapor que pode ir de 600 a 1500 g/h, secagem de roupas pode produzir de 50 a 200 g/h e o banho produz entre 700 a 2600 g/h. Os utilizadores também produzem diferentes quantidades de vapor de água que depende de se encontram em repouso 30 a 60 g/h ou em exercício 200 a 600 g/h [25].

Paralelamente à produção de vapor de água, a produção de calor também está associada às tarefas realizadas, aos equipamentos e utilizadores que influencia de forma directa a humidade relativa interior. Estes acréscimos de temperatura são mais difíceis de serem contabilizados. Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) os ganhos térmicos médios por unidade de área útil são aproximados a 4 W/m<sup>2</sup> em casos residenciais e 7 W/m<sup>2</sup> em edifícios do tipo de serviços [26].

#### 2.4.3 Ventilação

A ventilação é outro factor determinante para a humidade relativa em que o clima interior das edificações contacta com o clima exterior através da troca de ar poluído do interior com ar fresco do exterior. Por questões de salubridade a ventilação é necessária para a remoção de CO<sub>2</sub> e

restabelecimento dos níveis de oxigénio. Durante esta troca também é realizado o balanço do vapor de água presente no ar.

A troca do ar pode ocorrer de diversas formas; normalmente estas são projectadas e são inseridos dispositivos como grelhas ou frestas para entrada e saída do ar. No caso de outras vias não projectadas, chamam-se infiltrações.

Em decretos como REH [26] ou regulamentações como a Norma Portuguesa NP 1037-1:2015 [27], é possível encontrar valores mínimos de ventilação a serem assegurados. Segundo o REH a taxa de renovação de ar deve apresentar um valor mínimo de  $0,4 \text{ h}^{-1}$  para a estação aquecimento e  $0,6 \text{ h}^{-1}$  para a estação de arrefecimento. No caso da NP 1037-1 o projecto contabiliza  $1 \text{ h}^{-1}$  para compartimentos principais e  $4 \text{ h}^{-1}$  em compartimentos de serviço.

No caso da ventilação natural na prática é difícil assegurar que os caudais projectados correspondam com a realidade, pois existem factores que influenciam a ventilação. Mas nos casos de ventilação forçada normalmente utilizada em países frios e edifícios novos, consegue-se controlar facilmente os caudais de ventilação.

#### 2.4.4 Clima exterior

O clima exterior tem um impacto directo no clima interior, seja pelas trocas de ar pela ventilação, seja pelos ganhos térmicos através da radiação ou condução da envolvente. Como já observado no diagrama psicométrico a temperatura tem relação directa com a humidade relativa, sendo o ambiente interior influenciado tanto pela temperatura como pela concentração de vapor de água exterior.

Concretamente em Portugal existe uma grande amplitude de condições climatérica sendo proposto pelo REH cinco zonas climáticas de Inverno e cinco zonas climáticas de Verão sendo incluído todo território continental, Madeira e Açores. O país conta com um grande número de estações meteorológicas em que é possível obter dados climáticos da precipitação, humidade relativa, evaporação, humidade absoluta, temperatura e regime dos ventos.

No contexto genérico pode-se considerar o clima de Portugal como temperado marítimo, mas, no entanto, existem variações significantes dependentes da região. Analisando por exemplo algumas cidades portuguesas como Porto e Lisboa conseguimos identificar valores médios para os diferentes meses do ano e amplitudes máximas de mínimas. Também é possível verificar os diferentes comportamentos de Inverno e Verão em relação a variação de HR em que no caso de Lisboa tende a decrescer com o aumento da temperatura e no caso do Porto podem ocorrer situações inversas. Na Figura 2.9 estão representados alguns dados médios mensais de temperatura e humidade relativa fornecidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, antigo Instituto de Meteorologia), referente aos anos de 1951 – 1980.

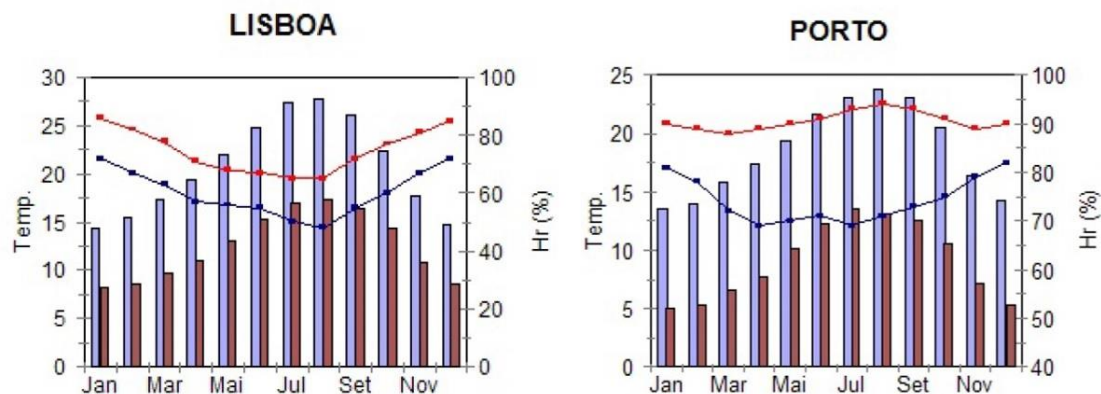


Figura 2.9 - Temperaturas máximas e mínimas mensais (coluna da direita e esquerda respectivamente) e humidade relativa médias as 9 horas e as 18 horas (curva superior e curva inferior respectivamente) da região de Lisboa e Porto [1].

## 2.5 A influência da higroscopicidade dos materiais no controlo da humidade relativa interior

A capacidade dos materiais de adsorverem e desadsorverem a humidade dos ambientes, permite atenuar as oscilações de humidade relativa do ar [4][28][29]. Este efeito é um factor que tem de ser contabilizado, dado que todas as construções possuem elementos construtivos porosos, mobiliários e tecidos que têm a capacidade de armazenar humidade. Existem diversos estudos sobre esta área sendo citados na secção a seguir.

### 2.5.1 Ensaio de variação transitória da humidade relativa

Nos anos 60 Könzel realizou uma série de pesquisas em que pretendia avaliar a resposta dos materiais à adsorção de vapor de água de revestimento de paredes (argamassas de cal, cimento, bastardas de cal e cimento e estuque), betões, madeiras (faia, vidoeiro, mogno, pinho, abeto, carvalho e outras), revestimentos de pavimento (ladrilhos cerâmicos, linóleo, vinílicos) e materiais têxteis (lã, nylon, viscose, poliéster e algodão, tapete de sisal) [15].

O ensaio utilizado traduzia-se na quantificação da variação de massa quando os provetes pré-condicionados a uma humidade relativa de 40 % ( $w = 9.4 \text{ g/m}^3$ ) eram submetidos a uma humidade relativa de 80 % ( $w = 18.8 \text{ g/m}^3$ ) com uma temperatura constante de 20 °C. O acréscimo de massa dos provetes foi medido durante 24 horas consecutivas. Ao fim das 24 horas eram reestabelecidas as condições iniciais de humidade relativa baixa e registada a variação de massa. Para classificar a capacidade de adsorção e desadsorção foi criado o coeficiente de adsorção que é uma relação simples da massa adsorvida a dividir pela área do provete. Na Figura 2.10 é possível verificar alguns resultados para algumas argamassas ensaiadas.

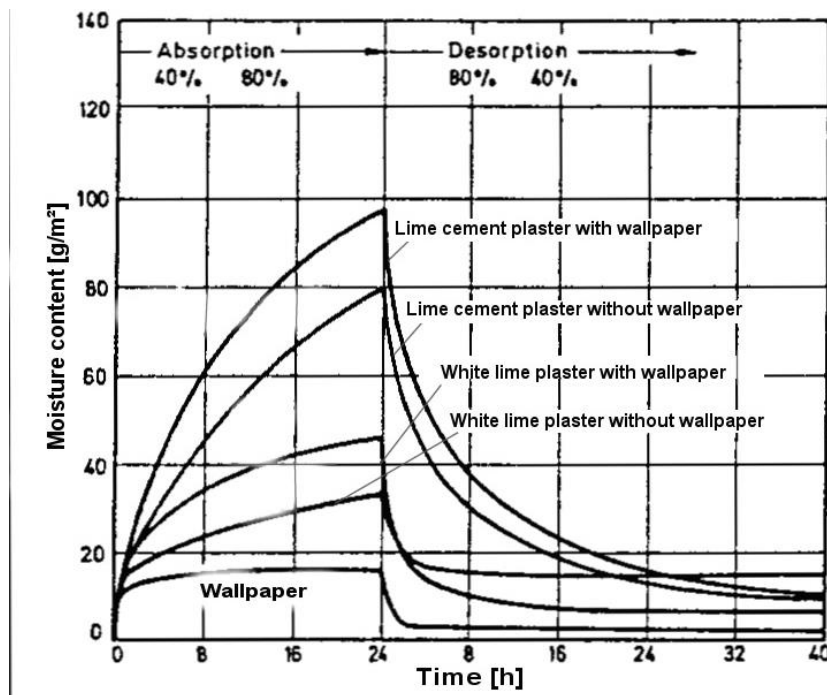


Figura 2.10 - Adsorção e desadsorção de argamassas de cimento e argamassas de cal, com ou sem papel de parede depois dos intervalos de humidade relativa 40 - 80% [15].

Os ensaios permitiram verificar que as argamassas que possuem poros de dimensão reduzida (cimentícia, cimento e cal, cal) obtiveram melhores resultados em relação à adsorção do que as argamassas que são constituídas por uma porometria mais grosseira (estruque).

Alguns anos depois Harderup, realizou ensaios semelhantes aos de Künzel com o auxílio de uma câmara climática que recriava ambientes propícios à adsorção dos materiais. Os provetes eram expostos a este ambiente durante diferentes períodos, que variavam entre 3, 6, 11, 48 e 96 horas. Ao fim da fase de adsorção a câmara era aberta e os provetes realizavam a desadsorção nas condições ambientes da sala. Esta fase de desadsorção tinha igual duração à fase de adsorção, contrariamente ao ensaio efectuado por Künzel [15].

Para os ensaios foram escolhidos materiais pré-fabricados: aglomerados de madeira; placas de gesso cartonado; parquets, pisos vinílicos; e materiais têxteis como algodão, poliéster, linho e couro. Foram ainda estudados diferentes sistemas de acabamentos.

Em 1998 Times [30] também utilizou o regime dinâmico de variação da humidade relativa com temperatura constante para avaliar a capacidade higroscópica de madeiras. O ensaio propunha uma primeira variante constituída por dois intervalos de variação de humidade relativa, uma de 94% - 75% e outra de 75% - 54%. A segunda variante foi o período de ensaio – semanais ou diários, em que durante 24 horas ou 7 dias os provetes eram submetidos a variações de humidade relativa entre os intervalos definidos até se atingir um equilíbrio entre a adsorção e desadsorção (aproximadamente 1 semana). Através do recurso à regressão linear o autor conseguiu relacionar

a variação de massa dos provetes e a raiz quadrada do tempo e, assim estabelecer um parâmetro caracterizador da capacidade de armazenamento de humidade para madeiras.

Os autores referidos apresentam uma lacuna significativa nos seus trabalhos, pois a velocidade de ar é um factor que não é tido em conta, muito menos a definição de coeficientes de transferência de humidade para a calibração do ensaio. Também o tempo de transição entre os patamares de HR não são especificados em nenhum dos ensaios. Sendo assim os dados obtidos pelos ensaios acima citados são de difícil comparação e replicação.

De forma a suprir a falta de normas específicas para a caracterização da capacidade de armazenamento de humidade de materiais de construção, foi proposta em 2002 a norma JIS A 1470-1 no Japão [31]. A proposta de ensaio baseia-se na variação de massa dos materiais quando são expostos a variação de HR a temperatura contante. Igualmente aos ensaios anteriores, os materiais são expostos a dois patamares de HR, que propiciam a adsorção ou desadsorção dos materiais. Os ciclos têm duração igual à adoptada por Künzel, de 24 horas de nível alto de HR e 24 horas seguintes de HR baixa.

De forma a possibilitar a replicação dos ensaios a norma indica algumas tipologias de câmara de ensaio, em que é possível utilizar ou montar qualquer equipamento desde que permita o controlo e monitorização da temperatura e HR. Como forma de calibrar a velocidade do ar na câmara é realizado um sub-ensaio de permeabilidade ao vapor com elementos de propriedades conhecidas em que objectivo é cumprir os valores próximos a permeabilidade ao vapor aos impostos por esta norma. O tempo para se atingir a HR durante a variação também tem de ser calibrada para que a transição ocorra em menos de 10 minutos.

O resultado obtido com esta norma permite estabelecer coeficientes para adsorção e desadsorção, mas também permite avaliar a resposta do material em relação ao tempo.

No entanto as variações diárias dos patamares de HR propostos pela JIS são pouco representativos a casos reais, o que torna os dados obtidos pouco interessantes para casos práticos e até mesmo para a caracterização dos materiais.

De forma a suprir as variações diárias propostas pela JIS a ISO 24353:2008 [32] uniformiza a caracterização de materiais de construção em relação à sua capacidade de adsorção e desadsorção para o controlo de variações de humidade interior. Esta norma apresenta características iguais às citadas pela JIS, mas alterando a duração dos ciclos. Cada ciclo é composto por apenas 12 horas de humidade relativa alta e 12 horas de humidade relativa baixa, completando assim as 24 horas por ciclo. Este ensaio enquadra-se mais facilmente para os casos reais dado que cada ciclo corresponde a um dia de variação de humidade.

No mesmo período da publicação da JIS A 1470-1 iniciou-se o projecto da Nortdest [33] Moisture Buffering of Building Material que possibilita calcular a capacidade de armazenamento de

humidade dos materiais chamada de Moisture Buffer Value (MBV). Apesar de ambos os ensaios serem similares, este último apresenta algumas diferenças, sendo uma delas o facto de que a JIS é aplicável apenas para materiais de construção enquanto o ensaio da Nordtest pode ser aplicado a materiais de construção, mas também inclui mobílias, têxteis e materiais compostos (sistemas). É possível encontrar outra diferença importante ao nível da duração dos ciclos. O ensaio da Nordtest define um período de produção de vapor de 8 horas e um período de 16 horas a humidade relativa baixa, procurando recriar a ocupação típica dos edifícios.

O intervalo de 12/12 horas não foi tido como ideal, pois segundo estudos realizados por alguns autores como Simonson [20][14] o intervalo de 8/16 horas de humidade relativa alta e baixa respectivamente aproxima-se mais da utilização efectiva de vários locais, como quartos de dormir, escritórios e museus. Durante as 8 horas os ambientes são ocupados e há geração de vapor e enquanto nas restantes não há uma produção significativa. Assim o MBV permite simular estes tipos de ambientes interiores com maior veracidade.

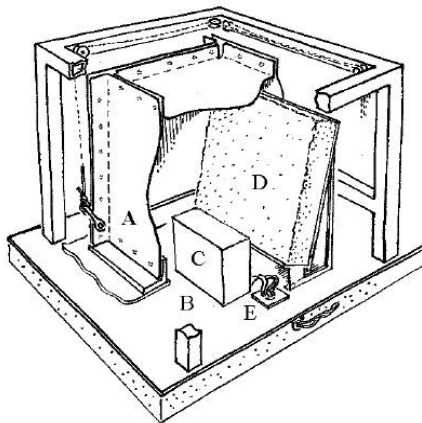
Tendo em conta este regime de produção de vapor e as simulações para ambientes nórdicos ou de características semelhantes, os valores propostos para o intervalo de humidade relativa são de 33% - 75% [16][34]. O intervalo proposto é muito reduzido comparado com a norma JIS e ISO que sugerem até três intervalos distintos de HR. Ainda em trabalhos como Ramos e Freitas [8][35] a crítica principal a este ensaio é o intervalo de HR apenas consegue representar o ambiente interior de alguns países. Para o caso português estes intervalos de humidade relativa são poucos expectados e a proposta de novos intervalos que sejam mais representativos é necessária.

Em relação à duração dos ensaios as normas JIS e ISO impõem um número limitado de ciclos que permitem uma grande diferença entre a adsorção e desadsorção, pelo que os provetes não estabilizam para esta pequena quantidade de ciclos. A metodologia definida para obter o MBV procurou ultrapassar este efeito, exigindo a presença de 3 ciclos consecutivos em que a média das diferenças de massa entre eles não seja superior a 5 %, e limitando também a 5 % a diferença entre o ganho e a perda durante os ciclos.

### 2.5.2 Ensaio de avaliação da capacidade de controlo da humidade com a introdução de materiais higroscópicos

Padfield [36][37] avaliou a capacidade de difusão de vapor de água de diversos materiais (madeira, BTC, argamassas de cal, gesso, betão celular, betão celular revestido com gesso e lã mineral) e o contributo desta para controlo dos ambientes interiores. Para esta avaliação, o autor construiu uma câmara de ensaio estanque com cerca de 0,5 m<sup>3</sup> dotada de produção de vapor de água. O ensaio permitiu avaliar o comportamento higrotérmico no interior da câmara em vazio ou com a presença de diferentes materiais. Na Figura 2.11 está representado um esquema da câmara climática e uma fotografia da câmara aberta.

a)



b)



Figura 2.11 - a) esquema da câmara de fluxo: caixa de aço inoxidável (A), base de aço inoxidável (B), equipamento de ar condicionado (C), provete de teste (D) e ligações eletrônicas (E), b) fotografia da câmara aberta [39].

Os resultados dos ensaios são basicamente directos pois é possível fazer a comparação da HR da câmara de fluxo vazia e quando são introduzidos os materiais. Na Figura 2.12 é possível verificar a influência da introdução do elemento de madeira no interior da câmara.

Concluiu-se que a introdução de materiais higroscópicos permite moderar as variações de humidade relativa, em grande escala os resultados obtidos, simulariam o interior dos edifícios. No fim da experiência verificou-se que a madeira era o melhor material a nível de velocidade de difusão e armazenamento de água.

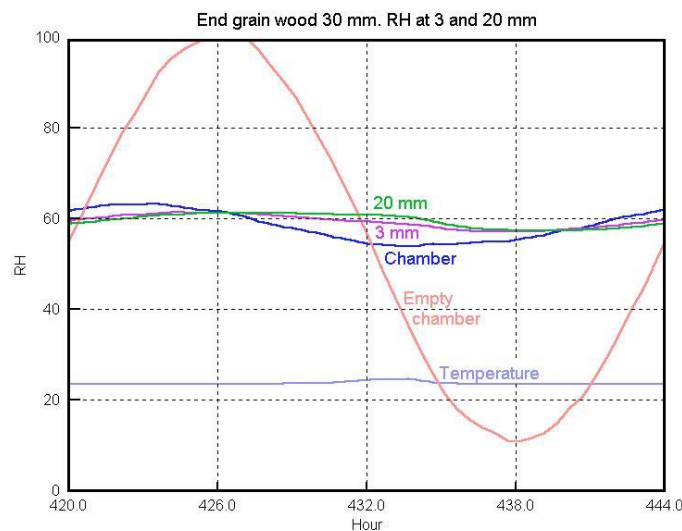


Figura 2.12 - Ciclo diário da variação sinusoidal da HR, a vermelho HR da câmara vazia, azul humidade no interior da câmara durante o ensaio, a verde HR no interior do provete de madeira e a lilás humidade no interior do material de revestimento [36]

No entanto a câmara de fluxo contruída por Padfield não assegurava a completa estanquidade pelo que os resultados foram penalizados por este efeito e ainda o controlo do fluxo de ar não foi controlado com rigidez. Mas mesmo assim o modelo de ensaio demonstrou ser bastante efectivo e que apenas necessita de alguns ajustes.

A capacidade de armazenamento de humidade é melhor estudada em [38], onde o autor propõe uma classificação chamada de “água disponível”,  $A_w$ , que é obtida pelo produto da capacidade higroscópica específica do material,  $\xi_w$ , calculado a partir das curvas de adsorção em kg/m<sup>3</sup> e a profundidade de penetração,  $d_p$ , como na expressão 2.12:

$$A_w = \xi_w \times d_p \quad 2.12$$

Para uma variação sinusoidal de humidade relativa,  $d_p$  [m] pode ser descrita pela seguinte equação:

$$d_p = \sqrt{\frac{\delta_s t_p}{\pi}} \quad 2.13$$

em que  $\delta_s$  é o coeficiente de difusão de humidade em kg/(m·s·Pa) e  $t_p$  é o tempo determinado em relação ao período do ciclo em horas. A introdução do parâmetro  $A_w$  [g/(m<sup>2</sup>·dia)] permite a escolha de materiais ideais para o controlo da humidade em termo de variações diárias ou sazonais de HR.

Em 2004 os autores Simonson e Salonvaara [39] realizaram ensaios que introduzem a aplicação de materiais porosos em ambientes interiores com variações diárias de humidade, correspondentes a casos reais como, por exemplo, quartos em que a taxa de produção de vapor de água ocorre numa única fracção do dia.

A experiência seguiu moldes práticos em que, um quarto de 28,9 m<sup>3</sup> com duas janelas e duas portas foi sujeito a variações. O ensaio teve duas variantes principais, uma em que o tecto e as paredes foram revestidos com diferentes tipos de materiais e outra em que as envolventes interiores estavam completamente cobertas com plástico de baixa permeabilidade. Verificou-se que a utilização de materiais de revestimento interior permitia regular a humidade relativa interior, constatando-se a redução dos picos de humidade relativa em até 20 – 30 % HR, e em casos de HR baixa podem ser acrescidos 10 – 15 % HR [20]. Verificou-se ainda que a difusão dos gases pela envolvente permite aumentar significativamente a taxa de renovação do ar em ambientes mal ventilados e em ambientes bem ventilados apenas pode moderar a velocidade.

Svennberg [15] contribuiu de forma mais abrangente para o estudo MBV aplicado a têxteis e mobiliários, avaliando a capacidade destes em moderar a HR dos ambientes de forma experimental e numérica. A autora introduziu ciclos de humidade relativa de 12 horas no interior de salas/câmaras climáticas, com um patamar a humidades relativas altas e outro a humidades

relativas baixas, procedendo depois à introdução de têxteis e peças de mobiliário. Conclui-se que para uma análise da capacidade de armazenamento efectiva dos ambientes interiores deve-se ter em conta todos os materiais de revestimento e mobiliários que nela estejam inseridos. Segundo os resultados demonstrados pela experiência, a humidade na sala com os mobiliários, teve uma variação de 10 % HR abaixo do valor quando vazia para o caso humedificação do ambiente, e uma variação de 5 % de HR para o estado de desumidificação

Os autores portugueses Ramos e Freitas também se dedicaram a analisar o contributo da utilização de materiais higroscópicos para a inércia higroscópica dos ambientes [40][41][42]. Foram realizados ensaios laboratoriais semelhantes ao efectuado por Padfield, no qual é construído um equipamento capaz de controlar as condições higrotérmicas, tendo sido realizado medições com a câmara vazia e quando colocado vários tipos de materiais no seu interior. Com os valores obtidos no vazio e com materiais foi possível avaliar a capacidade dos materiais em regularizar a humidade do ambiente. O resultado do ensaio conclui que a introdução dos materiais ensaiados permite uma ponderação de 5 a 18 % de humidade relativa, dependendo da taxa de ventilação.

Ainda com auxílio da análise numérica, os autores propuseram uma classificação para os materiais segundo a suas capacidades de controlo da variação de humidade, em que utilizando o parâmetro MBV é possível determinar o índice de inércia higroscópica diária,  $I_h$ .d. Esta classificação permite uma rápida avaliação da interacção dos materiais de revestimento e comportamento higrotérmico do edifício.

Na continuação de modelos numéricos para a caracterização dos materiais de revestimento, a cinética de adsorção de humidade foi estudada pelo mesmo grupo. Delgado [43] utiliza os dados dos ensaios MBV, essencialmente o ganho de massa durante a fase de adsorção e perda de massa em relação ao tempo. Esta análise da velocidade de adsorção e o tempo para atingir o equilíbrio possibilitou definir equações baseadas no método de Ho [44] e de Jäntti [45] que descrevem o processo cinético do material em relação a humidade. Estas equações como demonstrado laboratorialmente, também são obtidas através de parâmetros que definem a adsorção dos materiais. Através destes parâmetros é possível prever o comportamento dos materiais quando expostos a diferentes humidades, temperaturas e tempos de exposição.

Os resultados obtidos com as equações estudadas permitiram comprovar que o estudo da cinética de adsorção permite prever com uma boa aproximação o comportamento real dos materiais. No caso das equações de Jäntti estas são limitadas apenas para o processo de adsorção e no caso de Ho ainda se pode aplicar para o processo de desadsorção.

Um dos problemas encontrado neste estudo é que apenas foram estudados casos semelhantes aos tempos de exposição aos ensaios MBV e ISO em que para períodos mais alargados existe a falta de dados. Sendo assim a avaliação da cinética de adsorção dos materiais deveria seguir normas que propusessem a caracterização do material até serem obtidos o teor de equilíbrio para os patamares de HR.



## 3 Análise experimental

### 3.1 Materiais e preparação das amostras

No âmbito da análise experimental foram seleccionados materiais de revestimento interior que normalmente representam uma grande área nos ambientes interiores e podem ter um grande contributo para controlo da humidade relativa, sendo assim materiais de grande interesse para este estudo. A escolha dos materiais a utilizar procurou representar um vasto grupo, desde os revestimentos mais tradicionais como as argamassas, aos revestimentos mais modernos, como as placas de celulose reciclada e placas de fibras de madeira e ligante Na Tabela 3.1 é possível encontrar a lista de materiais utilizados.

Os provetes utilizados nesta campanha experimental podem ser divididas em três categorias: uma de produtos realizados em obra (Figura 3.1), produtos pré-doseados (Figura 3.2) e produtos pré-fabricados (Figura 3.3).

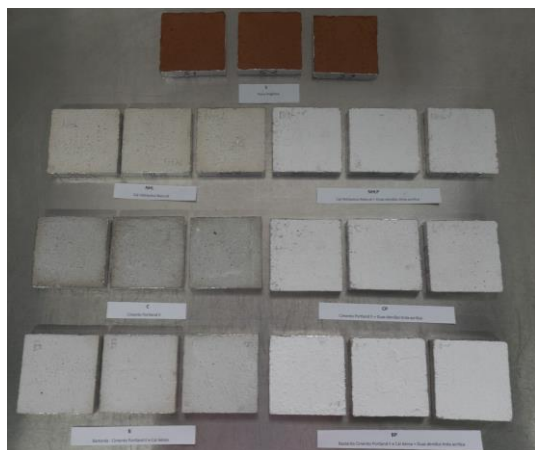


Figura 3.1 - Foto do grupo das argamassas



Figura 3.2 - Foto grupo dos revestimentos pré-doseados

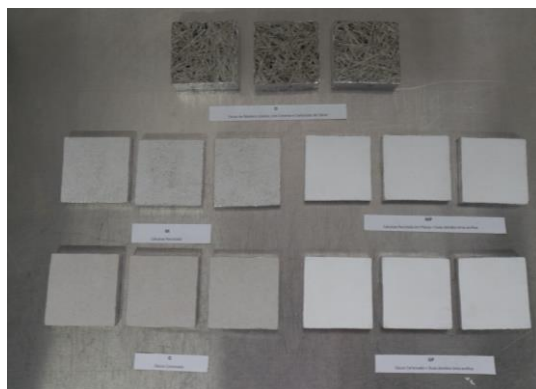


Figura 3.3 - Foto do grupo dos revestimentos pré-fabricados

No grupo dos revestimentos pré-fabricados encontram-se o gesso cartonado, placas de celulose reciclada e placas de fibras de madeira e ligante. Os revestimentos pré-doseados foram misturados em laboratório seguindo como base as respectivas fichas técnicas, enquanto as argamassas foram preparadas com traços correntes ou com base na bibliografia, como se especifica na Tabela 3.1.

Com o intuito de analisar e caracterizar os materiais a nível higrotérmico utilizaram-se moldes de dimensões distintas: (i) moldes quadrangular com secção de 100 x 100 mm; (ii) moldes prismáticos com 40 x 40 x 160 mm; os produtos pré-fabricados foram cortados com as dimensões 100 x 100 obedecendo às mínimas dimensões estipuladas pelas normas ISO 12571:2013, ISO 24353:2008 e Nordtest (MBV).

Tabela 3.1 - Designação e constituição dos materiais seleccionados

Classe	Designação	Constituição	Referência
Argamassas	B	Cimento Portland II, Cal aérea e areia C, traço volumétrico 1:1:6	ci:ca3 [46]
	C	Cimento Portland II e areia C, traço volumétrico 1:4	ci:4 [46]
	NHL	Cal hidráulica natural 3,5 e areia N, traço volumétrico 1:3	NLH [47]
	S	Terra argilosa e areia T, traço volumétrico 1:2	E1S2 [23]
Pré-doseadas	E	Estuque projectado	[48]
	N	Revestimento de celulose projectada	[49]
Pré-fabricadas	G	Placa de gesso cartonado	[50]
	M	Placa de celulose reciclada	[51]
	O	50 % de fibras longas de lã de madeira de abeto; 15 % de carbonato de cálcio; 35 % de cimento Portland de alta resistência.	[52]

Os provetes realizados em laboratório foram desmoldados ao fim de 7 dias de cura em condições de laboratório. Na Figura 3.4 é possível verificar alguns procedimentos para a preparação dos provetes de argamassa.



Figura 3.4 – Preparação das amostras

Na Tabela 3.2 são apresentados os traços volumétricos, relação da água utilizada e espalhamento obtido.

Tabela 3.2 - Composição e característica no estado fresco

Designação	Rácio volumétrico [%]				Espalhamento [mm]
	Ligante 1	Ligante 2	Areia	Água	
<b>B</b>	20	20	60	100*	168,5
<b>C</b>	20	-	80	90*	172,0
<b>NHL</b>	25	-	75	100*	150,0
<b>S</b>	33,3	-	66,7	12,5 <sup>a</sup>	172,0

\* Percentagem da massa da água adicionado em relação a massa dos ligantes

<sup>a</sup> Percentagem do volume de água em relação ao volume total do ligante e areia

Na Figura 3.5 estão representadas as curvas granulométricas para as diferentes areias.

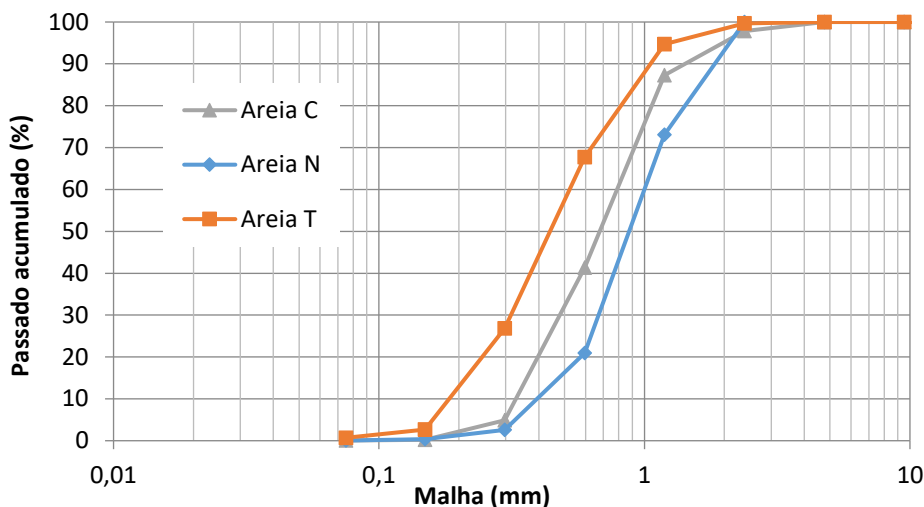


Figura 3.5 - Curvas granulométricas para as diferentes areias

Como os provetes representam soluções reais, decidiu-se avaliar a influência que a pintura ou camada de acabamento podem exercer no seu comportamento higroscópico. Na Tabela 3.3 é apresentada a lista dos provetes em que foram aplicados acabamentos de tinta [53] (Permeância ao vapor de água  $\approx 25,74 \times 10^{-16} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$  [54]) ou gesso.

Tabela 3.3 - Designação e tipos de acabamento

Designação	Acabamento
BP	Duas demãos tinta plástica
CP	Duas demãos tinta plástica
EP	Duas camadas de gesso < 2 milímetros
NHLP	Duas demãos tinta plástica
GP	Duas demãos tinta plástica
MP	Duas demãos tinta plástica

A espessura dos materiais foi definida de acordo com os valores usuais de utilização e com os valores mínimos definidos pelas normas ISO 12571:2013, ISO 24353:2008 e Nordtest (MBV). Na Tabela 3.4 estão especificadas as dimensões dos provete utilizados.

Tabela 3.4 - Dimensões adoptadas para cada material

Área (mm <sup>2</sup> )	Espessura (mm)								
	Argamassas				Pré-doseados		Pré-fabricados		
	B	C	NHL	S	E	N	G	M	O
100 x 100	15,00				15,00	13,09	12,62	29,56	

Os provetes com acabamento final apresentam as mesmas dimensões dos provetes do mesmo material sem acabamento.

Para todos os ensaios foram utilizados três provetes de cada material com e sem acabamento, perfazendo um total de 45 provetes em análise para cada ensaio, separados em 15 tipos diferentes.

## 3.2 Caracterização geral

### 3.2.1 Organização dos ensaios

Os ensaios efectuaram-se ao fim dos 90 dias de realização dos provetes de argamassa de modo a ultrapassar o fenómeno de carbonatação [46]. Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios do DEC-FCT/UNL, tendo sido feita a seguinte campanha experimental:

- Massa Volúmica e porosidade aberta, de acordo com a NP EN 193:2008 [55];
- Condutibilidade térmica, de acordo com a ficha ensaio ISOMET 2104 [56];
- Calor específico de acordo com a ficha ensaio ISOMET 2104 [56].

Foram realizados ensaios de caracterização geral que possibilitam um complemento para análise e validação dos resultados dos resultados, tal como a sua utilização para estudos futuros em laboratório ou simulação.

### 3.2.2 Massa volúmica e porosidade aberta

#### *Enquadramento*

A massa volúmica depende da percentagem de espaços vazios na amostra, e pode ser determinada pelo quociente entre a massa do material e o seu volume aparente. Estando esta propriedade relacionada com a porosidade aberta do material irá influenciar a capacidade higroscópica como já foi referido no capítulo 2.

A porosidade aberta ( $P_{ab}$ ) é outro parâmetro que permite quantificar a percentagem de poros acessíveis. A análise deste parâmetro permite evidenciar a influência na capacidade de armazenamento de vapor de água, para além de outras propriedades que são afectadas pela porosidade e morfologia dos poros, tais como a permeabilidade ao vapor, a adsorção e desadsorção, resistência, condutibilidades e outras.

Para a determinação da massa volúmica e porosidade aberta seguiu-se a norma NP EN 193:2008 [55] adaptada para os provetes estudados. Esta norma baseia-se no princípio da saturação em água sob vácuo e pesagens hidrostática.

### *Procedimento experimental*

Para o ensaio foram necessárias três amostras de cada material com o volume mínimo de 25 cm<sup>3</sup>.

Como alguns materiais corriam o risco de perderem a ligação química durante a secagem a altas temperaturas, como por exemplo gesso cartonado [57][8], foi adoptado o método de secagem por higroscopicidade com recurso a cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) que proporciona uma humidade relativa próxima 0 %. A secagem foi realizada em exsiccador, deixando-se os materiais estabilizar por 40 dias. Ao fim deste período registou-se a massa seca M1 de cada provete com uma balança de precisão de 0,001g.

Numa fase posterior colocaram-se os provetes num exsiccador com uma bomba de vácuo capaz de diminuir a pressão até 2667 Pa durante 24 horas. Este processo encontra-se exemplificado na Figura 3.6.

Para a saturação dos provetes foram utilizados dois tipos de líquidos – água e gasolina. Para os provetes de gesso cartonado (G), placas de celulose reciclada (M), revestimento de celulose projectada (N) e terra (S) recorreu-se à utilização de gasolina como líquido penetrante para evitar a dissolução dos materiais -  $\rho_{gasolina}(T=23\text{ }^{\circ}\text{C}) \approx 0,707\text{ kg/m}^3$ . Para os restantes materiais utilizou-se a água.



Figura 3.6 - Exsiccador e bomba de vácuo em utilização

Procedimento com água: ao fim das 24 horas em vácuo fez-se penetrar lentamente líquido ( $\rho_{\text{água}}(T=23\text{ }^{\circ}\text{C}) \approx 1\text{ kg/m}^3$ ) até a imersão total dos provetes. Os provetes foram mantidos em imersão durante 24 horas à pressão referida anteriormente e depois por mais 24 horas à pressão

atmosférica ( $\approx 1,01325 \times 10^5$  Pa). Após este período procedeu-se à pesagem hidrostática (M2). Em seguida, depois de remover o excesso de água, procedeu-se a nova pesagem (M3).

Procedimento com gasolina: ao fim das 24 horas em vácuo fez-se penetrar lentamente o líquido, mantendo-se provetes imersos durante 2 horas à pressão de 2667 Pa, e apenas 1 hora sob pressão atmosférica dado a volatilidade do produto. A seguir aferiu-se a massa hidrostática dos provetes (M2) e por fim removeu-se a gasolina em excesso e realizou-se a pesagem dos provetes saturados (M3).

Com as massas M1, M2 e M3, foi possível calcular a massa volúmica aparente ( $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]) utilizando a expressão 3.1.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M1}{M3 - M2} \times \rho_{rh} \times 10^3 \quad (3.1)$$

Em que  $\rho_{rh}$  [kg/m<sup>3</sup>] é a massa volúmica do líquido utilizado para a saturação do provete (água / gasolina) em função da temperatura.

A porosidade aberta ( $P_{ab}$  [%]) foi calculada através da expressão 3.2.

$$P_{ab} = \frac{v}{V} = \frac{M3 - M1}{M3 - M2} \times 100 \quad (3.2)$$

## Resultados

Na Tabela 3.5 apresentam-se os valores médios e desvio padrão para a massa volúmica e porosidade aberta aferidos ao fim de 270 dias da realização das argamassas.

Tabela 3.5 - Massa volúmica aparente e porosidade aberta

		Argamassas				Pré-doseadas		Pré-fabricadas		
		B	C	NHL	S	E	N	G	M	O
Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	média	1810	1877	1876	2027	1137	183	711	1039	879
	desv. pad.	5	25	6	52	12	14	9	34	12
Porosidade aberta [%]	média	25	20	22	12	45	83	56	55	52
	desv. pad.	0	1	0	5	1	2	2	2	1

Verificou-se que o grupo das argamassas apresenta os valores mais altos em relação a massa volúmica - de 1810 a 2027 kg/m<sup>3</sup>, sendo o maior valor obtido para argamassas a base de terra. A porosidade aberta apresenta valores opostos à massa volúmica, quanto maior o valor da massa volúmica menor foi porosidade aberta.

Os materiais pré-doseados apresentam valores mais baixos de massa volúmica, de onde se destacam os provetes de celulose projectada que apresentam uma massa volúmica de 183 kg/m<sup>3</sup>.

Para os materiais pré-fabricados os valores de massa volúmica variam de 711 kg/m<sup>3</sup> para o gesso cartonado a 1039 kg/m<sup>3</sup> para as placas de celulose reciclada e as porosidades variaram 4 % entre o placas de fibras de madeira e ligante e o gesso cartonado, que se apresentam como o menos e mais porosos, respectivamente em relação as placas de celulose reciclada.

### 3.2.3 Condutibilidade térmica e calor específico

#### *Enquadramento*

Outra característica própria dos materiais é a condutibilidade térmica ( $\lambda$  [W/m.K]), que se define como a quantidade de calor que atravessa a superfície do material por unidade de espessura e por diferença de temperatura [11].

Esta propriedade está relacionada com a estrutura porosa dos materiais e com a quantidade de água presente no seu interior, com os valores a decrescem com aumento do volume de vazios e aumentarem com aumento do teor de água [6].

O calor específico também é uma característica própria de cada material que representa a quantidade de calor necessária para elevar 1 °C a unidade de massa do material, expresso em kJ/(kg·K) ou tendo em conta a massa volúmica do material, expresso em kJ/(m<sup>3</sup>.K).

Para o caso dos materiais conterem humidade o calor especifico será afectado pelo calor específico da água ( $c_p \approx 4185 \times 10^3$  J/(m<sup>3</sup>.K)). Ou seja, o aumento do teor de humidade nos materiais aumenta a capacidade específica no material.

#### *Equipamento utilizado*

Foi utilizado o equipamento “ISOMET 2104” (Heat Transfer Analyser) para medir a condutibilidade térmica e o calor específico. O aparelho é constituído por sondas que emitem um fluxo de calor na superfície em contacto com provete e medem a resposta do material em relação ao aumento da temperatura. O aparelho utilizado encontra-se na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Equipamento para a medição da condutibilidade térmica e calor específico, ISOMET 2104

### Procedimento experimental

Os provetes utilizados neste ensaio atingiram o equilíbrio num ambiente com a temperatura de 23 °C e humidade relativa aproximada de 0 %. De seguida os provetes foram posicionados sob uma placa isolante ( $\lambda < 0.04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), utilizada para minimizar as trocas de calor pela superfície inferior. Colocou-se uma sonda na superfície lisa de cada provete e registou-se os valores obtidos pelo equipamento.

A escolha da sonda depende da consistência dos materiais e da gama de valores de condutibilidade para os diferentes valores de humidade relativa. A sonda de agulha é utilizada para materiais fibrosos e as sondas de superfície para materiais sólidos. Na Tabela 3.6 estão a especificação de cada sonda e erros cometidos pela sonda.

Tabela 3.6 - Especificações técnicas ISOMET 2104, adaptado [56]

Intervalo de medição			
Sonda	Condutibilidade [W/(m.K)]	Calor específico [J/(m <sup>3</sup> .K)]	Temperatura [°C]
Agulha API 210422	0,015 - 0,20	$4,0 \times 10^4 - 1,5 \times 10^6$	-20 - +70
Agulha API 210402	0,035 - 0,20	$4,0 \times 10^4 - 1,5 \times 10^6$	-20 - +70
Agulha API 210403	0,20 - 1,0	$1,5 \times 10^6 - 4,5 \times 10^6$	-20 - +70
Agulha API 210404	1,0 - 2,0	$1,5 \times 10^6 - 4,5 \times 10^6$	-20 - +70
Superfície API 210411	0,04 - 0,3	$4,0 \times 10^6 - 1,5 \times 10^6$	-15 - +50
Superfície API 210412	0,3 - 2,0	$1,5 \times 10^6 - 4,0 \times 10^6$	-15 - +50
Superfície API 210413	2,0 - 6,0	$1,5 \times 10^6 - 4,0 \times 10^6$	-15 - +50

Incerteza		
	Intervalos de medição [W/(m.K)]	Incerteza
<b>Condutibilidade</b>	0,015 - 0,05	5 % + 0,003 W/(m.K)
	0,05 - 0,70	5 % + 0,003 W/(m.K)
	0,70 - 6,0	10%
<b>Calor específico</b>	$4,0 \times 10^4 - 4,0 \times 10^6$	15 % + $1 \times 10^3$ J/(m <sup>3</sup> .K)
<b>Temperatura</b>	-20 °C - +70 °C	1 °C
Repetibilidade		
<b>Condutibilidade</b>	Agulha API 210422	3 % + 0,003 W/(m.K)
	Outras sondas	3 % + 0,003 W/(m.K)
<b>Calor específico</b>		3 % + $1 \times 10^3$ J/(m <sup>3</sup> .K)

## Resultados

Na Tabela 3.7 apresentam-se os resultados da média de três provetes de cada material e respectivo desvio padrão.

Tabela 3.7 - Propriedades térmicas dos materiais

		Argamassas				Pré-doseadas		Pré-fabricadas		
		B	C	NHL	S	E	N	G	M	O
Condutibilidade térmica $\lambda$ [W/m.K]	Média	1,040	1,173	0,944	0,993	0,344	0,056	0,187	0,365	0,073
	Desvio padrão	0,020	0,031	0,041	0,015	0,008	0,001	0,001	0,005	0,006
Calor específico $c_p$ [J/m <sup>3</sup> .K]10 <sup>6</sup>	Média	1,697	1,760	1,587	1,733	1,510	0,184	1,067	1,457	0,268
	Desvio padrão	0,068	0,062	0,050	0,097	0,010	0,011	0,040	0,015	0,036

Evidencia-se que estas propriedades têm relação directa com a massa volúmica e porosidade dos materiais, na medida em que os materiais que apresentaram maior índice de vazios obtiveram menores valores de condutibilidade e calor específico.

## 3.3 Caracterização higroscópica

### 3.3.1 Organização dos ensaios

Os ensaios efectuaram-se ao fim dos 90 dias de realização dos provetes de argamassa. Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios do DEC-FCT/UNL, tendo sido feita a seguinte campanha experimental:

- Curvas higroscópicas, de acordo com a ISO 12571:2013 [58];
- Ensaio MBV, de acordo com Report BYG-DTU R-126, Nortest [33];
- Ensaio Dinâmico, ensaio proposto no âmbito da dissertação;
- Ensaio ISO, de acordo com a ISO 24353:2008 [32];
- Tempo de Resposta, ensaio proposto no âmbito da dissertação.

### 3.3.2 Equipamentos para os ensaios higroscópico

Para os ensaios higroscópicos foi necessário estabelecer condições climáticas controladas. Para este efeito recorreu-se a uma câmara climática - Aralab Fitoclima 300 EDTU [2]. A câmara climática permite o controlo da temperatura entre  $-45\text{ °C}$  e os  $+180\text{ °C}$ , com uma precisão de  $\pm 0,05\text{ °C}$ , e também permite o controlo da humidade relativa entre 10 e 98 %, com precisão de  $\pm 0,2\text{ %}$ .

Com o intuito de reduzir a influência do clima exterior durante as pesagens, procedeu-se à adaptação da câmara climática às exigências dos ensaios. Para este efeito criou-se um sistema que possibilita a abertura da porta da câmara climática e a realização das pesagens sem alterar a HR e temperatura no interior da câmara. Para além da colocação da balança no interior da câmara climática, utilizou-se um painel de vidro acrílico e luvas de borrachas estanques, como se pode ver na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Câmara climática adaptada para os ensaios higroscópico

Para alguns valores de humidade relativa utilizou-se um exsiccador e soluções salinas de modo a não comprometer a balança, como se pode verificar na Figura 3.9.



Figura 3.9 - Exsicador com solução salina e provetes sob a grelha

Foi utilizada uma balança com precisão de 0.001 g - balança Adam AFP 720L [59]. O fluxo de ar na câmara não comprometeu a estabilidade da balança, pelo que não foram observados erros durante as pesagens devido à ventilação no interior da câmara.

#### *Controlo do fluxo de ar na câmara climática*

Uma das preocupações para os ensaios foi o controlo da velocidade do ar na câmara climática, uma vez que uma ventilação deficiente pode criar uma camada fina de ar estagnado junto à superfície das amostras e assim reduzir a sua capacidade de adsorção [33][32]. Como os ensaios realizados tentam aproximar-se das condições climáticas reais, a taxa de renovação de ar foi calibrada para que apresentasse valores entre  $0.5 \text{ h}^{-1}$  e  $1 \text{ h}^{-1}$ , a que correspondem velocidade do ar de 0,05 até 0,15 m/s, que são valores próximos aos encontradas em ambientes fechados, como escritórios, habitações e museus [60].

Para a calibração do fluxo na câmara foi utilizado um anemómetro - TA35 da Airflow Instruments, (Figura 3.10), que permitiu a medição da velocidade em diversas direcções e diferentes pontos. Realizando ajustes na entrada de ar na câmara climática foi possível alcançar uma velocidade média do ar na câmara de  $0,05 \pm 0,02 \text{ m/s}$  de acordo com velocidade aconselhada no ensaio MBV da Nordtest.



Figura 3.10 - Anemómetro digital

### 3.3.3 Impermeabilização dos provetes

Para alguns ensaios foi necessário assegurar um fluxo de humidade unidireccional, isolando-se assim as faces dos provetes e mantendo apenas uma das faces de maior área em contacto com o ambiente. Da vasta gama dos materiais impermeabilizantes disponíveis foram seleccionados cera de abelha, parafina, pez de louro, fita alumínio e combinações entre estes.

Para avaliar os impermeabilizantes foram tidas em conta características como, a permeabilidade ao vapor, a trabalhabilidade, a adesão ao suporte e resistência ao calor. Recorrendo a estudos nesta área [15], indicações das normas de ensaio [33][61] e ensaios efectuados no laboratório DEC-FCT/UNL (Figura 3.11) que a fita adesiva de alumínio apresenta os melhores resultados.

a)



b)



Figura 3.11 – Análise da qualidade de várias técnicas de impermeabilização: a) ensaio resistência ao calor a temperatura de 60 °C, b) verificação da resistência ao calor a temperatura de 40 °C

A fita de alumínio utilizada apresenta uma espessura total de 0,12 mm, 50 mm de largura e é constituída por uma folha de alumínio de 0,11 mm e adesivo à base de acrílico com 0,01 mm.

Na Figura 3.12 é possível visualizar o procedimento de impermeabilização com a fita de alumínio, os cantos foram reforçados de maneira a melhorar impermeabilização.

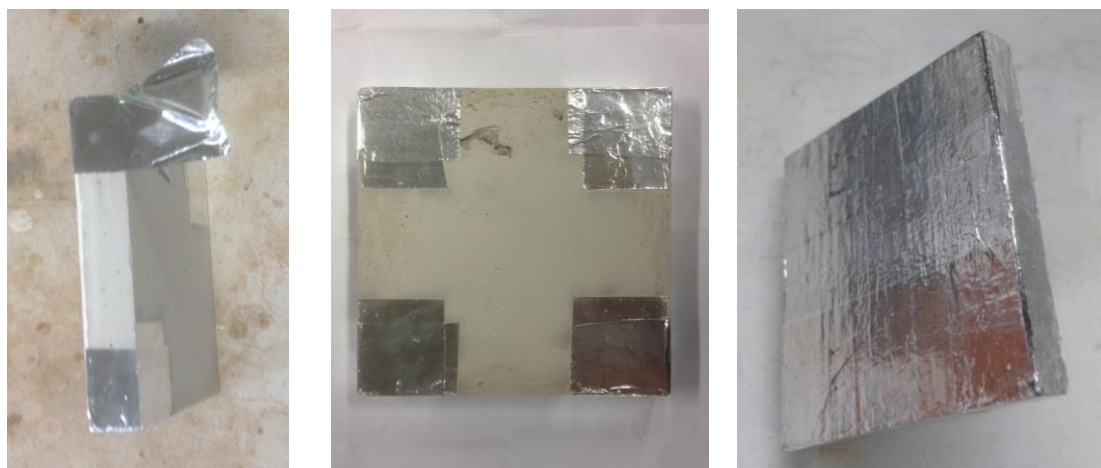


Figura 3.12 - Impermeabilização dos provetes com fita alumínio

### 3.3.4 Curvas higroscópicas

#### *Enquadramento*

A determinação de curvas higroscópicas permite conhecer o comportamento higrométrico dos materiais face às variações de humidade relativa, obtendo-se o teor de água de equilíbrio para cada valor de humidade relativa. O ensaio definido pela norma ISO 12571 [58] é indicado para materiais de construção e possui dois métodos para realização do ensaio: (i) através da utilização de exsiccador e soluções salinas; ou (ii) através da utilização da câmara climática. Ambos os métodos ocorrem em condições isotérmicas e baseiam-se no método gravimétrico, que através de pesagens permite avaliar quantidade de água presente no material para um determinado nível de humidade relativa.

A determinação das curvas de adsorção e desadsorção higroscópica de um material, passa por criar diferentes HR e determinar o teor de humidade de equilíbrio. Na curva de adsorção higroscópica, as humidades relativas crescem progressivamente, enquanto na curva de desadsorção higroscópica as humidades relativas decrescem sucessivamente.

Optou-se por utilizar ambos os métodos para diferentes níveis de humidade relativa. Para as humidades relativas de 33 % e 93 % recorreu-se a utilização do método do exsiccador com soluções salinas (para evitar perturbações no funcionamento da balança, conforme referido anteriormente) e para valores de HR de 53 %, 75 % e 85 % utilizou-se a câmara climática.

### *Procedimento de ensaio*

Primeiramente os provetes foram secos utilizando um exsiccador e Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), que apresenta uma humidade relativa próxima de zero (<0,5 %). Os provetes foram mantidos neste ambiente seco por 40 dias, sendo este superior ao período recomendado por Wilkes [57], para se atingir a massa seca. A secagem a partir deste método permite que seja retirada apenas a água livre do material, garantindo que água de ligação química da estrutura do material não é afectada.

Após a secagem, os provetes foram postos em exsiccador com a solução salina de cloreto de magnésio hexahidratado ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) que apresenta uma humidade relativa de 33 %. Os provetes foram mantidos nesta HR a temperatura de 23 °C por 10 dias e determinou-se a massa para este patamar.

Posteriormente na câmara climática os provetes foram submetidos a diferentes níveis crescentes de humidade relativa e obteve-se a massa de equilíbrio quando os provetes atingiam o equilíbrio para cada patamar de HR. Após aferir a massa no patamar de 85 % de HR os provetes foram transferidos para exsiccadores com a solução salina de nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) que apresenta uma humidade relativa de 93 % a temperatura de 23 °C. Os provetes foram mantidos neste ambiente até se verificar a estabilidade - aproximadamente após 10 dias.

Foi considerado que se atingiu a estabilidade quando ao fim de três pesagens consecutivas espaçadas no mínimo por 24 horas a variação de massa é inferior 0.1 % da massa do provete.

Para as curvas de desadsorção os provetes partiram da humidade relativa de 93 %, que corresponde ao último patamar da adsorção, decrescendo a humidade relativa em patamares correspondendo ao processo inverso de adsorção até uma HR de 33 %.

O teor de humidade para cada ambiência calculou-se partir da equação 2.9 presente no capítulo 2.

### 3.3.5 Determinação do *Moisture Buffer Value* – MBV

#### *Enquadramento*

O conceito *Moisture Buffer Value* – MBV - foi desenvolvido por grupo de investigadores envolvidos no projecto Nordtest, tendo como objectivo desenvolver uma propriedade que permitisse definir experimentalmente a capacidade de armazenamento de humidade de materiais de construção e outros materiais presentes em ambientes interiores.

Este ensaio é aplicável a materiais homogéneos ou elementos compostos que geralmente estão em contacto com ar interior, sejam eles materiais de construção, mobiliários ou têxteis. Sempre que forem utilizados materiais compostos a propriedade do MBV aferida será para o conjunto de materiais, estando ligada ao sistema e não às várias camadas de materiais.

O ciclo diário prevê uma alternância de humidade relativa em dois patamares: (i) patamar de humidade relativa alta com uma duração de 8 horas; e (ii) patamar de humidade relativa baixa com uma duração de 16 horas.

Ao fim das 8 horas de humidade relativa alta é obtida a massa de adsorção para o material e ao fim das 16 de humidade relativa baixa é obtida a massa de desadsorção, realizando-se uma média entre o ganho e perda de massa para obter a variação de massa média diária.

Os ciclos prolongam-se até que se verifiquem condições de estabilidade entre os últimos três ciclos. A condição de estabilidade passa por obter variações de massa entre ciclos inferior 5 % da variação diária e também por garantir uma variação máxima de 5 % entre o ganho e perda diários.

A capacidade do material de retirar e devolver a humidade em excesso ou em falta durante um ciclo diário, por unidade de área exposta e por variação de humidade relativa, pode ser expresso através deste ensaio, designando-se como MBV e apresentado em g/(m<sup>2</sup>·HR%).

O *MBVprático* foi calculado a partir da média entre a variação de massa da adsorção e desadsorção para o último ciclo estável, sendo expresso pela seguinte equação:

$$MBVprático = \frac{\Delta m}{m^2 \cdot \Delta HR} \quad (3.3)$$

em que  $\Delta m$  é a média entre a adsorção ( $m_{8 \text{ horas}} - m_0$ ) e a desadsorção ( $m_{24 \text{ horas}} - m_{8 \text{ horas}}$ ) para o ciclo estável, dado em gramas.

Para um ambiente interior existe uma serie de factores que influenciam a humidade, sendo a performance do espaço controlada através de vários factores, nomeadamente a capacidade de armazenamento de humidade dos materiais, mobiliários e elementos de decoração, para além da produção de vapor e taxa de ventilação que controlam a higrometria do edifício.

Apesar de ser uma característica definida laboratorialmente o MBV também pode ser aproximado teoricamente através de propriedades básicas dos materiais (massa volúmica, permeabilidade ao vapor e curvas higroscópicas) definindo-se assim o MVB ideal.

A efusividade térmica,  $b$ , pode ser calculada através da equação seguinte [62]:

$$b = \sqrt{\rho_s \cdot c_p \cdot \lambda} \quad (3.4)$$

em que  $\rho_s$  é massa volúmica em kg/m<sup>3</sup>,  $c_p$  é o calor específico em J/(kg·K) e  $\lambda$  é condutibilidade térmica em W/(m·K).

Utilizando a expressão da efusividade térmica é possível correlacionar este parâmetro com a da efusividade higríca,  $b_m$ . A efusividade higríca é a característica que permite expressar a taxa de

adsorção de vapor de materiais submetidos a uma variação da humidade superficial, num cenário ideal, podendo ser definida como descrito na equação 3.5. Esta característica depende do tipo de ciclo a que o material é exposto.

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta_s \cdot \rho_s \cdot \xi_u}{P_{sat}}} \quad (3.5)$$

em que  $\delta_s$  é a permeabilidade ao vapor em kg/(m.s.Pa),  $\xi_u$  é a capacidade higroscópica específica calculada a partir das curvas de adsorção dado em kg/kg e  $P_{sat}$  é a pressão de vapor de saturação em Pa.

Utilizando a análise de Fourier é possível prever o fluxo de humidade em função do tempo -  $g(t)$ , e a respectiva quantidade de vapor acumulada,  $G(t)$ .

$$G(t) = \int_0^t g(t)dt = b_m \cdot \Delta p \cdot h(\alpha) \cdot \sqrt{\frac{t_p}{\pi}} \quad (3.6)$$

Onde:

$$h(\alpha) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi\alpha)}{n^{3/2}} \approx 2.252[\alpha(1-\alpha)]^{0.535} \quad (3.7)$$

em que  $G(t)$  é a quantidade de vapor acumulada [kg/m<sup>2</sup>],  $\Delta p$  é variação de pressão em Pa,  $t_p$  é o tempo de adsorção [horas] e  $\alpha$  representa a fracção do período diário em que o nível de humidade é elevado.

Para o caso em estudo  $\alpha=1/3$ , obtendo-se assim  $h(\alpha)=1.007$  e a quantidade de vapor acumulada é expressa da forma simplificada:

$$G(t) = 0.568 \cdot b_m \cdot \Delta p \cdot \sqrt{t_p} \quad (3.8)$$

Por fim, o *MBVideal* pode ser aproximado à seguinte expressão:

$$MBVideal \approx \frac{G(t)}{\Delta HR} = \frac{\Delta m}{\Delta HR \cdot A} = 0.00568 \cdot P_{sat} \cdot b_m \cdot \sqrt{t_p} \quad (3.9)$$

Dado que as condições ideais raramente são alcançadas, a expressão 3.9 é apenas uma aproximação. Existem certas limitações entre o cálculo do *MBVprático* e o *MBVideal*, uma delas recai sobre a homogeneidade do material, caso este seja constituído por vários materiais ou camadas ou ainda o caso em que o material não apresente uma espessura que garanta a

profundidade de penetração associada ao ciclo. Para estas situações a aproximação do modelo teórico deixa de ser válida. Neste trabalho não se realizou o cálculo do MBV teórico dado que não foi aferido a permeabilidade ao vapor de água dos materiais estudados.

Além do intervalo proposto pelo protocolo do MBV da Nordtest foram estabelecidos outros dois intervalos de humidade relativa com igual duração (8/16 horas), descritos na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Variantes do ensaio MBV

Ensaio	T [°C]	Período [h]	Pré-condicionamento [%]	HRmáx [%]	HRmín [%]
MBV 1	23	8/16	50	75	33
MBV 2	23	8/16	75	75	50
MBV 3	23	8/16	75	75 <td 60	

Os equipamentos utilizados encontram-se descritos no ponto 3.3. Com o intuito de aumentar a robustez dos resultados decidiu-se monitorizar o ambiente no interior da câmara climática com um sensor de temperatura e humidade relativa previamente calibrado. Verificou-se, tal como esperado, que as transições entre patamares não ocorrem de forma instantânea, não ultrapassando, contudo, o limite máximo de 30 minutos definido pelo protocolo. Para o cálculo do MBV utilizaram-se os valores médios por patamar medidos pelo sensor. Na Figura 3.13 apresenta-se a comparação entre o ciclo teórico e os valores medidos.

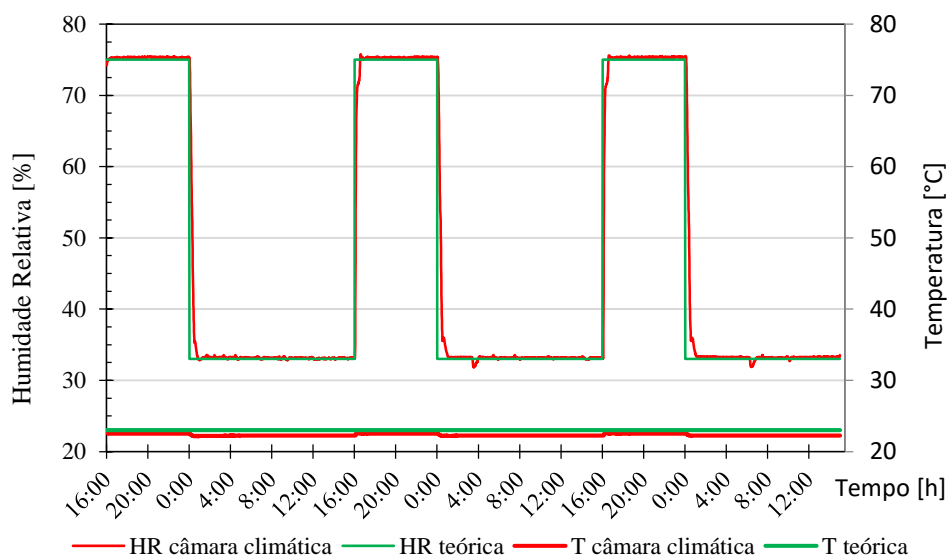


Figura 3.13 - Comparação temperatura e humidade relativa, ciclo teórico vs. ciclo real

### *Procedimento de ensaio*

Inicialmente procedeu-se ao pré-condicionamento dos provetes a 50 % de HR até registarem variações de massa inferiores a 0.1 % em pesagens espaçadas por 24 horas. Com auxílio de uma balança com precisão de 0,001 g os provetes foram posicionados um a um e registou-se a sua massa. No final do processo de estabilização, os provetes foram expostos a variações de humidade relativa, procedendo-se à sua pesagem a cada 1:30 h nas primeiras 6 horas do ciclo de adsorção e com frequência horária até completar o ciclo. Para o ciclo de desadsorção realizaram-se pesagens apenas nos instantes inicial (t=8 h) e final (t=24 h).

O ensaio prosseguiu até se verificar o cumprimento dos critérios de estabilidade, como referido atrás.

### 3.3.6 Determinação da capacidade de adsorção/desadsorção dos materiais segundo a ISO 24353

#### *Enquadramento*

A avaliação da capacidade de armazenamento de humidade nos materiais não é algo simples de efectuar. Para além da caracterização dos materiais através do ensaio MBV existem outros ensaios geralmente utilizados como a norma JIS 1470-1 ou a ISO 24353. Tal como referido no capítulo 2 estas normas apresentam apenas pequenas variações, sendo uma delas o tempo considerado para adsorção e desadsorção do material. O ciclo total deste ensaio (24 horas) corresponde ao ensaio MBV, mas o período de adsorção é alargado para 12 horas e as restantes 12 horas correspondem à desadsorção.

Esta norma tem algumas variantes: o ensaio pode ser realizado com recurso a um ciclo único correspondente a 24 horas, ou ensaio cíclico contendo 4 ciclos que correspondem a um total de 96 horas de ensaio. Outra variante do ensaio são os níveis de HR, correspondentes a ambientes com humidade relativa baixa (33 % – 55 %), média (53 % – 75 %) ou alta (75 % – 93 %), sempre em condições isotérmicas (23 °C).

Os ensaios permitem a caracterização dos materiais de construção a partir do cálculo de quatro factores independentes do tipo de procedimento de ensaio:

— Teor de adsorção,  $\rho_{A,a}$ , dado pela expressão 3.10:

$$\rho_{A,a} = \frac{m_a - m_0}{A} \quad 3.10$$

— Teor de desadsorção,  $\rho_{A,d}$ , dado pela expressão 3.11:

$$\rho_{A,d} = \frac{m_a - m_d}{A} \quad 3.11$$

— Teor de diferença,  $\rho_{A,s}$ , dado pela expressão 3.12:

$$\rho_{A,s} = \rho_{A,s} - \rho_{A,d} \quad 3.12$$

— Taxa de adsorção – desadsorção:

$$G_n = \frac{m_n - m_{n-1}}{\Delta t} \quad 3.13$$

em que  $m_a$  é massa do provete no fim da adsorção,  $m_d$  é a massa do provete no fim da desadsorção,  $m_o$  é a massa inicial do provete pré-condicionado,  $m_n$  é a massa no tempo  $n$  e  $m_{n-1}$  é a massa no ponto  $n-1$  de tempo, sendo as massas expressas em gramas.

### *Procedimento de ensaio*

Optou-se pelo nível de HR médio correspondente a variações de 50 % - 75 %, sendo este o intervalo com maior interesse para o estudo, possibilitando a sua comparação com o intervalo 2 do ensaio do MBV. Realizaram-se os dois procedimentos de ensaio com o mesmo intervalo de HR. Apesar de ambos os ensaios serem muito semelhantes o seu pré-condicionamento é ligeiramente diferente. Para o ensaio de ciclo único os provetes são pré-condicionados a temperatura constante de 23 °C e HR de 50% até atingirem a estabilidade, enquanto para o ensaio cíclico os provetes são pré-condicionados a igual temperatura, mas com HR de 63 %. Considera-se que os provetes atingem a estabilidade quando se verificam variações de massa inferiores a 0,01 g em pesagens realizadas com um intervalo de 24 horas.

Com auxílio da câmara climática adaptada foi possível criar condições controladas de adsorção e desadsorção dos materiais. Recorrendo a pesagens regulares foi possível obter a variação de massa durante o ensaio. O intervalo de pesagens foi de 1:30 h para o troço de adsorção, enquanto para o troço de desadsorção efectuaram-se pesagens apenas no início e no final.

Não se seguiu a metodologia definida pela norma para a calibração da velocidade do ar na câmara climática, tendo-se adoptado a velocidade  $0,05 \pm 0,02$  m/s, tal como definido no protocolo do Nordtest [33].

### 3.3.7 Ensaio dinâmico

#### *Enquadramento*

Ensaio com a variação dinâmica da humidade entre apenas dois intervalos estáveis com HR altas e baixas, como o ensaio MBV, realizam apenas uma aproximação simplificada da variação da real humidade relativa em climas temperados e avaliar apenas a resposta dos materiais a ciclos

curtos. Na Figura 3.14 é possível verificar os dados da temperatura e humidade relativa, interior e exterior para diferentes estações climáticas obtidos na Igreja de São Cristóvão em Lisboa, Portugal. Como se pode verificar a HR e a temperatura tendem a variar constantemente durante o dia e durante as estações do ano. Este comportamento oscilatório da humidade e temperatura é expectável em quase todos ambientes interiores, em que não só a temperatura varia, mas as diferentes actividades e fluxo de pessoas alteram constantemente a HR do espaço.

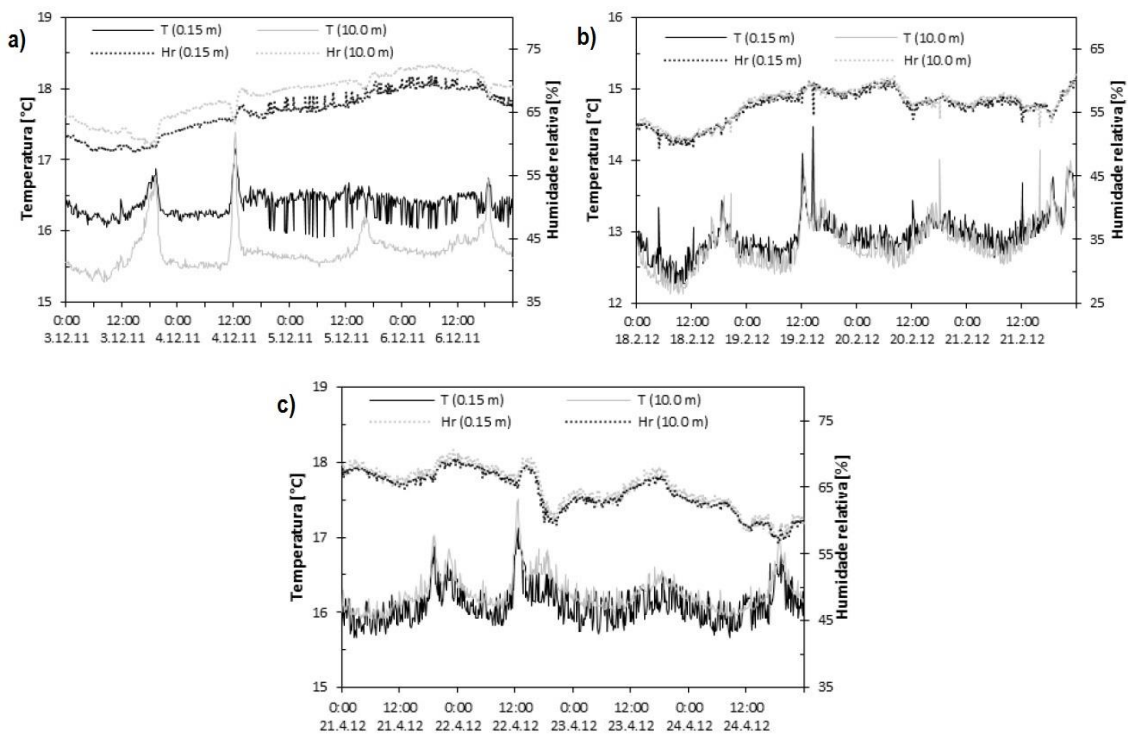


Figura 3.14 - Perfil vertical da temperatura e humidade relativa, a) Outono 2011, b) Inverno 2012, c) Primavera 2012 [65]

Como se verificou no capítulo 2 os estudos efectuados comprovaram a capacidade de armazenamento de humidade dos revestimentos higroscópicos é útil para o controlo da HR em ciclos diários. Contudo para ciclos com durações superiores ainda existe uma lacuna evidente na bibliografia

Este ensaio permite verificar o comportamento dos materiais quando são expostos a ciclos de maiores durações com a determinação da capacidade de armazenamento dos revestimentos ensaiados. É também possível fazer uma comparação com os ensaios transitórios de HR e ensaio dinâmico de HR, que permite avaliar o comportamento dos revestimentos quando expostos a variações inconstantes de humidade relativa.

A avaliação foi feita através dos factores definidos norma ISO 24353 sendo calculados o teor de adsorção, teor de desadsorção e teor de diferença pelas expressões 3.10, 3.11 e 3.12 respectivamente.

### *Procedimento de ensaio*

Os provetes foram expostos a variações de humidade relativa altas e baixas perfazendo uma transição de HR média compreendida entre 50 % e 70 %. As humidades relativas oscilaram a cada 3 horas, sendo possível através de pesagens avaliar a resposta do material a cada novo patamar de HR.

O ensaio teve uma duração de 4 dias, em que nos dois primeiros a câmara climática atingiu a HR média de 70 % e nos restantes dias foi atingida a HR média inicial de 50%. O ensaio iniciou-se com o pré condicionamento dos provetes a HR de 50 %. Até atingirem massa constante.

A Figura 3.15 mostra o gráfico das HR pretendida no interior da câmara e HR média do ensaio.

As pesagens foram efectuadas em intervalos de 3, 3, 2 e 16 horas diariamente. A câmara climática foi programada para realizar as transições HR automaticamente.

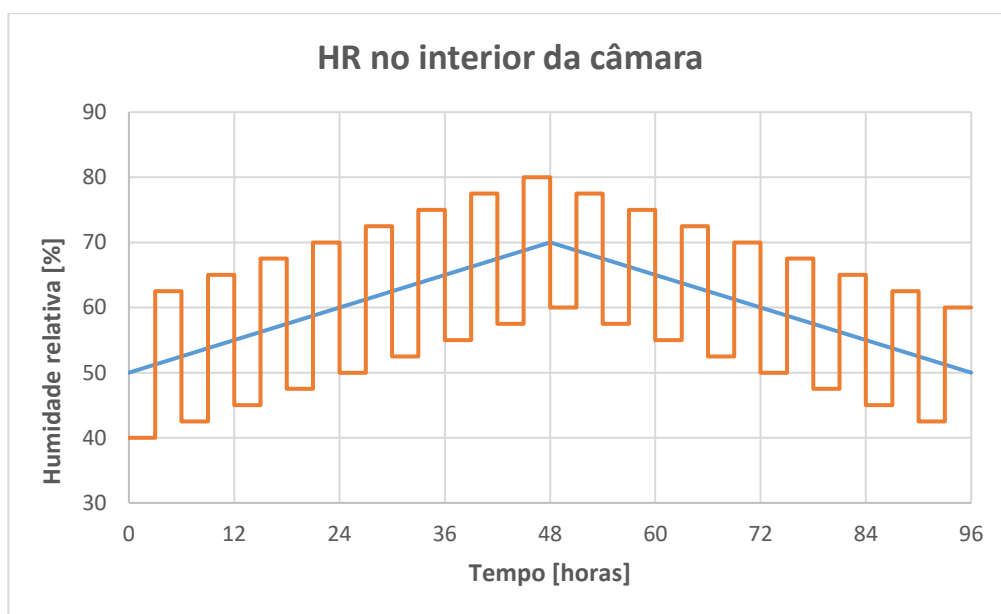


Figura 3.15 - Gráfico da variação da HR no interior da câmara a laranja e HR média do ensaio a azul

### 3.3.8 Tempo de resposta

#### *Enquadramento*

O tempo que o material demora para atingir o equilíbrio com determinado valor de humidade relativa ou simplesmente a resposta do material para períodos curto (inferiores aos ensaios já citados) ou muito longos (que podem ultrapassar dias) é difícil ser de estimado com ensaio cíclico.

Esta característica de rápida resposta a transições de HR é um factor a ter em conta, pois a escolha do revestimento para determinado ambiente não deve depender apenas da quantidade do resultado do MBV, que pode nem compreender os intervalos reais, mas também do tempo que o material depende para responder às variações, verificando-se assim a sua capacidade para responder a ciclos curtos e longos. Para o caso da variação sazonal da HR por vezes a escolha de materiais com resposta lenta podem ser uma mais valia. Um exemplo é o caso da mudança da estação, no Inverno o interior das habitações pode se verificar humidades relativa baixa e no Verão a humidade relativa pode ser alta, para estes casos seria melhor um material que liberasse o vapor de água no Inverno e adsorvesse apenas no Verão, ou seja uma resposta lenta.

O tempo de resposta complementa esta ideia. Um material com uma resposta muito rápida é bom para ciclos diários. Um material com uma resposta mais lenta pode-se adequar a ciclos mais longos.

#### *Procedimento de ensaio*

O ensaio baseia-se no pré-condicionamento do material a determinada HR, procedendo-se depois à sua variação instantânea, mantendo-se o mesmo nível até que o material apresente uma variação de massa negligenciável. Para isto os provetes foram expostos a patamares de humidade relativa e temperatura constante. O intuito não foi apenas obter o teor de equilíbrio para a determinadas HR, mas também incorporar o factor tempo, acompanhando-se o comportamento higroscópico dos materiais até se atingir o equilíbrio. Para tal foram efectuadas pesagens durante o período de adsorção e desadsorção do material para cada patamar de HR, obtendo-se a variação do teor de humidade em função do tempo.

Os intervalos de humidade relativa estudados correspondem aos intervalos propostos para o ensaio MBV sendo apenas diferenciado o pré-condicionamento das amostras. Para o caso da adsorção os materiais foram pré-condicionados com a menor humidade relativa do ensaio, e o oposto acontecia no caso da desadsorção. Na Tabela 3.9 é possível verificar os ensaios propostos e pré-condicionamento para cada patamar de humidade relativa. quer em adsorção, quer em desadsorção. O critério de estabilidade é atingido quando se verificam variações de massa inferiores a 0,01% da massa do provete, aproximadamente 96 horas para todos os materiais

Tabela 3.9 - Variantes do ensaio tempo de resposta e condições de ensaio

<b>Ensaio</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Pré-condicionamento (%)</b>	<b>HR (%)</b>
33 - 75	23	33	75
		75	33
50 - 75	23	50	75
		75	50
60 - 75	23	60	75
		75	60

Após o pré-condicionamento os provetes foram expostos ao novo valor de humidade relativa. Durante o ensaio registou-se a massa dos provetes com intervalos de 1 hora até se completarem 10 horas de ensaio e até se atingir o equilíbrio foram realizadas pesagens diárias espaçadas de 24 horas. Para cada pesagem é possível calcular a teor de humidade e efectuar a representação gráfica da sua evolução em função do tempo.

## 4 Análise dos resultados da caracterização higroscópica

### 4.1 Curvas higroscópicas

As curvas higroscópicas obtidas para todos os sistemas ensaiados são apresentadas de seguida; os valores que deram origem aos gráficos estão disponíveis no anexo A.

Numa análise geral todos os materiais apresentaram histerese entre a curva de adsorção e desadsorção (Figura 4.2 e Figura 4.3), mas para muitos casos o afastamento das curvas são muito reduzidos como foi o caso dos provetes de terra (S), e reboco de celulose projectado (N) (Figura 4.1). Se tivermos em conta a hipótese de a histerese acontecer pelo facto de existirem poros tinteiro pode-se afirmar que os materiais com menor histerese consequentemente terão menores quantidades de poros desse tipo.

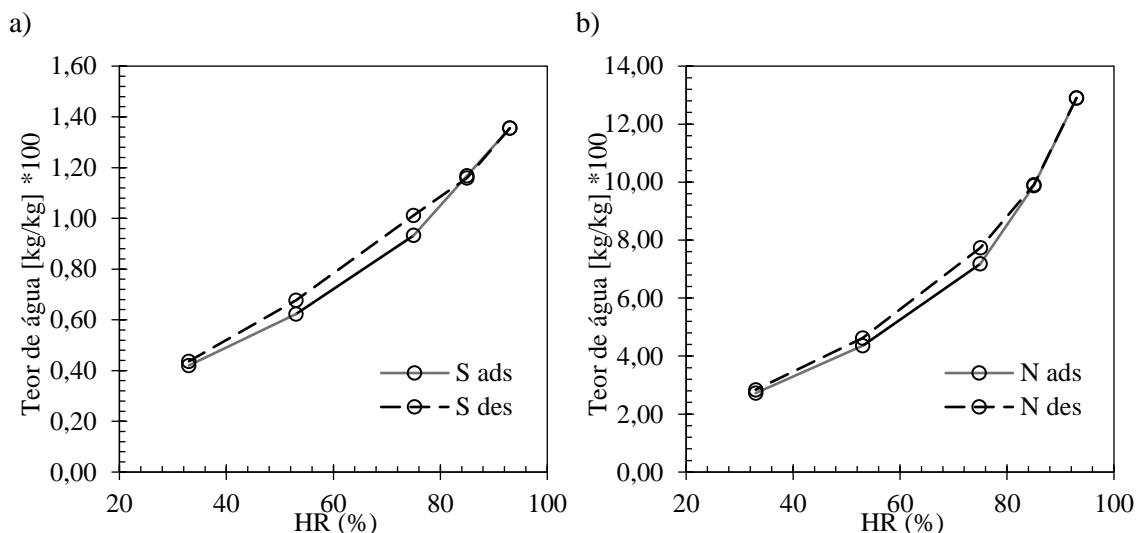


Figura 4.1 - Curva higroscópicas: a) argamassa de terra (S), b) celulose projectada (N)

Para todos os materiais nota-se um crescente aumento do teor de humidade para os patamares de HR superiores aos 75 % o que significa que a condensação capilar se torna predominante a partir deste nível de HR.

Alguns acontecimentos anómalos verificaram-se para os provetes de gesso cartonado (G) (Figura 4.2), as curvas higroscópicas apresentam teores de água superiores aos respectivos materiais sem acabamento. Uma das explicações para este efeito pode estar relacionada com o facto da secagem destes materiais ter ocorrido por higroscopicidade com recurso a cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) e os 40 dias neste ambiente não ser o suficiente para a perda completa de humidade. Outra hipótese é de o acabamento com tinta diminuir a secção dos poros e aumentar assim a adsorção dos materiais. Estas hipóteses deverão dar origem a estudos futuros para a melhor compreensão dos fenómenos.

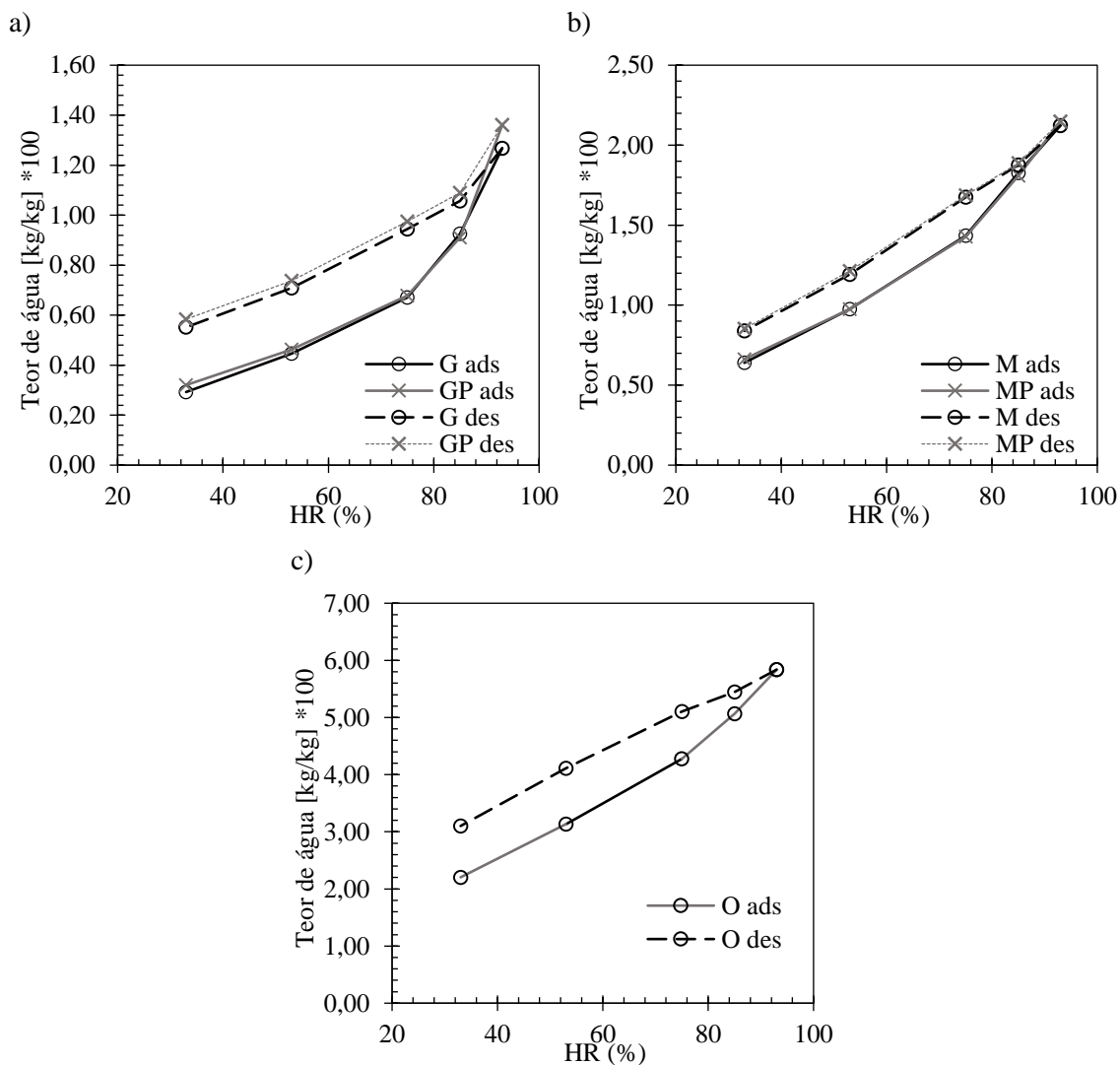


Figura 4.2 - Curva higroscópicas: a) gesso cartonado (G) e com acabamento (GP), b) placa de celulose (M) e com acabamento (MP), c) placa fibras de madeira e ligante (O)

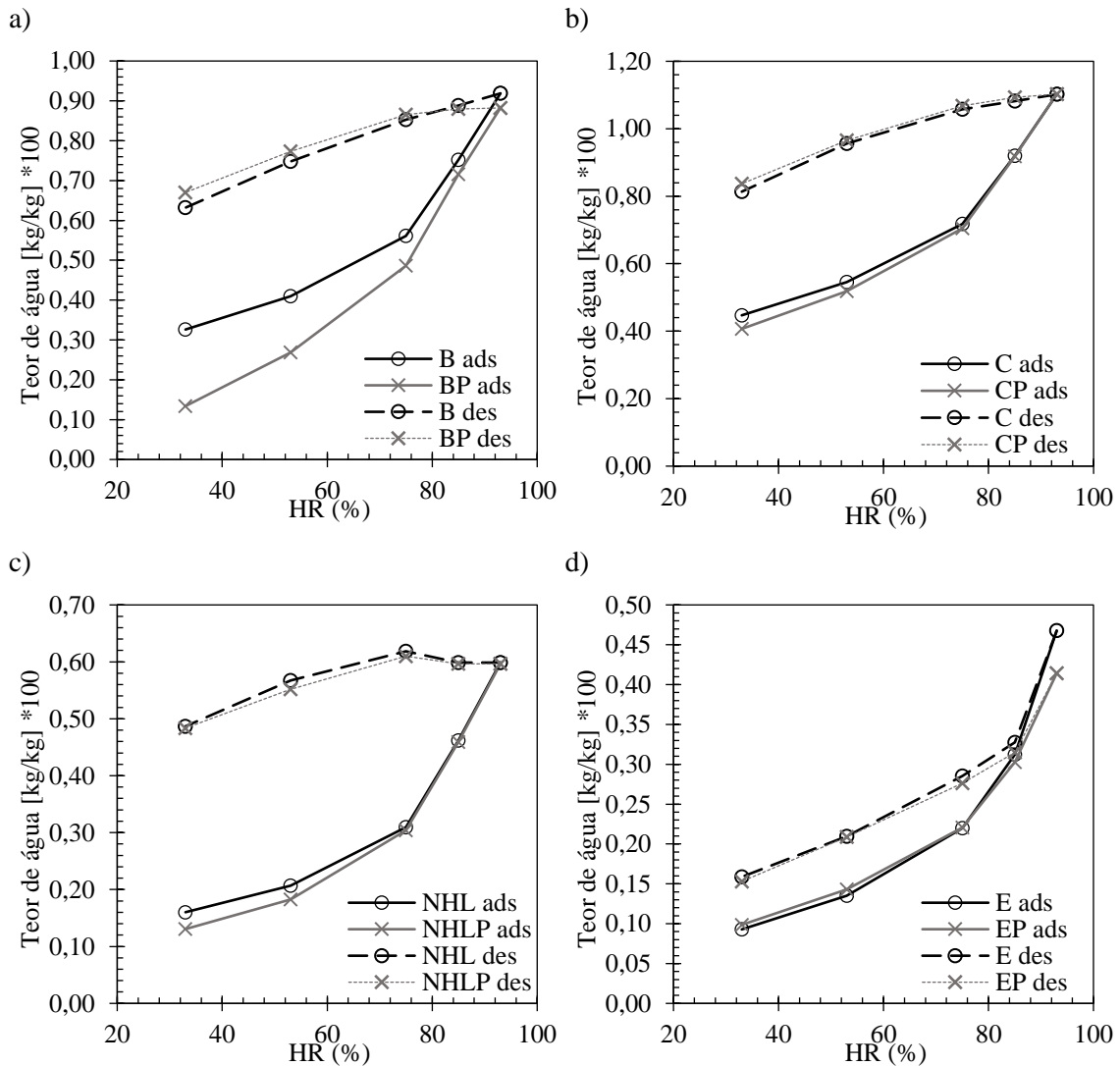


Figura 4.3 - Curva higroscópicas: a) argamassa bastarda sem acabamento (B) e com acabamento (BP), b) argamassa cimentícia sem acabamento (C) e com acabamento (CP), c) argamassa de cal hidráulica natural sem acabamento (NHL) e com acabamento (NHLP), d) estuque sem acabamento (E) e com acabamento (EP)

Numa comparação da adsorção de todos materiais é possível verificar que os materiais com maior adsorção foram as argamassas de terra (S), placas de fibra de madeira e ligante (O) e celulose projectada (N) (Figura 4.5). Os que apresentam menores adsorção foram as argamassas de cal hidráulica natural (NHL) e estuque projectado (E) (Figura 4.4).

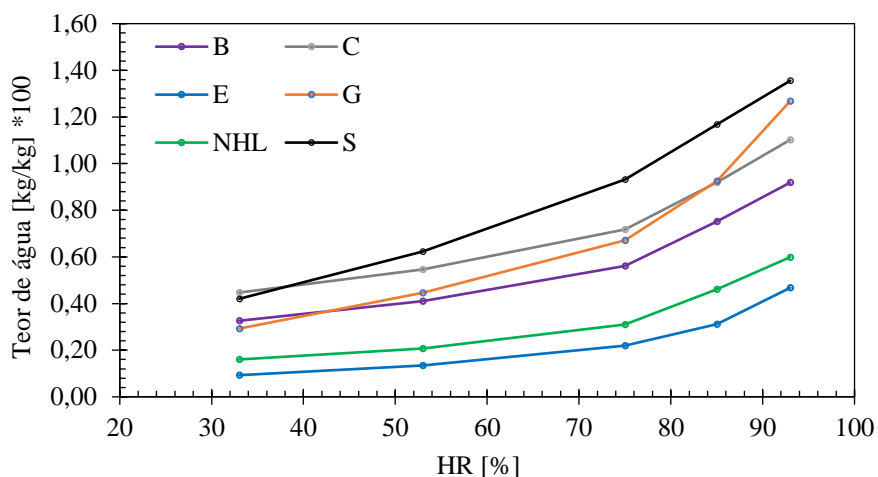


Figura 4.4 - Curva de adsorção da argamassa bastarda (B), argamassa de cimento (C), argamassa de cal hidráulica natural (NHL), argamassa de terra (S), estuque projectado (E) e placas de gesso cartonado (G)

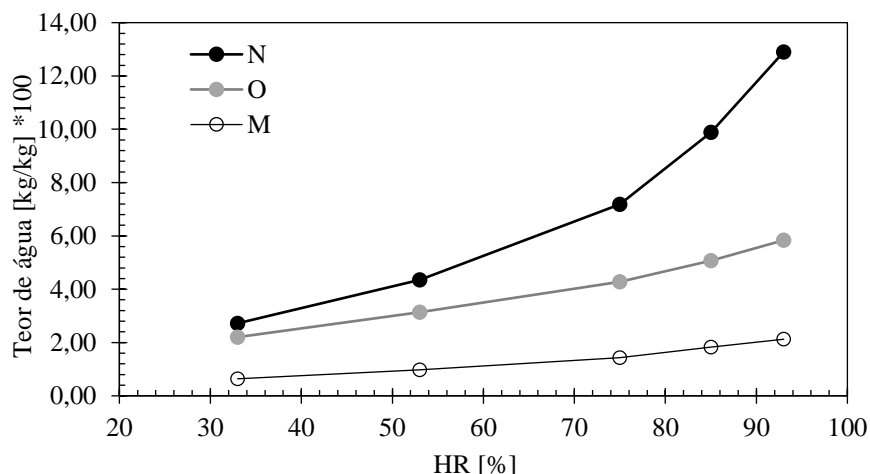


Figura 4.5 - Curva higroscópicas do revestimento de celulose projectada (N), placas de fibras de madeira e ligante (O) e placas de celulose reciclada (M)

## 4.2 Ensaio MBV

### 4.2.1 Resultados ensaio MBV 33 % - 75 %

Aqui apresentam-se os resultados provenientes da primeira variante do ensaio MBV, correspondentes ao ciclo 33 % - 75 % de HR.

Para o grupo das argamassas, (Figura 4.6), os resultados do ensaio MBV 33 % - 75 % apresentam grande uniformidade, obtendo-se um MBV médio de 0,65 g/(m<sup>2</sup>·%HR) para o caso da argamassa

de cal hidráulica natural (NHL),  $0,83 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$  para argamassa bastarda (B) e  $0,87 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$  para argamassa cimentícia (C).

Verifica-se que as argamassas ao fim das 8 horas de adsorção ainda não esgotaram a sua capacidade de armazenamento de humidade, é possível identificar pelo declive constante desde a segunda pesagem. No caso do material NHL o declive não é tão acentuado quanto as restantes argamassas mas também não se verifica uma tendência de patamar.

A argamassa à base de terra evidencia uma melhor resposta higrótérmica em relação às argamassas comuns com um valor médio de  $1,83 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$ . Estes valores correspondem ao expectável devido à alta higroscopicidade do material, em que segundo a norma utilizada para argamassas de terra, DIN 18947 [63], é expectável um armazenamento de humidade  $\geq 60 \text{ g}/\text{m}^2$  para 12 horas de adsorção num ambiente com HR de 80% e temperatura de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . No presente caso foi obtido um valor de aproximadamente de  $77 \text{ g}/\text{m}^2$  com uma HR de 75% e igual temperatura mas para apenas 8 horas de adsorção. Segundo outros estudos que incidiram na análise do comportamento higroscópico de argamassas à base de terra, conclui-se que quanto maior for a quantidade de terra utilizada em relação à areia melhores são as capacidades de adsorção de humidade da argamassa [23]. Ou seja, a grande quantidade de terra utilizada (traço 1:2) e o seu alto teor de argila possibilitou um resultado elevado.

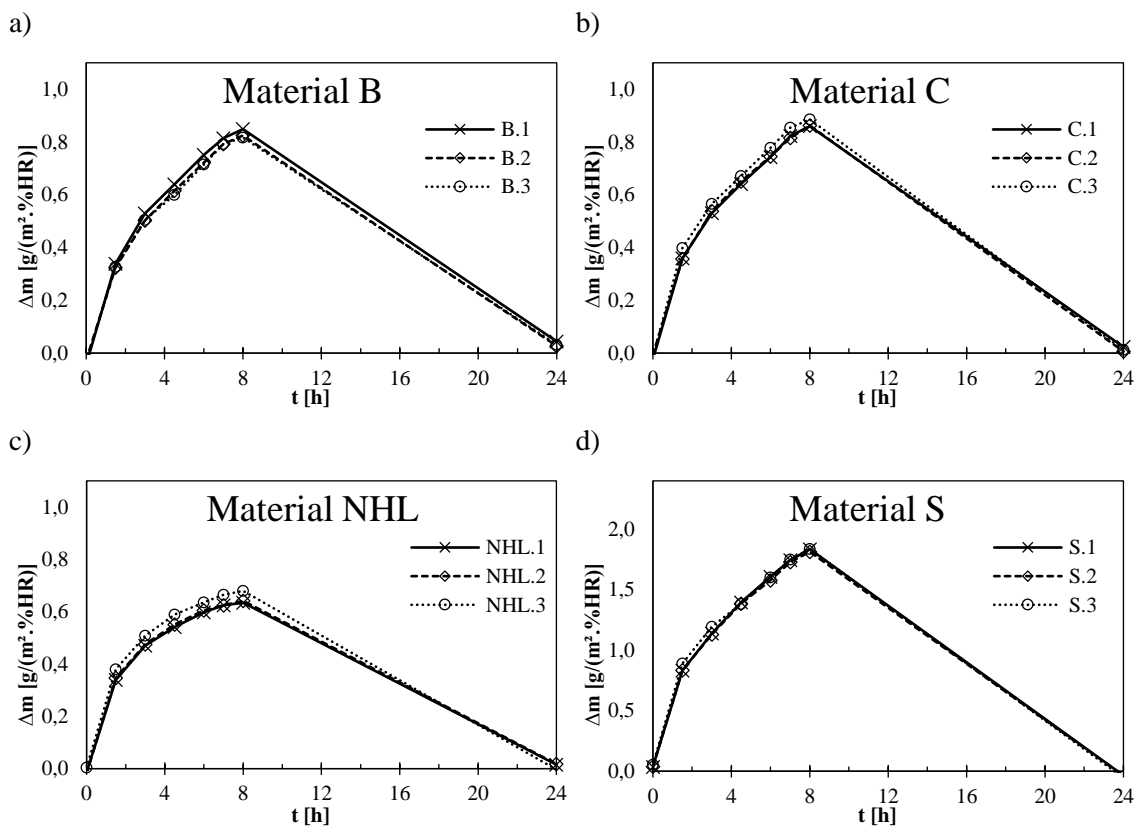


Figura 4.6 - Ciclo estável ensaio MVB 1: a) argamassa bastarda (B), b) argamassa cimentícia (C), c) argamassa de cal hidráulica natural (NHL) e d) argamassa de terra (S)

Os produtos pré-doseados – estuque projectado (E) e reboco de celulose projectado (N) (Figura 4.7) apresentam resultados de MBV díspares, que é facilmente correlacionado com estrutura porosa de ambos pois extremamente diferentes, e como se pode verificar a porosidade aberta do produto celulósico é quase o dobro do estuque, reflectindo assim um MBV quase 5 vezes mais elevado (2,21 g/(m<sup>2</sup>.%HR) para o material N, e 0,47 g/(m<sup>2</sup>.%HR) para material E).

É possível concluir que para além de um MBV mais baixo, os provetes de estuque respondem de forma mais rápida que os provetes de celulose projectada, ou seja mesmo que o tempo de exposição ao patamar mais alto de humidade relativa se prolongasse, o incremento de massa neste material seria muito reduzido, uma vez que está claramente a entrar em patamar. Uma das explicações para este efeito tem em conta a morfologia grosseira dos poros de estuque que facilitam a entrada do vapor da água e fixação deste nas paredes dos poros.

É possível verificar que praticamente metade da capacidade higroscópica dos dois materiais é esgotada ao fim de 1.5 h, o que permite avaliá-los de forma positiva para a resposta a flutuações rápidas de HR, mas com resposta irrelevante na atenuação de ciclos mais longos.

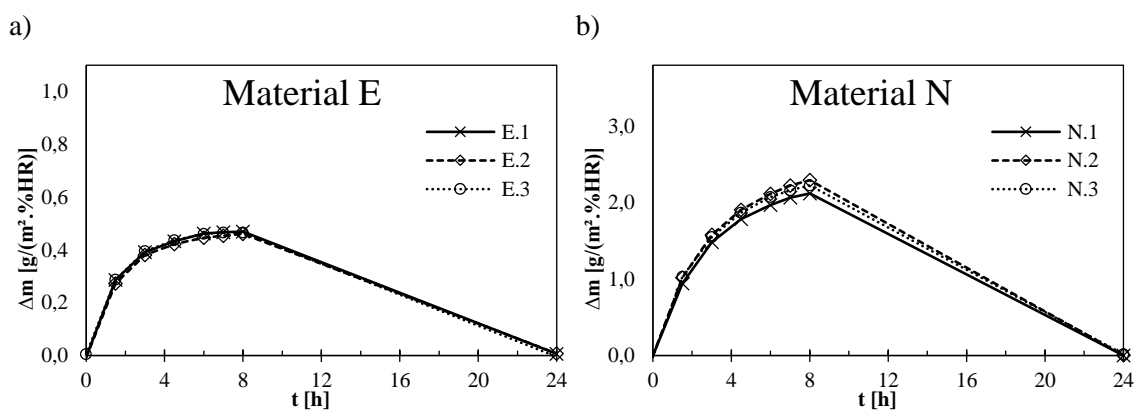


Figura 4.7 - Ciclo estável ensaio MVB 1: a) estuque (E), b) reboco de celulose projectada (N)

A análise dos produtos pré-fabricados (Figura 4.8), que apresentam valores de porosidade próximos, mostra que no que respeita à capacidade higroscópica o seu comportamento é bastante distinto. As placas de fibra de madeira e ligante (O) apresenta o maior valor de MBV, de todo o grupo em análise, 2,96 g/(m<sup>2</sup>.%HR), enquanto as placas de gesso cartonado (G) apresenta um valor de 0,69 g/(m<sup>2</sup>.%HR).

Os provetes de gesso cartonado apresentam um comportamento ainda mais instantâneo em relação aos pré-doseados, uma vez que ao fim de uma hora e meia metade da capacidade de adsorção é atingida e ao fim de 3 horas apenas restam 5 % para se atingir a capacidade final de armazenamento de humidade. Apesar da característica MBV estar associada ao elemento composto é evidente que o revestimento de papel do gesso cartonado é responsável por boa parte do armazenamento da humidade, visto que é um material que interage rapidamente com a humidade.

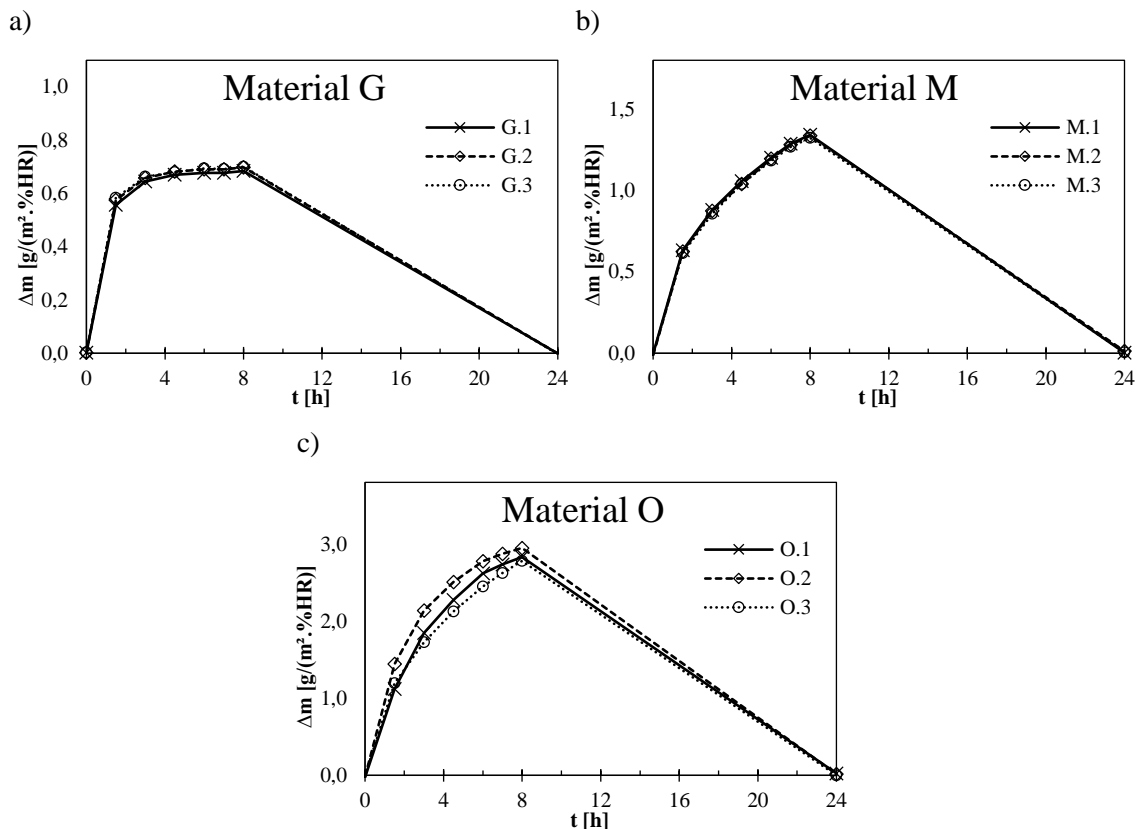


Figura 4.8 - Ciclo estável ensaio MVB 1: a) placas de gesso cartonado (G), b) placas de celulose reciclada (M), c) placas de fibras de madeira e ligante (O)

À semelhança ao que foi previamente referido os provetes O apresentaram valores de MBV mais elevados, mas também foi registada uma maior dispersão de resultados, com um desvio padrão de  $\pm 0,25$ . Este desvio deve-se à falta de uniformidade do material que apresenta uma disposição heterogénia de fibras.

Na Figura 4.9 esta representado os valores médios obtidos para o ensaio MBV simples e os respectivos desvios.

Para este ensaio verificou-se que os provetes de fibras de madeira e ligante (O) apresentaram os melhores resultados com MBV médio de  $2,85 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$ , seguidamente pela solução de revestimento de celulose projectada (N) com  $2,21 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$ , pelo revestimento de terra argilosa (S) atingindo  $1,83 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$ . Com pior performance encontra-se o estuque projectado (E) com MBV de  $0,47 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$  e a argamassa de cal hidráulica natural (NHL) com MBV de  $0,65 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$ .

Numa analogia aos resultados do MBV entram em concordância com as curvas higroscópicas. Os materiais com maior capacidade MBV representam também as curvas de adsorção mais elevadas. De forma semelhante os materiais com menor capacidade MBV representam as curvas mais baixas de adsorção.

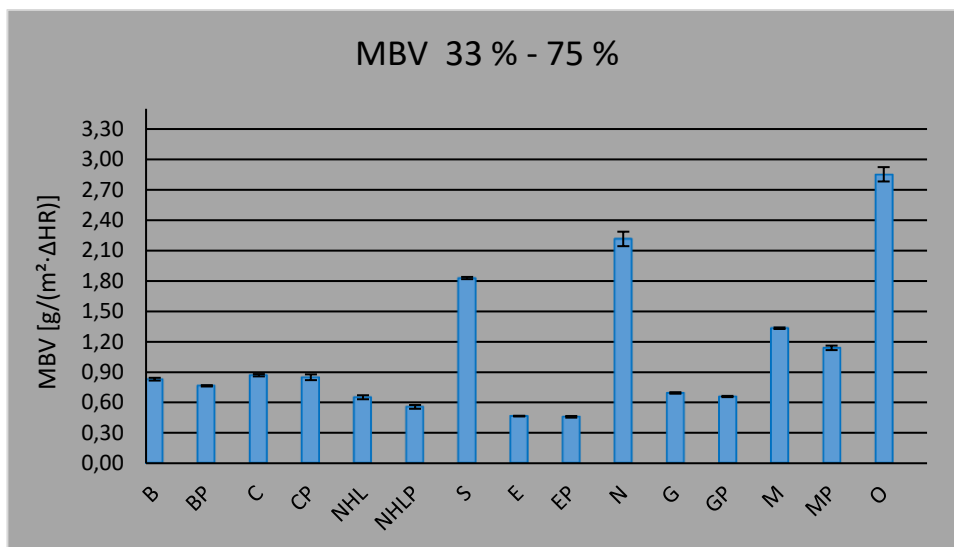


Figura 4.9 - Valores médios e desvios determinados para o MBV simples 33 % - 75% HR

Segundo o protocolo MBV ainda pode ser feita uma análise dos resultados qualitativamente utilizando valores de referência, como mostra na Figura 4.10.

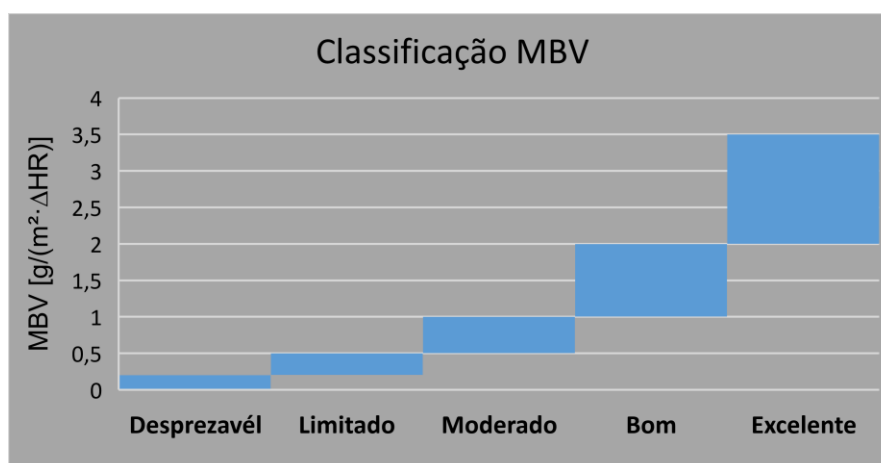


Figura 4.10 - Classificação qualitativa em relação ao MBV das soluções. Adaptado [33]

Utilizando a classificação acima, as soluções de argamassas comuns (excepção às argamassas à base de terra) e as soluções de gesso cartonado (G) e estuque projectado (E) são consideradas como soluções moderadas. Como boas soluções a nível do MBV estão as argamassas de terra (S) e as placas de celulose reutilizada (M). Por último, como soluções excelentes encontram-se a solução de revestimento de celulose projectada (N) e a solução de fibras de madeira com ligante (O).

## 4.2.2 Análise da influência da utilização de acabamento superficial

Com o objectivo de avaliar a influência da camada de acabamento decidiu-se fazer uma análise conjunta dos resultados obtidos. Na Figura 4.11 apresentam-se os ciclos médios de MBV para cada solução (consultar o anexo B para mais informação).

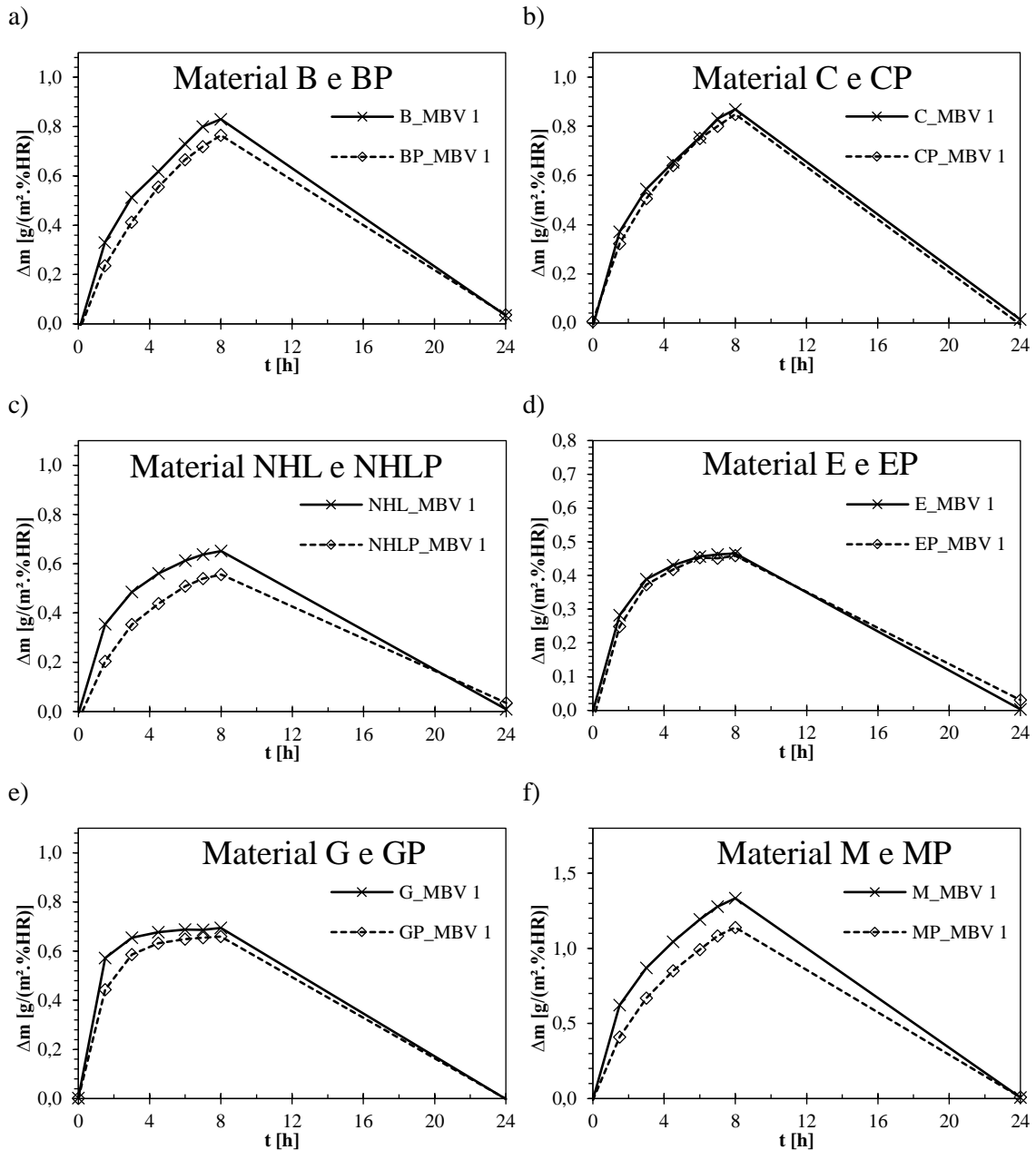


Figura 4.11 - Comparação do MBV 1 dos provetes com e sem acabamento superficial: a) argamassa bastarda (B) e pintada (BP), b) argamassa cimentícia (C) e pintada (CP), c) argamassa de cal hidráulica natural (NHL) e pintada (NHLP), d) estuque (E) e com acabamento (EP), e) gesso cartonado (G) e pintado (GP) e f) placas de celulose reciclada (M) e pintada (MP)

Desta comparação é possível concluir que a camada de acabamento reduz a capacidade higroscópica e aumenta a histerise. Este comportamento é mais evidente para o NHL e M, com diferenças no valor de MBV entre o material com e sem acabamento de 0,09 e 0,19 g/(m<sup>2</sup>.%HR), respectivamente. O material G e o B apresentam uma diferença menor, com 0,03 e 0,07 g/(m<sup>2</sup>.%HR), respectivamente, enquanto que para o E e C a diferença é praticamente negligenciável. Os valores absolutos de MBV podem ser consultados na Tabela 4.1.

Este fenómeno justificar com a redução da permeabilidade ao vapor, desencadeando uma menor adsorção de humidade em relação aos elementos sem o acabamento superficial. No entanto, verifica-se que a utilização do sistema de pintura não afecta de igual forma a capacidade de armazenamento, visto que tal depende do suporte utilizado. Veja-se o exemplo dos provetes de cal hidráulica natural, NHL e NHLP, onde houve um decréscimo de 14.6 % no valor de MBV, Com a mesma solução de acabamento, os provetes de gesso cartonado evidenciados uma redução de apenas 5.1 % face ao valor inicial de MBV.

#### 4.2.3 Análise da influência do intervalo de humidade relativa para o ensaio MBV

O ensaio típico de MBV (33 % - 75 %) com uma amplitude alargada pode não representar a generalidade dos casos. Apesar o MBV ser apresentado por  $\Delta HR$ , é sabido que as curvas higroscópicas não apresentam comportamento constante, pelo que a utilização de um valor genérico, apesar de útil para a caracterização geral, pode impor erros na estimativa da sua influência para locais com condições diferentes.

Com o intuito de suprir esta limitação e avaliar a influência do intervalo de ensaio, propuseram-se mais dois ensaios com ciclos diferentes – MBV 2 e MBV 3.

Os gráficos a seguir correspondem aos valores médios para cada sistema de revestimento, para cada material é possível encontrar no anexo B os dados para cada provete e os seus valores médios.

À semelhança do que foi constatado para o MBV simples, foram registados para todas as soluções com acabamento superficial valores de MBV mais baixos em relação às soluções não acabadas, à excepção dos provetes de cal.

Para o grupo das argamassas os resultados do MBV (Figura 4.12) são muito homogéneos, verificando-se na grande maioria dos sistemas que a diminuição da variação da HR aumenta a capacidade MBV.

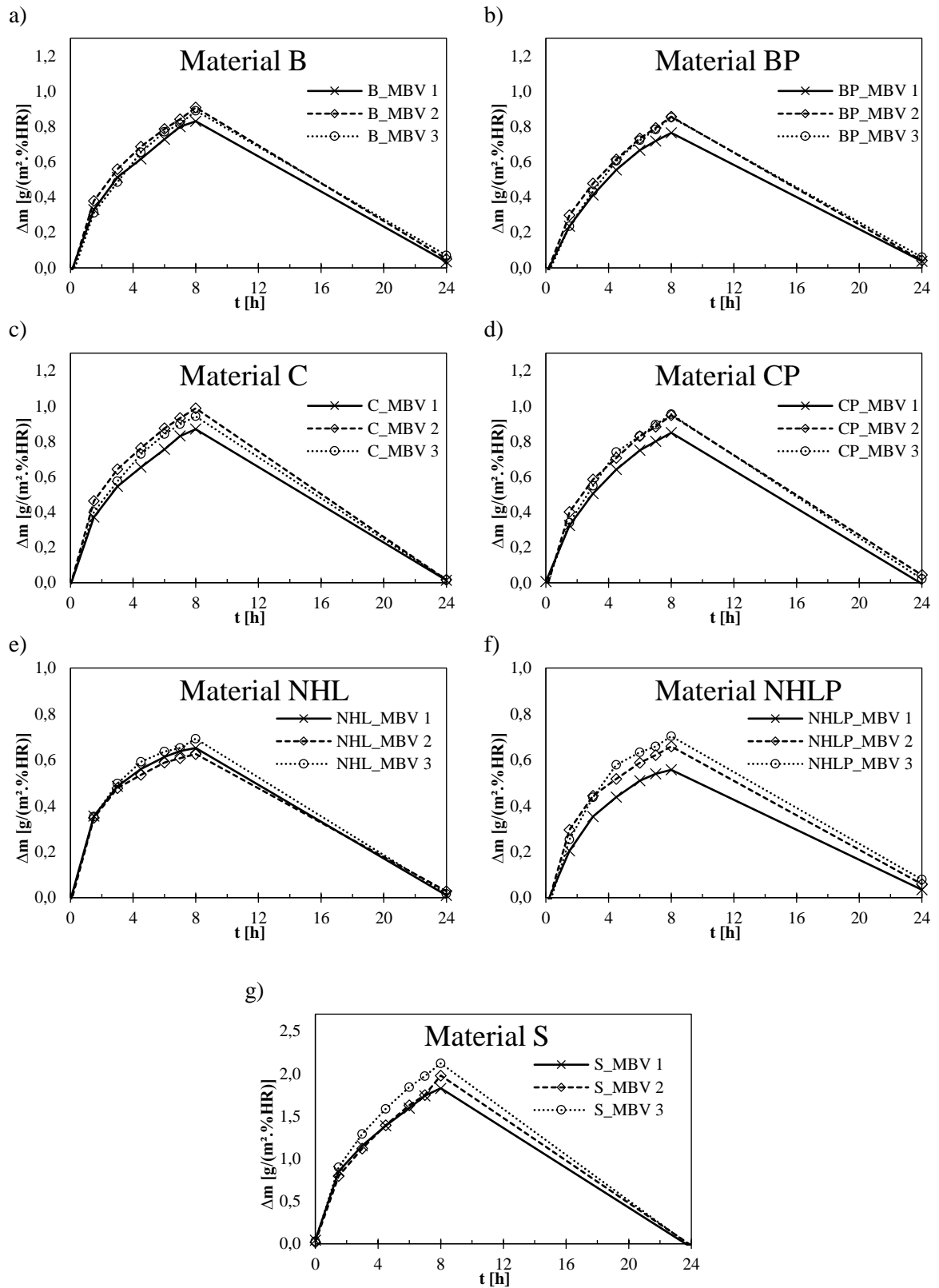


Figura 4.12 - Comparação dos diferentes níveis de HR no ciclo estável das arg.; a) bastarda (B), b) bastarda pint. (BP), c) cimentícia (C), d) cimentícia pint. (CP), e) cal hidráulica natural (NHL), f) cal hidráulica natural pint. (NHLP) e g) de terra (S)

Nota-se que existe um decréscimo do efeito da variação de HR no valor do MBV, na medida que a amplitude diminui no caso das curvas do intervalo 33 % - 75 % em comparação com os restantes intervalos existe relativamente um afastamento entre as curvas. Todavia, para o caso das curvas com a variação de HR de 25 % e 15 %, nota-se maior proximidade das curvas durante todo o ensaio, efeito que se verifica para quase todas as argamassas. Deste modo é possível associar o encurtamento da variação do intervalo de humidade relativa de 25 % para 15 % como intervalos 50 % - 75% e 60 % - 75 % de HR respectivamente, o resultado da característica MBV é pouco afectado, seja pelo facto de existir uma menor adsorção e desadsorção associada a diminuição do intervalo que é compensada pelo menor valor de variação de humidade relativa.

No grupo dos produtos pré-doseados (Figura 4.13) nota-se uma tendência no aumento da capacidade MBV com a diminuição da variação de HR, em que o ensaio MBV 1 corresponde ao menor valor de MBV. Nota-se que independentemente do intervalo de HR os provetes de estuque continuam a apresentar um comportamento limitado para adsorção de humidade, pois existe uma tendência para patamar após algumas horas de transição de humidade.

Para o material celulósico é novamente denotado que os ensaios MBV 2 e MBV 3 apresentam valores muito próximos entre si e relativamente distantes do ensaio MBV 1.

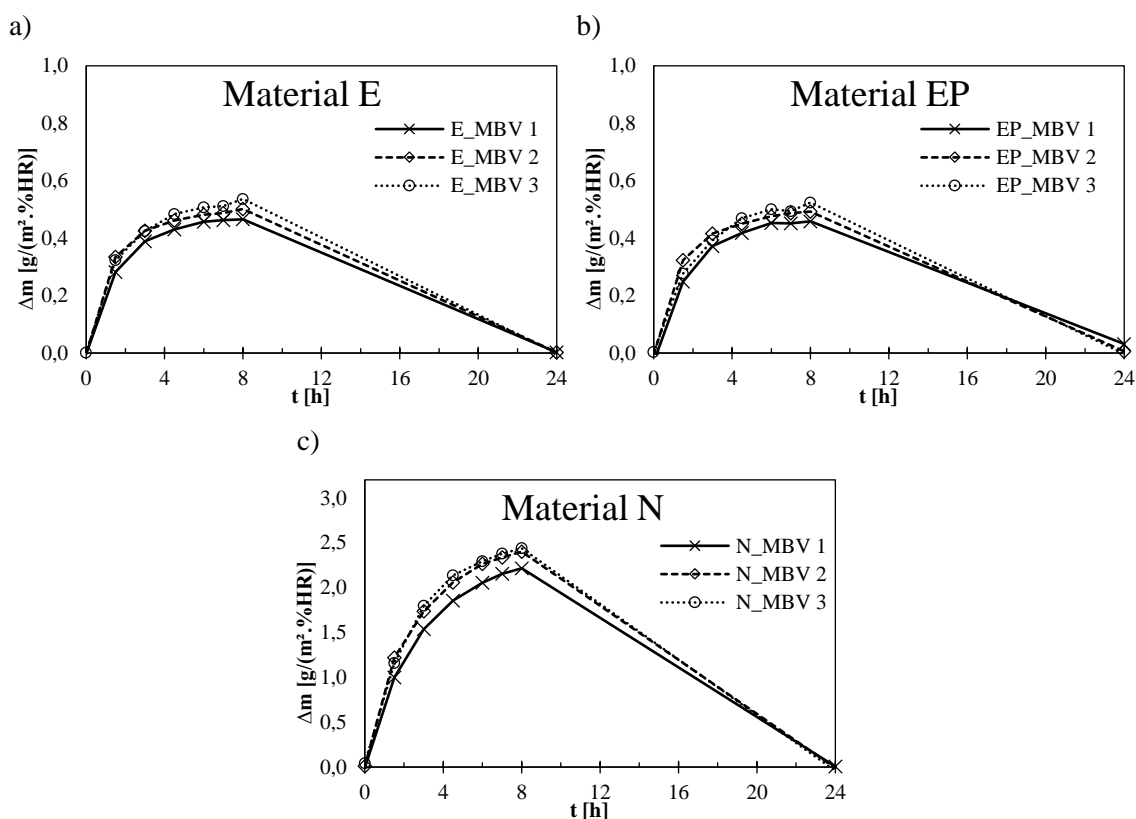


Figura 4.13 - Comparação dos diferentes níveis de HR no ciclo estável revestimentos pré-doseados: a) estuque (E), b) estuque com acabamento (EP), c) celulose projectada (N)

Finalmente os produtos pré-fabricados, Figura 4.14, apresentaram uma tendência oposta aos elementos pré-doseados, resultando numa redução da capacidade MBV à medida que os intervalos de HR reduziam. Uma das explicações para este comportamento é o facto destes materiais serem muito higroscópicos e apresentarem uma resposta rápida à transição de HR. Com a diminuição da amplitude de HR estes materiais tendem a estabilizar para os níveis de HR curtos, pelo que a desadsorção do material é relativamente menor. O caso mais significativo da variação dos níveis de HR é o material O, com a redução da capacidade MBV para metade.

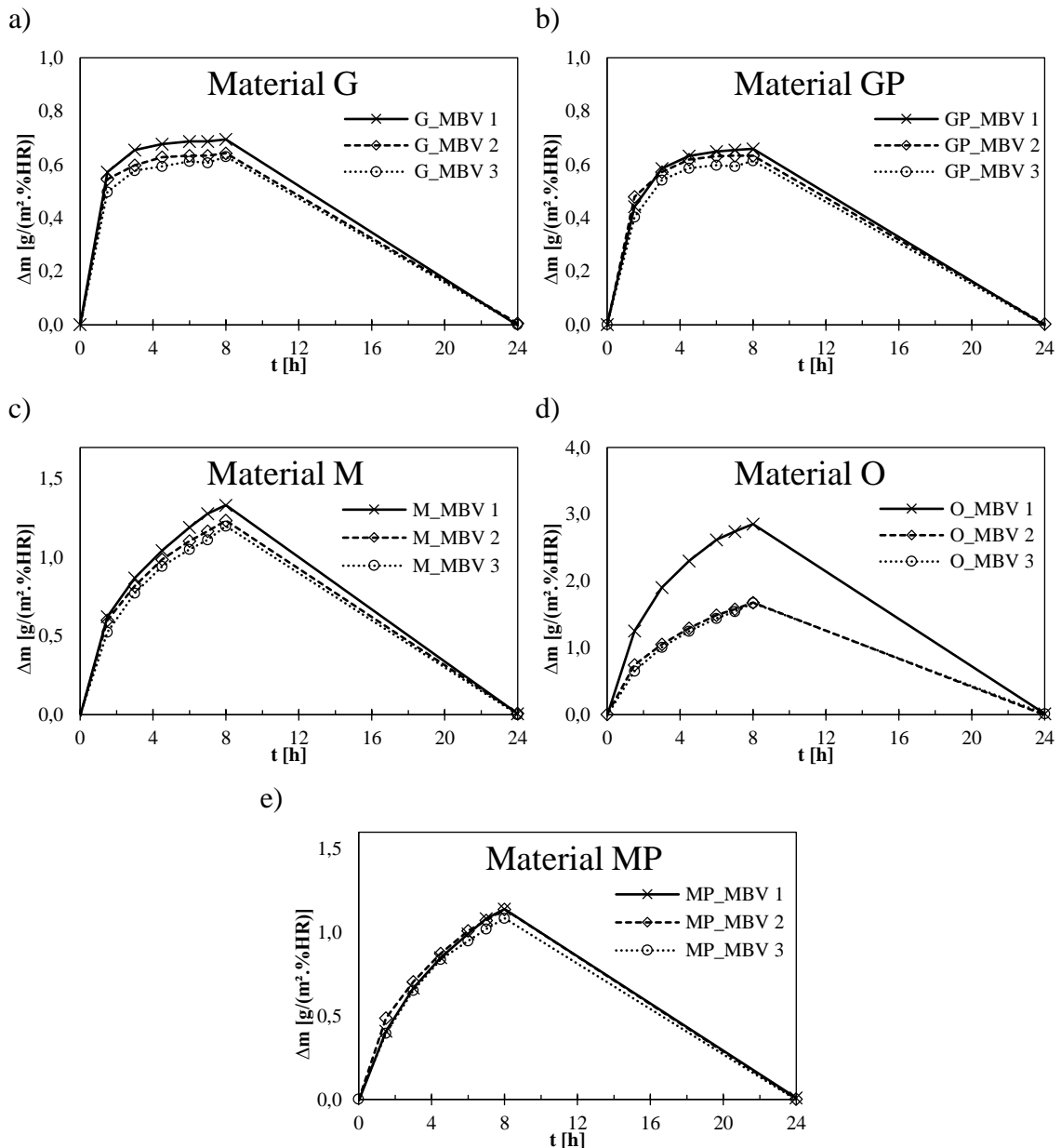


Figura 4.14 - Comparação dos diferentes níveis de HR no ciclo estável produtos pré-fabricados: a) gesso cartonado (G), b) gesso cartonado pintado (GP), c) placas de celulose (M), d) placas de celulose pintadas (MP), e) placas de fibras de madeira e ligante (O)

Nota-se ainda que todos os materiais testados apresentam igual comportamento em relação a diminuição da variação de HR, com as curvas MBV 2 e 3 muito próximas. Conclui-se assim que para a gama de materiais estudados a variação do intervalo 50 % -75 % e 60 % -75 % de HR para o caso do MBV introduziu pouca variação.

No quinto ciclo diário do MBV 2 (50 % - 75 % HR) ocorreu uma avaria da câmara climática durante o período de HR alta, tendo este sido prolongado para 16 horas, ao invés das 8 horas pretendidas. Para não invalidar dos resultados obtidos, foi decidido prosseguir o ensaio por mais quatro ciclos diários e ter em conta esta perturbação. Foi descartada a possibilidade de a avaria ter afectado os resultados obtidos pois como se verá para o ensaio ISO 24353 para o mesmo intervalo de HR foram obtidos dados semelhantes.

Como se pode verificar para os casos das argamassas (exceptuando argamassa de terra, S) e para o revestimento de celulose projectado, N, não houve tendência para o aumento ou diminuição do MBV em relação aos diferentes intervalos de HR. Para este efeito não uniforme do MBV considerou-se que os materiais têm uma resposta diferente para cada variação de intervalo de HR, sendo que no caso dos materiais mais lentos no processo de desadsorção tal implica um maior aumento do teor de humidade. Como se pode ver nas curvas de adsorção as argamassas (excepto as de terra), apresentaram maior dificuldade na desadsorção, no caso de intervalos muito reduzidos o efeito do atraso pode conferir menores valores de MBV como se verificou para os MBV 2 e 3.

Para as argamassas, estuque e celulose projectada evidenciou-se a tendência do aumento do valor MBV à medida que a diferença de HR foi diminuída. No caso oposto os produtos pré-fabricados tiveram uma tendência a diminuir a sua capacidade MBV com a diminuição da variação de HR, sendo mesmo registada uma perda de quase metade da capacidade de armazenamento no caso dos provetes de fibras de madeira e ligante (O).

A relação entre as variantes do MBV é pouco prática de ser analisada pois a diferença entre os intervalos de humidade não são constantes. O próprio material tem ainda comportamentos distintos em relação ao ambiente em que estão expostos. Apesar da HR média ser mais alta, contendo uma maior quantidade de vapor da água, o encurtamento do intervalo de HR diminui a perda de massa das soluções, afectando assim a adsorção final. Este efeito é fácil de se notar quando comparamos a quantidade de vapor adsorvida para cada ensaio. Para todos os casos quanto mais díspares eram os níveis de HR maior era a adsorção máxima do material.

Na Tabela 4.1 estão apresentados os resultados do MBV médio e a respectiva quantidade de vapor de água adsorvida em [g/m<sup>2</sup>], obtida através da multiplicação do MBV pela variação da humidade relativa do ensaio.

Tabela 4.1 - Valores médios do MVB para as diferentes variantes e respectivas variações de massa para cada ensaio

Material	MBV médio [g/(m <sup>2</sup> ·%HR)]			MBV médio*ΔHR [g/m <sup>2</sup> ]		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
<b>B</b>	0,83	0,91	0,89	34,03	21,78	12,60
<b>BP</b>	0,76	0,86	0,85	31,35	20,47	12,07
<b>C</b>	0,87	0,99	0,94	35,63	23,60	13,33
<b>CP</b>	0,85	0,97	0,95	34,82	23,15	13,50
<b>NHL</b>	0,65	0,65	0,69	26,72	15,50	9,80
<b>NHLP</b>	0,56	0,66	0,70	22,82	15,73	9,95
<b>S</b>	1,83	1,98	2,12	74,98	47,28	30,03
<b>E</b>	0,47	0,50	0,54	19,08	11,98	7,59
<b>EP</b>	0,46	0,49	0,52	18,80	11,77	7,42
<b>N</b>	2,21	2,40	2,44	90,81	57,35	34,51
<b>G</b>	0,69	0,64	0,63	28,46	15,36	8,92
<b>GP</b>	0,66	0,63	0,61	27,02	15,14	8,69
<b>M</b>	1,33	1,23	1,20	54,66	29,51	16,98
<b>MP</b>	1,14	1,14	1,08	46,72	27,22	15,36
<b>O</b>	2,85	1,68	1,67	116,98	40,13	23,66

Em média as argamassas diminuíram em 34,1 % a sua capacidade máxima de adsorção para o caso da variação do MBV 1 para o MBV 2 e 62,3 % para a redução do MBV 1 para o MBV 3. No caso dos produtos pré-doseados houve uma redução de 38,5% e 61,9 % para as mesmas variações. Por fim para os produtos pré-fabricados excluindo os provetes O, notou-se uma redução foi 43,3 % do MBV 1 para o MBV 2 e 68,9 % do MBV 1 para o MBV 3. Os provetes O obtiveram reduções de 65,7 % e 79,8 % para as variações de HR de 42 % para 25 % e de 42 % para 15 % respectivamente.

Na bibliografia existem diversos materiais já estudados, no entanto, a comparação dos resultados é extremamente difícil dado que o ensaio permite diferentes nuances, tais como a área de exposição, a velocidade do ar na câmara, o tempo necessário para atingir a HR desejada na transição, o método de selagem e quantidade de vapor de água. Na Tabela 4.2 são apresentados alguns materiais estudados em relação ao ensaio MBV.

Tabela 4.2 - Dados da bibliografia do ensaio MBV

Material	Referência	Área exposição	Espessura	Material de Impermeabilização	Velocidade do ar	MBV
		[m <sup>2</sup> ]	[cm]	-	[m/s]	[g/(m <sup>2</sup> ·%HR)]
Gesso Cartonado	MBV - NBI	0,063	13,0	Fita de alumínio	0,1 - 0,3	0,69
	MBV - LTH	0,038	12,5	Fita de alumínio	0,5 - 0,59	0,57
	MBV - VTT	0,040	13,0	Fita de alumínio	0,6 ± 0,3	0,65
	Ramos	0,048	12,5	Fita de alumínio/resina epoxi	< 0,2	0,75
	Ensaio 1	0,010	12,5	Fita de alumínio	0,05 ± 0,02	0,69
Gesso Cartonado com pintura de acrílica	Ramos	0,048	12,5	Fita de alumínio/resina epoxi	< 0,2	0,77
	Ensaio 1	0,010	12,5	Fita de alumínio	0,05 ± 0,02	0,66
Betão	MBV - DTU	0,035	25,0	Fita de alumínio	0,05 - 0,1	0,42
	MBV - NBI	0,016	26,0	Fita de alumínio	0,1 - 0,3	0,35
	MBV - LTH	0,006	27,0	Fita de alumínio	0,5 - 0,59	0,37
Tijolo	MBV - DTU	0,013	110,0	Fita de alumínio	0,05 - 0,1	0,39
	MBV - NBI	0,013	110,0	Fita de alumínio	0,1 - 0,3	0,35
	MBV - VTT	0,011	109,0	Fita de alumínio	0,6 ± 0,3	0,69
Painéis de Fibras de madeira e cimento	Ferreira	0,0441	15,0	Fita de alumínio/papel adesivo	< 0,2	2,21
	Ensaio 1	0,010	29,6	Fita de alumínio	0,05 - 0,1	2,96
Revestimento celulose projectada	Ferreira	0,0441	15,0	Fita de alumínio/papel adesivo	< 0,2	1,81
	Ensaio 1	0,010	29,6	Fita de alumínio	0,05 - 0,1	2,21

### 4.3 Ensaio ISO:24353

Apesar da norma apenas definir uma amostra para cada patamar de humidade foram ensaiados três provetes de cada revestimento e será apresentado o valor médio de cada um.

Analisando todos revestimentos foi possível notar que a maioria dos materiais continuam a adsorver água até as 12 horas de período de HR alta, apenas o material de estuque e gesso cartonado com e sem acabamento atingem patamar em poucas horas de ensaio, como se pode verificar na Figura 4.15.

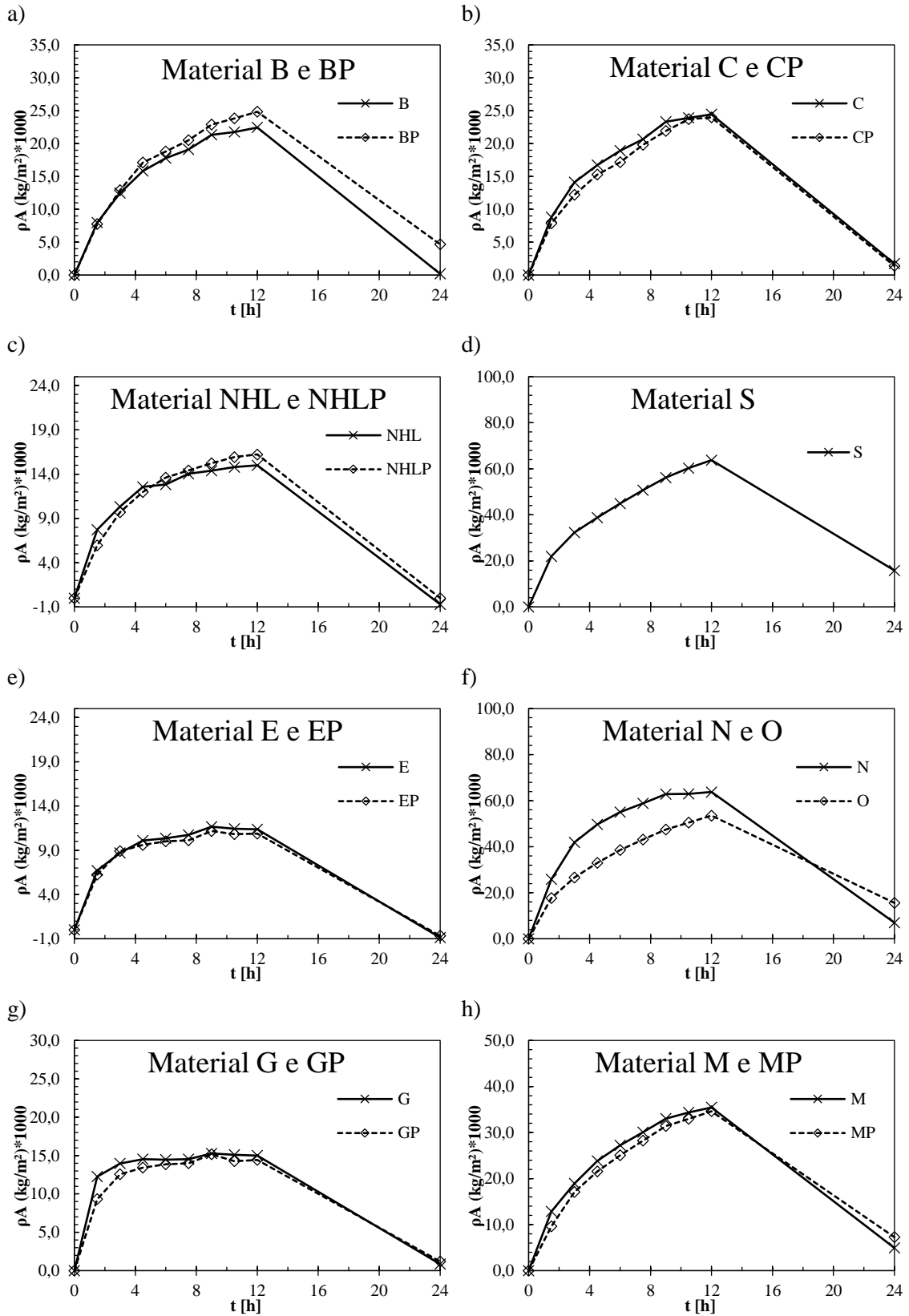


Figura 4.15 - Ciclo único da ISO: a) arg. bastarda (B) e pint. (BP), b) arg. cimentícia (C) e pint.(CP), c) arg. cal hid. (NHL) e pint. (NHLP), d) arg. terra (S), e) estuque (E) e acab. (EP), f) celulose projectada (N) e placas fibras de madeira (O), g) gesso cartonado (G) e (GP), h) placas de celulose (M) e (MP)

Em relação aos revestimentos com e sem acabamento nem todos apresentaram o mesmo comportamento de adsorção. O caso dos provetes que continham cal na sua composição teve um comportamento diferente, com maior adsorção para os revestimentos com acabamento em relação aos revestimentos sem acabamento. Este comportamento também se verificou para os provetes de cal (NHL e NHLP) nos ensaios MBV 2 e 3.

É de notar que apesar do pré-condicionamento corresponder à HR mais baixa do ensaio os materiais ao retornarem para esta HR não apresentam a mesma massa.

Neste ensaio de ciclo único identificou-se que o equilíbrio entre a adsorção e desadsorção não ocorre e existe em todos os casos um desfasamento, caracterizado pelo parâmetro teor de diferença,  $\rho_{A,S}$ . Os maiores desfasamentos ocorreram para as placas de fibras de madeira e ligante (O), argamassa de terra (S) e placas de celulose (M). Em comparação com os revestimentos com e sem acabamento os maiores desfasamentos acontecem predominantemente para os provetes com acabamento superficial.

Analisando os gráficos e a média entre a adsorção e desadsorção dos materiais,  $\rho_{\bar{A}}$ , da Tabela 4.3 identifica-se que os materiais N, S e O são os elementos que apresentam melhor resposta à variação da sinusoidal da humidade relativa, enquanto os elementos E, EP, G, GP, NHL e NHLP apresentam as piores respostas à variação de humidade. A maior média entre adsorção e desadsorção é obtida para revestimento de celulose projectada (N) com 60,28 g/m<sup>2</sup> e o menor valor para os provetes de EP com 11,20 g/m<sup>2</sup>.

Comparando os resultados do ciclo único com os resultados do MBV 2 é possível verificar que os valores são próximos mesmo com apenas um ciclo. Assim foi possível não só validar os resultados do MBV 2, mas também identificar que apesar da duração do ciclo ser um terço a mais do ensaio MBV os valores máximos da adsorção são muito próximos.

As pesagens efectuadas ao longo do tempo permitem representar a taxa de adsorção para os diferentes materiais, e através do coeficiente G. Na Figura 4.16 estão representados os gráficos para os diferentes materiais ensaiados, agrupados tendo em conta ao maior valor do parâmetro G obtido.

Para todos os casos a maior inclinação da curva ocorre na primeira hora de ensaio, como também se verificou para o ensaio MBV que durante as transições foram os períodos de maior adsorção. Este parâmetro G pode associar-se à maior ou menor capacidade dos revestimentos para adsorverem o vapor de água, em que quanto maiores os valores do parâmetro G, mais adsorvente é o material. Sendo assim considera-se que os materiais N, O e S representam os materiais mais higroscópicos e os provetes E, EP, NHL e NHLP obtiveram os menores valores do parâmetro G. Iguais conclusões foram obtidas para os ensaios MBV.

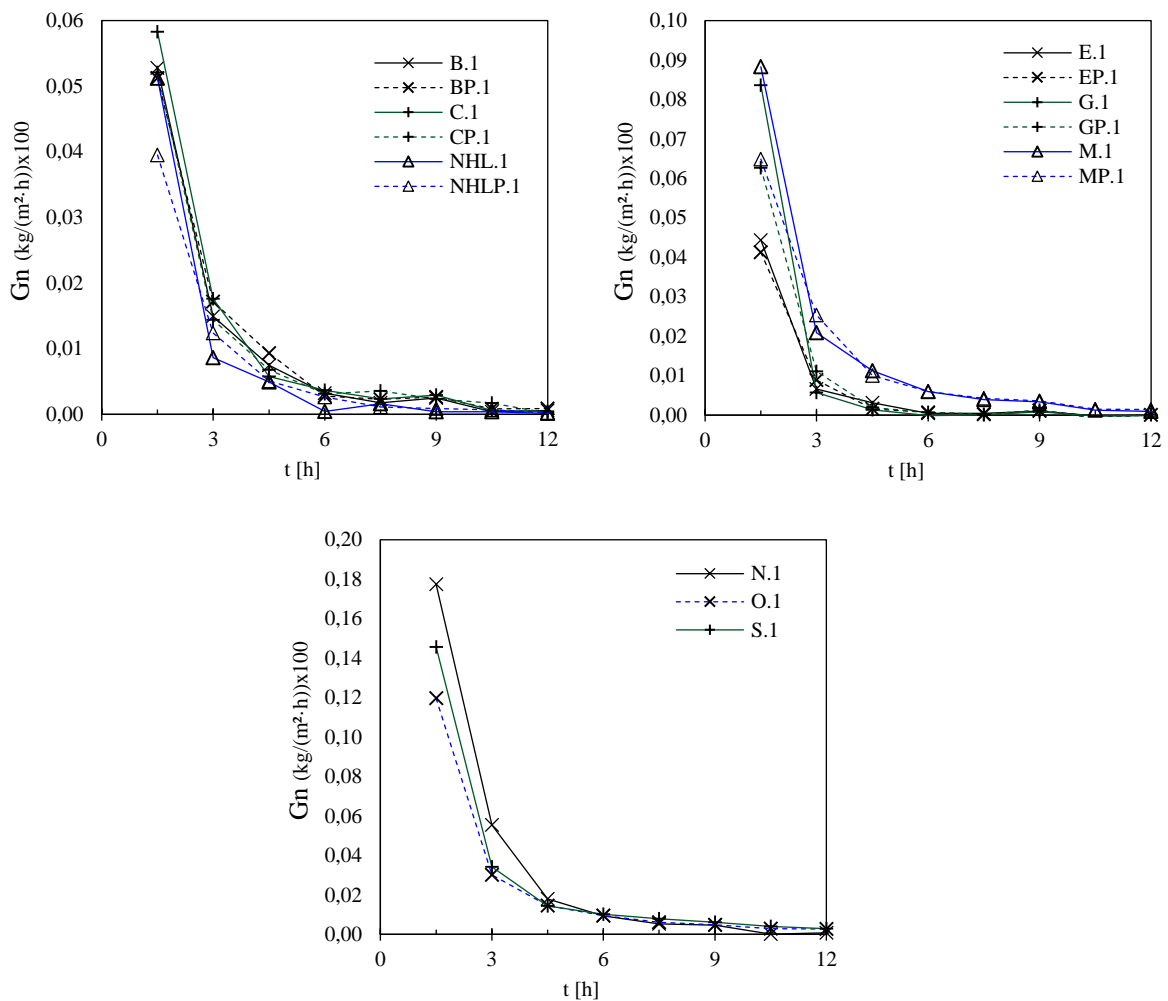


Figura 4.16 - Gráficos da taxa de adsorção dos materiais ensaiados.

Em relação ao ensaio cíclico, duração de 4 dias, graficamente não se verificam grande alterações entre este ensaio e ensaio de ciclo único. Mas verifica-se que a diferença entre a adsorção e desadsorção é reduzida, como se pode verificar na Tabela 4.3 os valores de  $\rho_{A,s}$  diminuem para quase todos os casos. Estima-se caso os ciclos se prolongassem menor seria o desfasamento entre a massa adsorvida e desadsorvida pois o material tende a entrar em equilíbrio no ambiente em que é exposto.

Também se verifica graficamente para as argamassas que existe um encurtamento da amplitude máxima e mínima em comparação do primeiro ciclo para o último ciclo, ou seja, uma diminuição da adsorção e desadsorção ao longo dos ciclos. Tendo como exemplo as Figura 4.17, 4,18 e 4,19, é possível verificar que estes materiais mantêm pequenas quantidades de água de ciclo para ciclo de maneira a equilibrar a quantidade adsorvida e desadsorvida. Como se pode ver nas curvas higroscópicas os materiais, principalmente as argamassas, têm dificuldade em desadsorver o vapor de água.

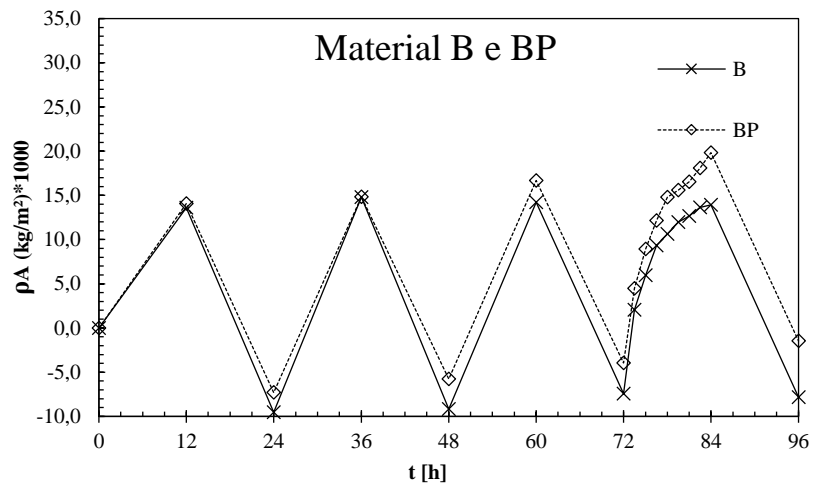


Figura 4.17 - Ensaio cíclico das argamassas bastardas sem acabamento (B) e com acabamento (BP)

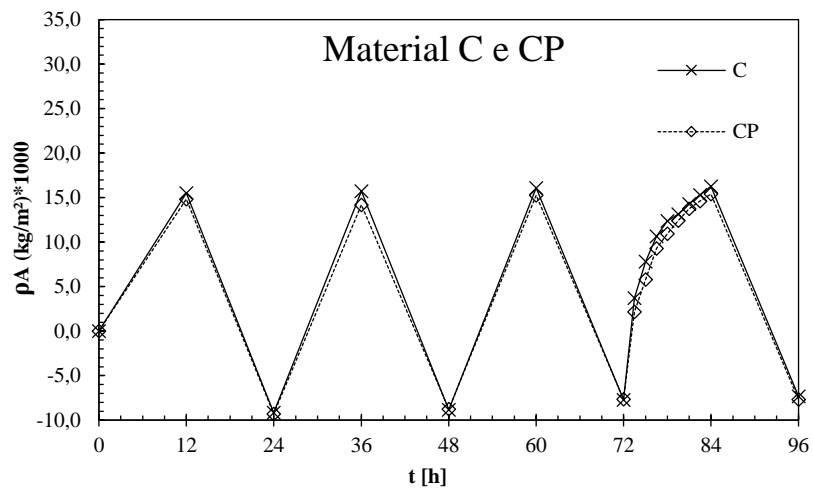


Figura 4.18 - Ensaio cíclico das argamassas de cimento sem acabamento (C) e com acabamento (CP)

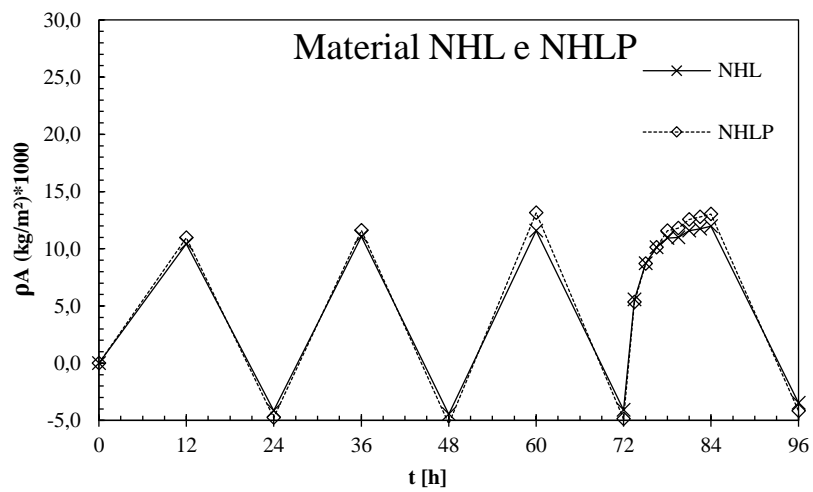


Figura 4.19 - Ensaio cíclico de cal sem acabamento (NHL) e com acabamento (NHLP)

O facto de o tempo de adsorção ser semelhante ao tempo de desadsorção obriga ao material a procurar um equilíbrio com o avançar dos ciclos. Igual característica pode-se verificar para as argamassas de terra, Figura 4.22, mas de modo contrário às argamassas comuns tende a liberar pequenas quantidades de vapor de água que foram adsorvidas durante o pré-condicionamento de modo a estabelecer o equilíbrio.

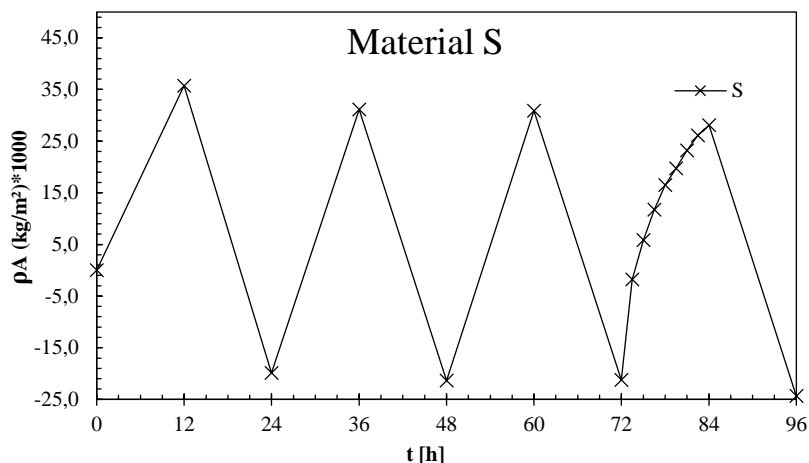


Figura 4.20 - Ensaio cíclico argamassa de terra (S)

Tendo em conta do pré-condicionamento para o ensaio cíclico foi efectuado a uma HR relativa superior à HR mínima do ensaio verifica-se que o equilíbrio entre a adsorção e desadsorção é atingido logo no primeiro ciclo, como se pode verificar nas Figura 4.21, 4.22 e 4.23. Este comportamento ocorre pelo facto destes materiais apresentam uma resposta rápida à variação de HR.

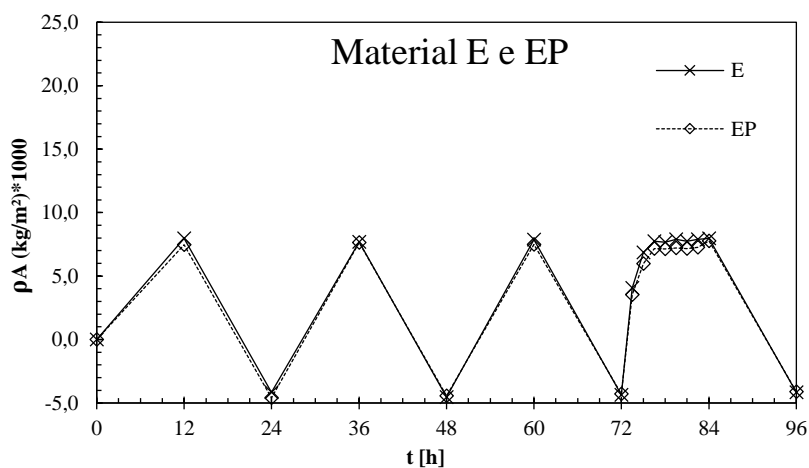


Figura 4.21 - Ensaio cíclico estuque sem acabamento (E) e com acabamento (EP)

Os materiais N e O como já visto no ensaio MBV são os que apresentam grande capacidade de armazenamento de humidade. A resposta destes materiais durante os ciclos é ligeiramente

diferente. Para o caso do material N este assemelha-se ao estuque, que apresenta linearidade durante os ciclos. Para o caso do material O verifica-se uma tendência semelhante aos provetes S de se ajustarem de ciclo para ciclo.

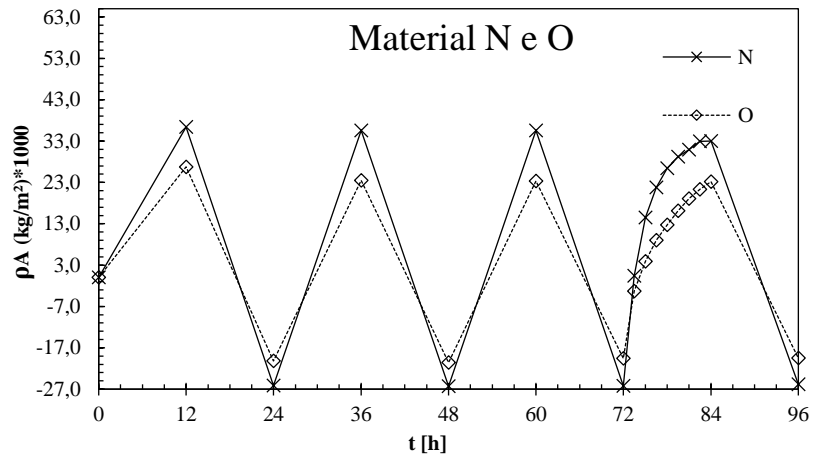


Figura 4.22 - Ensaio cíclico celulose projectada (N) e placa de fibras de madeira e ligante (O)

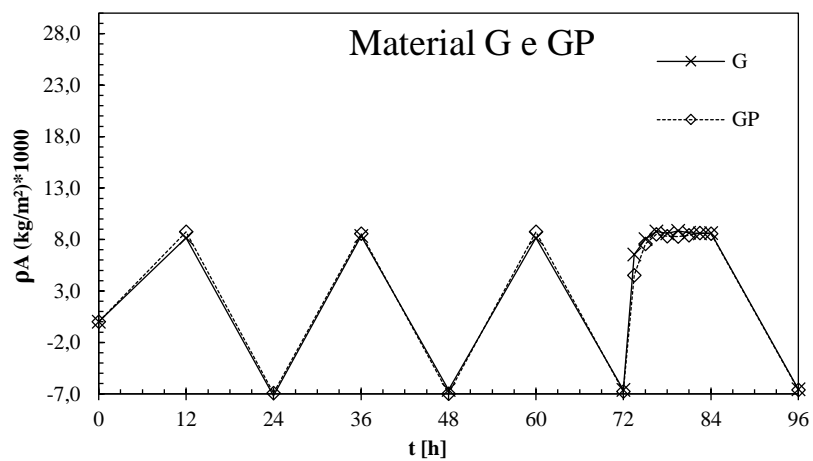


Figura 4.23 - Ensaio cíclico gesso cartona sem pintura (GP) e com acabamento (GP)

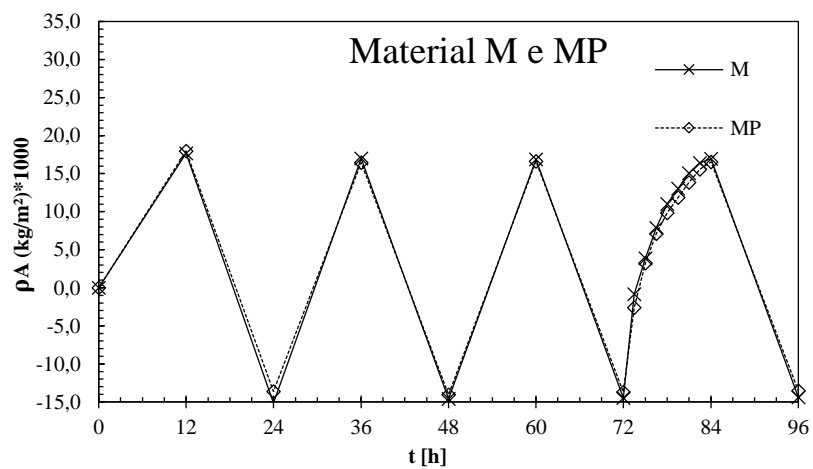


Figura 4.24 - Ensaio cíclico placas de celulose sem acabamento (M) e com acabamento (MP)

Na Tabela 4.3 estão apresentados os resultados obtidos para ensaios de ciclo único, cíclicos e média entre massa adsorvida e desadsorvida do ensaio MBV para intervalo 50 % – 75 %. Em comparação do ciclo único e cíclico, os valores da média entre massas adsorvida e desadsorvida,  $\rho\bar{A}$ , são relativamente próximos, não existindo linearidade no aumento ou decréscimo dos valores. Mas como já referido o desvio entre a adsorção e desadsorção é notavelmente menor. Verificou-se que os resultados do ciclo único são próximos aos resultados do ensaio MBV e no caso do ensaio cíclico os resultados ainda são mais próximos aos resultados do ensaio MBV. Não se espera que com o prolongamento dos ciclos os resultados tendam para resultados do ensaio MBV pois o tempo de exposição e pré-condicionamento dos ensaios são distintos. Tal semelhança de resultados deve-se apenas ao nível de HR ser igual. Mas com esta comparação verifica-se que para este intervalo de HR o prolongamento de mais 4 horas de exposição ao ambiente de HR alta e a diminuição das mesmas horas para a ocorrer a desadsorção não altera a capacidade dos materiais. No entanto devem ser efectuados mais estudos nesta temática para se obterem melhores conclusões nesta temática.

Tabela 4.3 - Resultados ensaio ISO 24353 ciclo único e cíclico e MBV 50 % - 75 %

Material	Ciclo único				Cíclico				MBV 2
	$\rho_{A,a}$	$\rho_{A,d}$	$\rho_{A,s}$	$\rho\bar{A}$	$\rho_{A,a}$	$\rho_{A,d}$	$\rho_{A,s}$	$\rho\bar{A}$	$\rho_{MBV}$
	[g/m <sup>2</sup> ]								
B	22,43	22,27	0,17	22,35	21,37	21,77	-0,40	21,57	21,78
BP	24,83	20,17	4,67	22,50	23,80	21,30	2,50	22,55	20,47
C	24,43	22,70	1,73	23,57	24,00	23,60	0,40	23,80	23,60
CP	23,97	22,57	1,40	23,27	23,03	23,07	-0,03	23,05	23,15
NHL	15,00	15,70	-0,70	15,35	16,07	15,43	0,63	15,75	15,50
NHLP	16,23	16,23	0,00	16,23	17,90	17,20	0,70	17,55	15,73
S	63,77	47,93	15,83	55,85	49,33	52,43	-3,10	50,88	47,28
E	11,37	12,23	-0,87	11,80	12,33	12,13	0,20	12,23	11,98
EP	10,87	11,53	-0,67	11,20	12,07	11,87	0,20	11,97	11,77
N	63,79	56,76	7,02	60,28	59,24	58,88	0,35	59,06	57,35
G	14,99	14,14	0,84	14,56	15,24	15,18	0,06	15,21	15,36
GP	14,44	13,26	1,18	13,85	15,35	15,19	0,16	15,27	15,14
M	35,45	30,50	4,95	32,97	31,45	31,35	0,09	31,40	29,51
MP	34,61	27,32	7,29	30,96	30,23	30,06	0,16	30,15	27,22
O	53,53	37,98	15,55	45,76	42,71	42,61	0,10	42,66	40,13

## 4.4 Ensaio dinâmico

Nos gráficos a seguir são representados o teor de humidade em relação ao tempo sobrepostos na variação da HR.

Numa análise geral, como esperado todos os materiais tendem a aumentar o seu teor de humidade a medida que a humidade relativa média aumenta. E igualmente para caso do decréscimo da humidade relativa média o teor de humidade também decresce.

Verifica-se que todos os materiais variam constantemente o seu teor de humidade correspondendo uma resposta rápida a flutuação da humidade relativa. É de se esperar que os materiais que apresentam maior histerese sejam os que apresentam menor resposta a variação dinâmica da humidade relativa. O inverso é expectado para os materiais com menor histerese pelo facto que a desadsorção ocorre de igual forma da adsorção e potencializa rápida resposta as variações.

A resposta dos materiais para ciclos oscilatórios pode conduzir a escolha dos materiais apropriados para o controlo das variações diárias ou variações semanais e sazonais. Um material com uma resposta rápida as variações oscilatórias de HR seria recomendado para ambientes com variação diária de HR. No caso de ambientes do controlo da variação de HR sazonal deve se ter em conta a resposta do material para as variações de HR média.

Apesar de todos materiais terem respondido rapidamente com aumento de HR, os materiais com uma inércia higroscópica mais elevada tiveram um maior atraso na desadsorção potencializando o controlo a sua resposta para ciclos de maior duração.

Fazendo uma comparação aos ensaios MBV e ISO ao fim de um ciclo de exposição a quantidade de vapor adsorvida era próxima a quantidade desadsorvida, mas no caso da variação dinâmica da HR não houve este equilíbrio ao fim desadsorção. Este efeito não é apenas resultante da variação progressiva da HR média, mas também pelo facto de ter havido a variação constante dos patamares de HR.

Analisando apenas as argamassas e excluindo os provetes de terra, verifica-se tal como nos ensaios MBV uma adsorção máxima inferior aos outros materiais ensaiados. No caso da desadsorção pode-se considerar que estes materiais têm comportamentos inferiores aos outros materiais, sendo que no caso dos provetes NHL e NHLP quase não se nota a desadsorção.

Para quase todas argamassas verifica se que apesar das últimas três horas de ensaio acabarem em patamar de HR crescente os materiais continuam a desadsorverem obedecendo a HR média do ciclo (Figura 4.25).

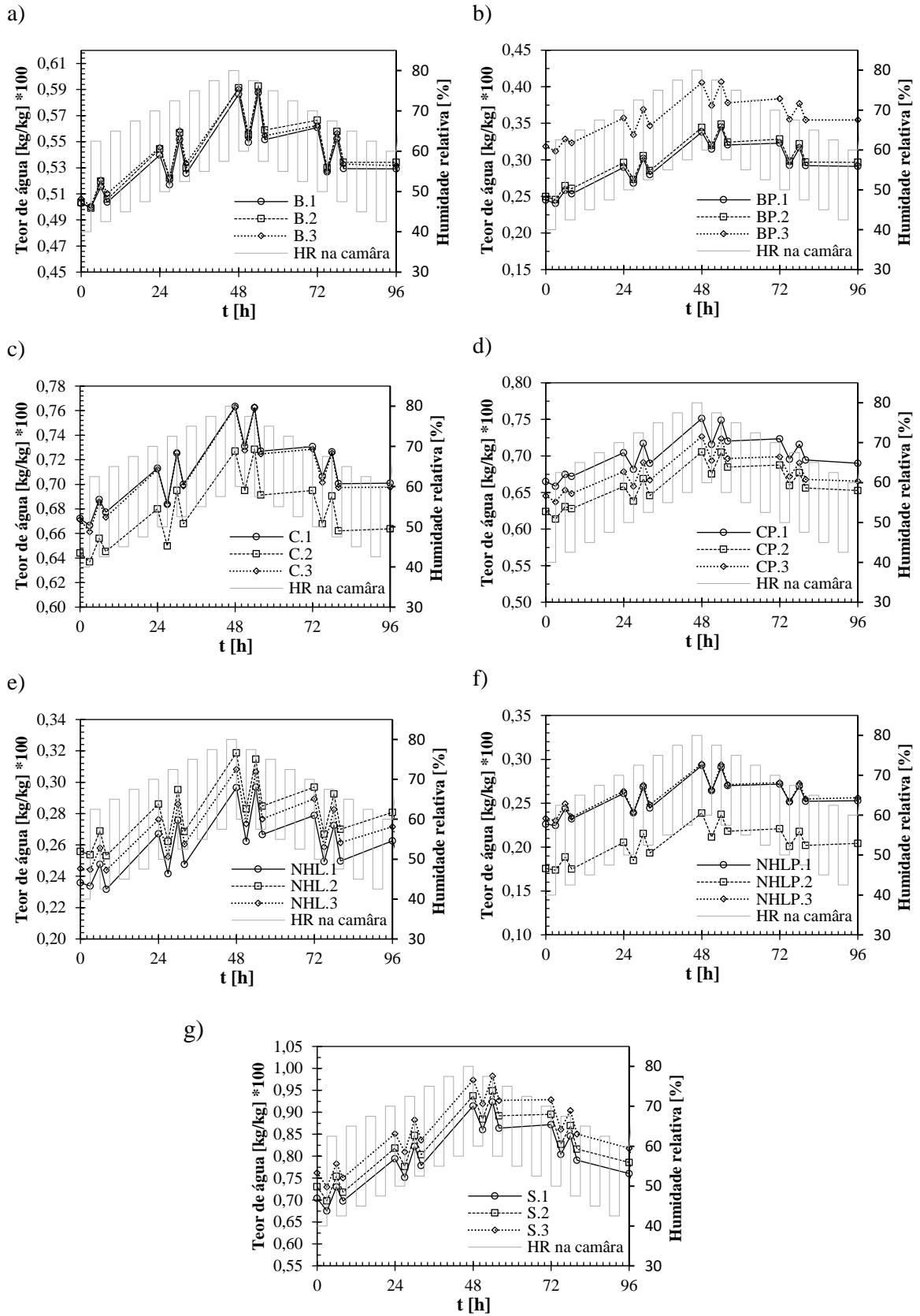


Figura 4.25 - Ensaio dinâmico das argamassas: a) bastarda (B), b) bastarda pint. (BP), c) cimentícia (C), d) cimentícia pint. (CP), e) cal hidráulica (NHL), f) cal hidráulica pint. (NHLP) e g) terra (S)

No último troço dos revestimentos pré-doseados (Figura 4.26) verifica-se um aumento do teor de humidade enquanto a HR média esta a decrescer. Este comportamento é contrário ao identificado nas argamassas, neste caso o teor de humidade é condicionado pelo patamar de HR e não pela HR média do ciclo.

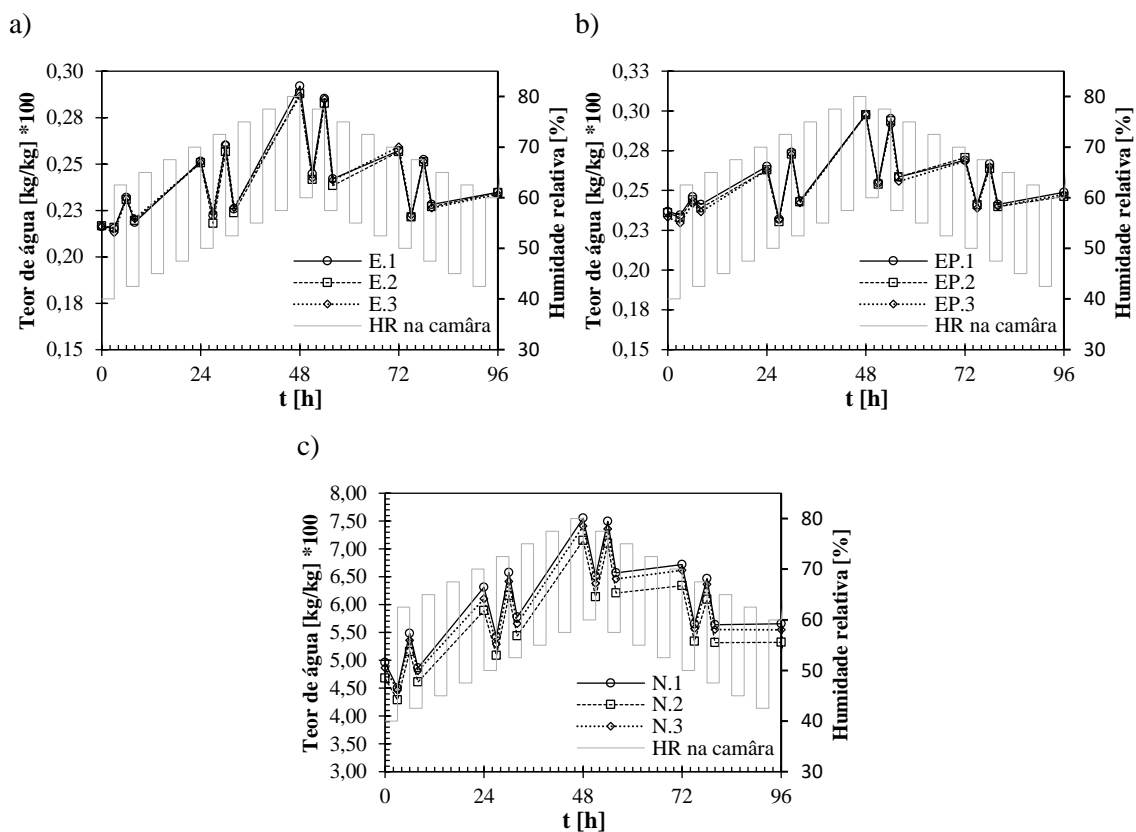


Figura 4.26 - Ensaio dinâmico dos provetes pré-doseados: a) estuque (E), b) estuque com acabamento (EP) e c) reboco de celulose projectada (N)

Em relação aos provetes pré-fabricados (Figura 4.27) há distintos comportamentos em relação ao decréscimo da HR média: no caso dos provetes de gesso cartonado o comportamento é semelhante ao revestimentos pré-doseados; e no caso das placas de celulose e das fibras de madeira a variação do teor de humidade corresponde ao mesmo comportamento das argamassas.

O comportamento dos materiais como gesso cartonado de responderem melhor as variações imediatas de HR foi verificada em todos os ensaios higroscópicos que no caso destes materiais ao fim de pouco horas eram adsorvidos metade do teor máximo para o intervalo. No oposto os materiais que demonstraram maior dificuldade em adsorver vapor de água em relação ao tempo demonstraram uma maior propensão a seguirem a HR relativa média do ensaio.

A característica dos materiais em relação ao tempo de adsorção e teor máximo de adsorção pode ser melhor observada no ensaio tempo de resposta.

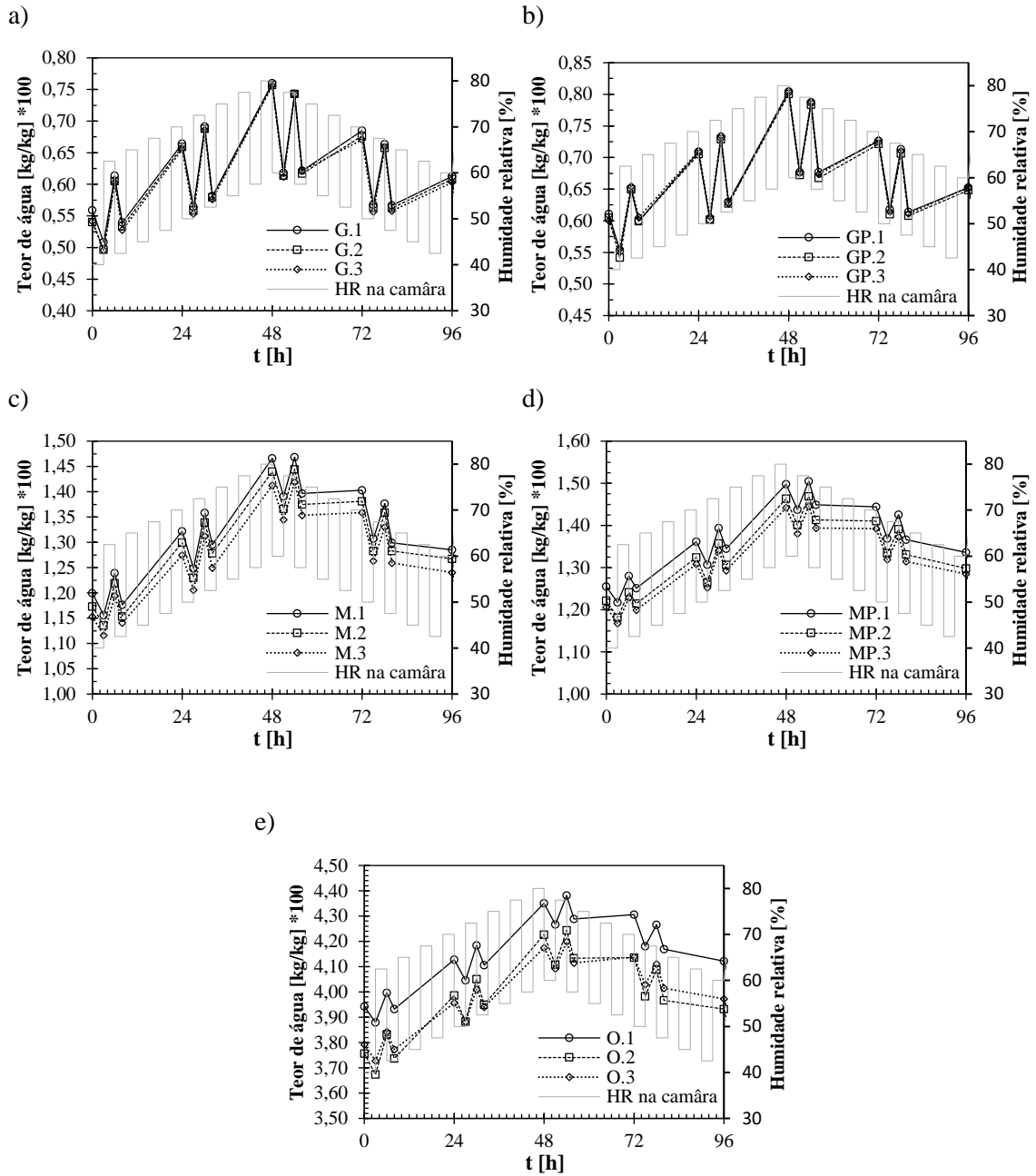


Figura 4.27 - Ensaio dinâmico elementos pré-fabricados: a) gesso cartonado (G), b) gesso cartonado pintado (GP), c) placas de celulose (M), d) placas de celulose pintadas (MP) e e) placas de fibra de madeira e ligante (O)

Na Tabela 4.4 é apresentado os factores calculados e comparação destes resultados com o ensaio MBV.

Pode se verificar mais uma vez que a diferença da capacidade de adsorção e desadsorção representados pelo teor de diferença,  $\rho_{A,s}$ , são muito distintos para cada ensaio.

Em relação o teor de adsorção,  $\rho_{A,a}$ , nota-se os valores dos diferentes ensaios são relativamente próximos. A maior diferença de teor de adsorção ocorre para os materiais mais higroscópicos.

Tabela 4.4 - Comparação ensaio dinâmico e ensaio MBV 50 % - 75 %

Material	Ensaio dinâmico			MBV 50 % - 75 %		
	$\rho_{A,a}$	$\rho_{A,d}$	$\rho_{A,s}$	$\rho_{A,a}$	$\rho_{A,d}$	$\rho_{A,s}$
	[g/m <sup>2</sup> ]					
B	25,20	17,03	8,17	22,90	20,50	2,40
BP	27,57	14,63	12,93	21,47	19,47	2,00
C	26,23	18,80	7,43	23,97	23,23	0,73
CP	24,90	17,53	7,37	23,73	21,60	2,13
NHL	18,47	10,73	7,73	15,60	14,30	1,30
NHLP	19,40	11,40	8,00	17,13	14,33	2,80
S	67,40	49,50	17,90	46,80	47,77	-0,97
E	15,30	11,50	3,80	12,03	11,93	0,10
EP	14,33	11,53	2,80	11,90	11,63	0,27
N	69,00	50,67	18,33	57,11	57,59	-0,48
G	18,93	13,43	5,50	15,50	15,21	0,29
GP	18,14	13,91	4,23	15,22	15,06	0,16
M	38,08	25,22	12,86	29,72	29,31	0,42
MP	35,81	24,11	11,70	27,28	27,15	0,13
O	58,41	33,37	25,04	40,04	40,23	-0,20

Para a melhor comparação dos teores obtidos pelo ensaio dinâmico e o MBV é apresentada na Figura 4.28.

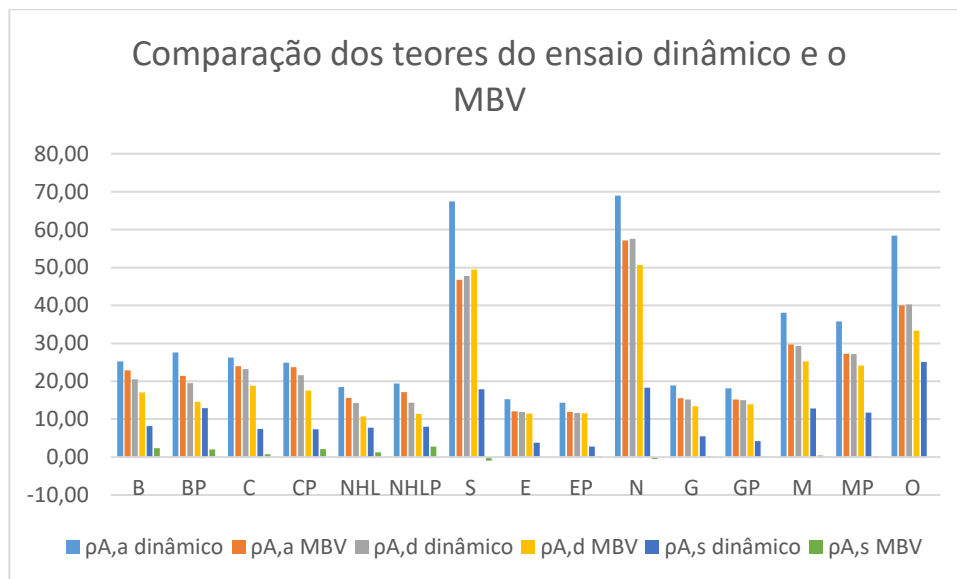


Figura 4.28 - Gráfico de comparação da capacidade obtida para o ensaio dinâmico e o MBV 50 % - 75 %

## 4.5 Ensaio tempo de resposta

Foram utilizados três provetes de cada material para cada ambiente, mas apenas são apresentados os resultados médios de cada material. Graficamente foi analisado apenas o intervalo de humidade relativa 33 % – 75 % pois igual análise gráfica pode se replicar para os outros intervalos. No anexo C é possível verificar o gráfico obtido para cada variante de HR e na Tabela 4.5 são apresentados os resultados obtidos para todas variantes.

Para todas argamassas e para as placas de celulose (M) e painéis de fibras de madeira e ligantes (O) a maior adsorção ocorre durante as primeiras 10 horas do ensaio. Para o estuque projectado (E e EP) e o gesso cartonado (G e GP) na primeira hora de ensaio foi atingido pelo menos metade do teor de humidade de equilíbrio e ao fim de 5 horas estes materiais atingiam o patamar de equilíbrio. Para o revestimento de celulose projectada (N) valores próximos do teor de equilíbrio são obtidos após 24 horas de ensaio, mas deve-se ter em conta que a capacidade de armazenamento deste material é superior aos que atingiram patamar mais cedo.

Em relação os provetes com e sem acabamento verifica-se apenas uma translação do gráfico, pois graficamente apresentam um comportamento semelhante tanto no período de ganho como no de perda de massa.

Na Figura 4.29 está representada graficamente os resultados da variação do teor de humidade em relação ao tempo das argamassas.

Para o caso das argamassas apesar de se atingir o critério de estabilidade verifica-se que para as 96 horas de ensaio os materiais continuam a aumentar o seu teor de humidade, de forma quase constante, com excepção da argamassa S. Sendo assim o ensaio durante a adsorção prolongou-se até 168 horas, mas mesmo assim ainda se verificaram ganhos de massa significativos mais inferiores 0,01% da massa. Segundo Svennberg [64] o período 150 horas seria o suficiente para se atingir o equilíbrio; por questões de tempo e por já ter-se atingido o critério de estabilidade não prolongou por mais tempo o ensaio.

Em relação à desadsorção ao fim das 72 horas verifica-se que a perda de massa é quase nula, ou seja, apesar do efeito de histerese como se verificou nas curvas higroscópicas os materiais atingem o equilíbrio em menos tempo durante a desadsorção comparado com a adsorção.

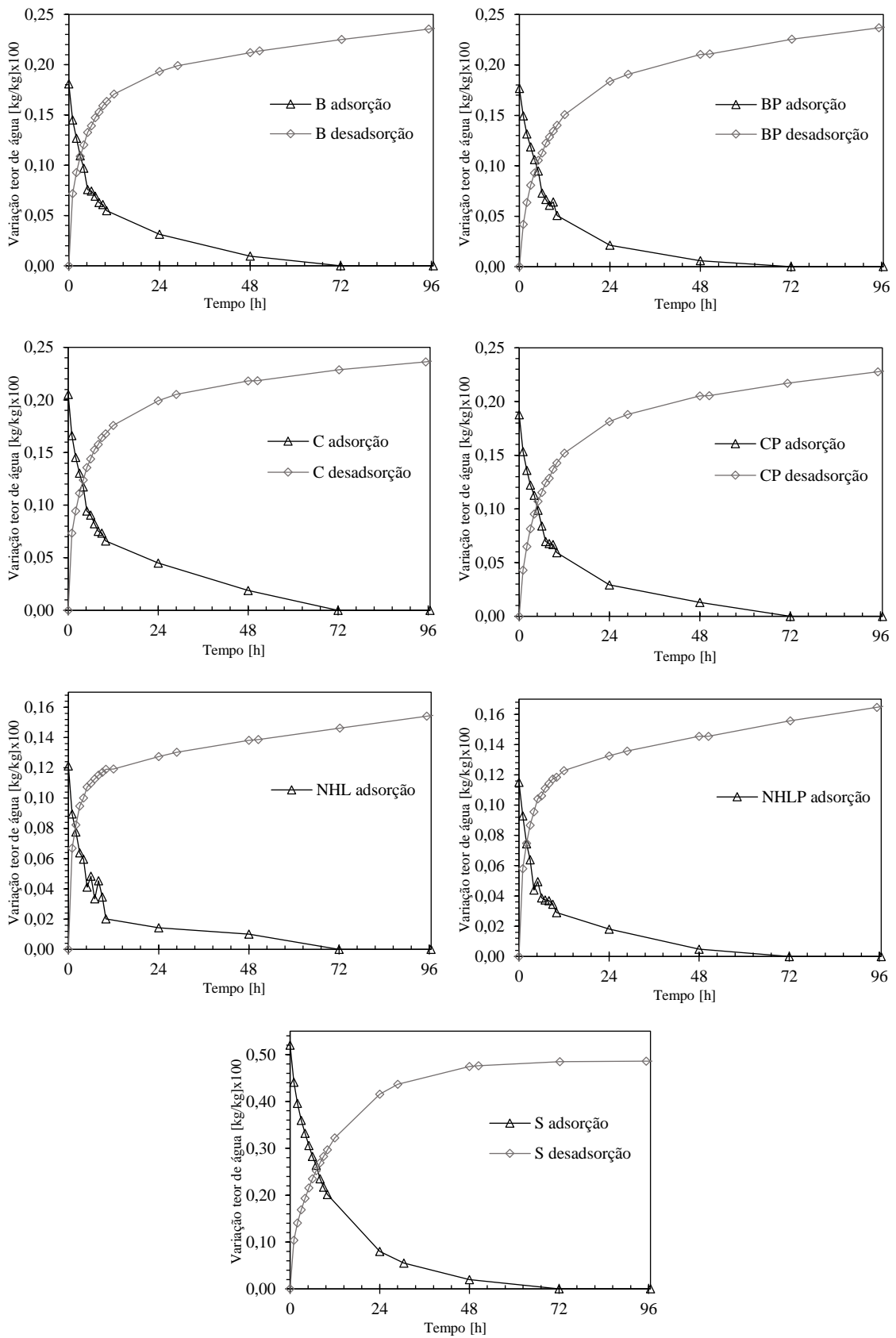


Figura 4.29 - Ensaio tempo de resposta para argamassa com e sem revestimento

Para o caso da adsorção dos produtos pré-doseados (Figura 4.30) os provetes de estuque (E) atingiram valores próximos ao teor de equilíbrio em poucas horas do início do ensaio (4 a 5 horas). Para o caso dos provetes de reboco de celulose (N) ao fim das 24 horas também se verificam valores próximos ao teor de equilíbrio. Na desadsorção nota-se o atraso de ambos produtos para atingirem o equilíbrio, que é obtido após as 72 horas de ensaio.

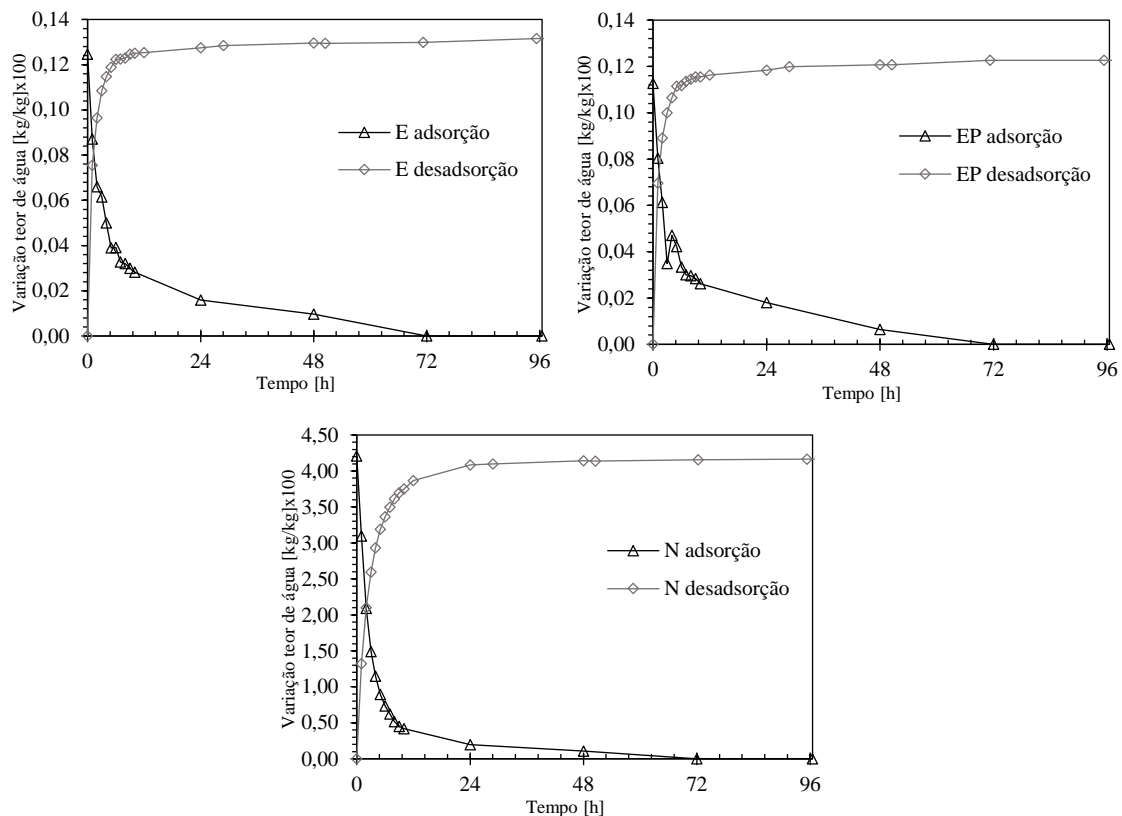


Figura 4.30 - Ensaio tempo de resposta dos produtos pré-doseados

Finalmente para os produtos pré-fabricados cada material apresenta um comportamento distinto ao longo do tempo, Figura 4.31, 4.32, 4.33.

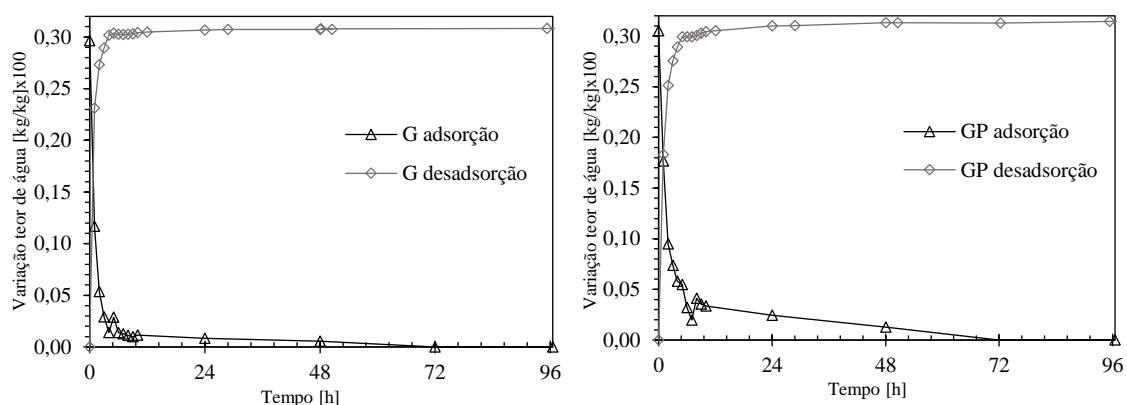


Figura 4.31 - Ensaio tempo de resposta provetes de gesso cartonado sem revestimento (GP) e com acabamento (GP)

No caso dos provetes de gesso cartonado nota-se um comportamento similar aos provetes de estuque (E), em que ao fim de 4 horas de ensaio o teor água está muito próximo de teor de equilíbrio. No caso da desadsorção os provetes com acabamento tiveram uma resposta lenta para atingir o equilíbrio em relação os provetes sem revestimento.

As curvas do tempo de resposta para placas de celulose (M) (Figura 4.32) apresentaram um comportamento quase semelhante durante adsorção e desadsorção, com o patamar de equilíbrio a ser atingido ao fim das 48 horas.

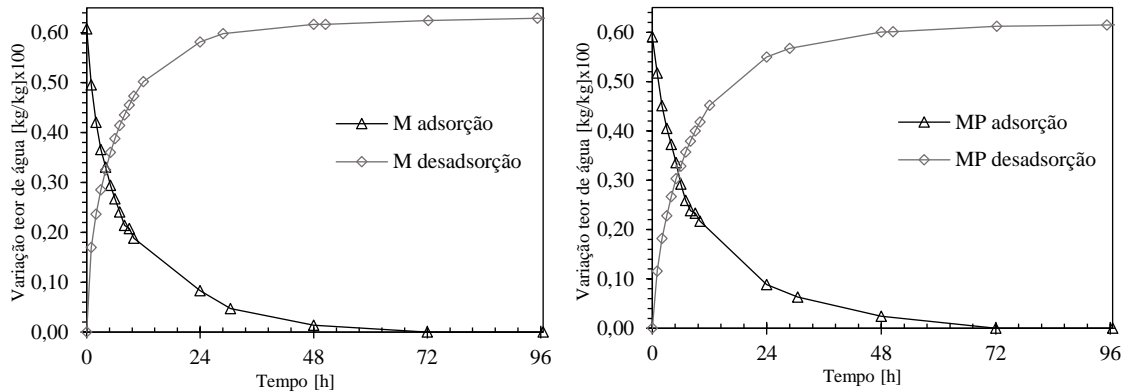


Figura 4.32 - Ensaio tempo de resposta placas de celulose sem revestimento (M) e com acabamento (MP)

Para as curvas das placas de fibras de madeira e ligante (O) (Figura 4.33) verifica-se que durante a adsorção o material não atinge patamar e continua aumentar o teor de humidade lentamente; para o caso da desadsorção ao fim de 72 horas é obtido patamar.

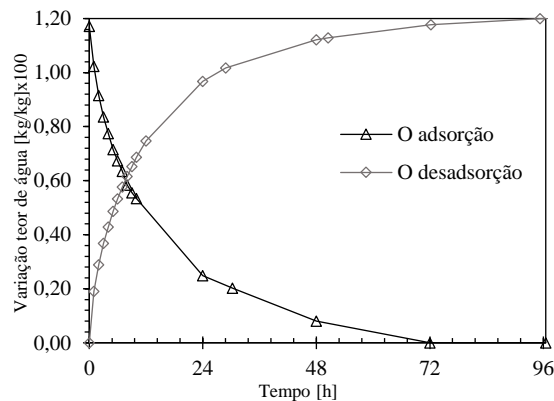


Figura 4.33 - Ensaio tempo de resposta placas de fibras de madeira e ligante (O)

Numa análise geral da adsorção é possível de forma simplificada dividir os materiais nas seguintes categorias: os de resposta rápida que atingem o equilíbrio ao fim de 24 horas de ensaio como os provetes de estuque, gesso cartonado e celulose projectada; os de resposta moderada é obtida a estabilidade ao fim de 48 horas como os provetes de terra e placas de celulose; e os de resposta lenta que mesmo ao fim das 96 horas verifica se uma tendência para aumentar o teor de humidade. Nestas diferenças do tempo de resposta dos materiais deve-se ter em conta a porosidade aberta

dos materiais e a porometria. Os materiais com a poros mais finos como no caso das argamassas bastardas e de cimento a adsorção foi consideravelmente mais lenta em relação aos materiais de porosidade mais grossa como estuque e gesso cartonado.

Na Tabela 4.5 encontra-se a variação do teor de humidade para os intervalos de humidade relativa adoptados do ensaio tempo de resposta.

Tabela 4.5 - Variação do teor de água no ensaio tempo de resposta

Material	Processo	$\Delta$ teor de humidade [kg/kg]x100		
		33 - 75	50 - 75	60 - 75
B	adsorção	0,2682	0,1287	0,0882
	desadsorção	0,1808	0,0903	0,0434
BP	adsorção	0,2663	0,1379	0,1094
	desadsorção	0,1766	0,0971	0,0470
C	adsorção	0,2636	0,1169	0,0870
	desadsorção	0,2053	0,0983	0,0543
CP	adsorção	0,2546	0,1286	0,0949
	desadsorção	0,1878	0,1032	0,0509
NHL	adsorção	0,1775	0,0740	0,0619
	desadsorção	0,1211	0,0570	0,0212
NHLP	adsorção	0,1916	0,0901	0,0696
	desadsorção	0,1151	0,0575	0,0203
S	adsorção	0,4858	0,2940	0,1857
	desadsorção	0,5202	0,3105	0,1873
E	adsorção	0,1324	0,0572	0,0399
	desadsorção	0,1247	0,0599	0,0331
EP	adsorção	0,1228	0,0496	0,0361
	desadsorção	0,1127	0,0523	0,0304
N	adsorção	4,1626	2,7126	1,6702
	desadsorção	4,2069	2,7929	1,7254
G	adsorção	0,3082	0,1712	0,0998
	desadsorção	0,2967	0,1672	0,0904
GP	adsorção	0,3143	0,1718	0,1035
	desadsorção	0,3053	0,1715	0,0949
M	adsorção	0,6294	0,3356	0,1868
	desadsorção	0,6082	0,3412	0,1870
MP	adsorção	0,6149	0,3320	0,1907
	desadsorção	0,5904	0,3335	0,1841
O	adsorção	1,1999	0,6088	0,3524
	desadsorção	1,1715	0,6190	0,3476

## 4.6 Síntese do capítulo

A porosidade e a porometria do material tem grande influência para o efeito da inércia higroscópica, a quantidade dos poros e a morfologia destes ditará o teor de humidade nos diferentes ambientes. Analisando a porometria e os ensaios higroscópicos permitiu concluir que a estrutura porosa dita o teor de humidade nos materiais. Como se verificou devido a distribuição dos poros com maiores e menores dimensões os materiais pré-fabricados com uma porosidade aberta quase semelhante obtiveram diferentes resultados da capacidade de adsorção.

Em concordância com os resultados das curvas higroscópicas os materiais com maior adsorção apresentavam também maiores valores de MBV. Mas para o caso da capacidade MBV o fenómeno de desadsorção também é tido em conta. Evidencia-se no caso das placas de celulose (M) com maior adsorção no ensaio nas curvas higroscópica e menor MBV em relação às argamassas de terra (S). Tendo em conta o fenómeno de histerese o material com menor histerese (maior facilidade para desadsorção) obteve melhor MBV.

A característica MBV demonstrou ser uniforme para as diferentes variantes estudadas, os materiais com melhores resultados para todas as variantes foram os provetes de celulose projectada (N), placas de fibras de madeira e ligante (O) e argamassas de terra argilosa (S), com piores soluções a nível MBV foram as argamassas de cal hidráulica natural (NHL e NHLP), estuque projectado (E e EP) e placas de gesso cartonado (G e GP).

A capacidade MBV é uma média entre a capacidade de adsorção e desadsorção do material mas o factor tempo não é contabilizado para a caracterização do material. A inércia térmica destes materiais apenas baseia-se na maior ou menor capacidade MBV, ou seja, a capacidade da maior adsorção do material num ciclo diário.

O ensaio ISO permitiu de igual forma caracterizar o material em relação à capacidade de adsorção e desadsorção como o ensaio MBV, mas para uma variação de HR alta e baixa de igual duração. Os resultados obtidos afirmam os resultados do MBV quanto às melhores e piores soluções em relação à capacidade de armazenamento de humidade.

Com o ensaio dinâmico foi possível verificar que apesar das oscilações de HR serem de curta duração todos os materiais variam o teor de humidade com as transições de HR. Em relação à variação média de HR, os materiais tiveram um comportamento diferente em comparação com o ensaio MBV, o teor de humidade adsorvido foi diferente do desadsorvido. A inércia do material é controlada pela duração do ciclo e pelas diferentes cargas de humidade ocorridas durante o ciclo.

A introdução do factor tempo permite distinguir os materiais com resposta rápida, moderada e lenta, que nos ensaios MBV e ISO era apenas possível distinguir duas destas categorias. Em

relação a inércia destes materiais é possível associar que a resposta lenta favorece ciclos de maior duração. Em relação os materiais de resposta rápida a aplicação destes terá apenas influência na variação de HR relativa diária. Ambos os casos a inércia higroscópica do ambiente são maximizados dependendo da utilização do material de revestimento.

A relação da inércia higroscópica dos revestimentos e o contributo desta para a inércia higroscópica dos edifícios é extremamente complicada, pois existem diversos factores a se ter em conta, como: a possibilidade de condensações, a envidraçados, a produção de vapor, mobiliários e têxteis, ventilação entre outros. Existem algumas equações como Svennberg [65] e Ramos [8] que permitem realizar uma estimativa do balanço da humidade relativa no ambiente interior e a caracterização da inércia higroscópica diária. Ambos os modelos demonstram a importância da inércia higroscópica dos materiais de revestimento para o controlo da humidade relativa interior.



## 5 Análise da cinética da adsorção e desadsorção dos materiais: modelos numéricos

### 5.1 Modelos numéricos para análise das curvas higroscópicas

#### *Enquadramento*

A obtenção de curvas teóricas permite complementar os resultados obtidos no ensaio das curvas higroscópicas, definindo a capacidade higroscópica específica,  $\xi_u$ , através da derivação destas curvas.

Através de aproximações numérica é possível definir uma função que traduz o comportamento dos materiais, podendo assim ser expresso o teor de humidade através da seguinte fórmula estudada por Hansen [7]:

$$u = u_h \cdot \left(1 - \frac{\ln \phi}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (5.1)$$

em que  $u_h$  representa o teor de humidade crítico,  $A_1$  a relação entre este valor e o teor de humidade não evaporável e  $n$  é um expoente definido empiricamente. Estes parâmetros são obtidos pelo ajuste numérico correspondendo a valores empíricos sem significado físico.

Com esta parametrização das curvas higroscópicas é possível a determinar da capacidade higroscópica específica dos materiais,  $\xi_u$ , que é obtida pela derivada da equação 5.2 em relação à humidade relativa, obtendo a seguinte expressão:

$$\xi_u = \frac{\partial u}{\partial \phi} = \frac{u_h \cdot \left(1 - \frac{\ln \phi}{A_1}\right)^{\frac{1}{n}-1}}{A_1 \cdot \phi \cdot n} \quad (5.2)$$

em que  $u_h$ ,  $A_1$  e  $n$  são constantes do material.

Esta característica representa a quantidade de humidade que o material liberta por unidade de massa tendo um significado semelhante ao calor específico [1].

### Resultados

A aplicação do programa DataFit 9 da Oakdale Engineering permite realizar regressão lineares e não linear. Utilizando os dados definidos experimentalmente das curvas higroscópicas e realizando a regressão para equação 5.1 foram obtidos os parâmetros da curva teórica para todos os materiais, Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Parâmetros de ajuste as curvas higroscópicas

Material	Processo	Parâmetros			Material	Processo	Parâmetros		
		$u_{cr}$	$A_1$	$n$			$u_{cr}$	$A_1$	$n$
B	adsorção	1,2911	0,0816	1,9072	EP	adsorção	0,6520	0,0796	1,4332
	desadsorção	0,9443	32,3213	0,0840		desadsorção	0,6197	0,0415	2,4715
BP	adsorção	1,1187	0,6194	0,4842	N	adsorção	1,7448	0,2084	0,9960
	desadsorção	0,9172	48,7107	0,0741		desadsorção	1,6543	0,2743	0,9306
C	adsorção	1,5058	0,0727	2,2569	G	adsorção	1,9884	0,0813	1,4210
	desadsorção	1,1374	44,0211	0,0771		desadsorção	1,4904	0,1805	2,0065
CP	adsorção	1,4633	0,1066	1,8748	GP	adsorção	4,1774	0,0105	1,8450
	desadsorção	1,1400	40,2047	0,0907		desadsorção	1,7735	0,0724	2,5629
NHL	adsorção	0,9392	0,0792	1,4722	M	adsorção	2,5052	0,4700	0,8918
	desadsorção	-	-	-		desadsorção	2,3168	1,1672	0,6571
NHLP	adsorção	0,8655	0,1521	1,0729	MP	adsorção	2,5845	0,3313	1,0842
	desadsorção	-	-	-		desadsorção	2,3424	1,0568	0,7129
S	adsorção	1,5914	0,4897	0,8853	O	adsorção	0,6640	0,4566	1,1313
	desadsorção	1,5057	1,1121	0,5618		desadsorção	0,6086	12,6102	0,1251
E	adsorção	0,9670	0,0395	1,4362					
	desadsorção	1,9781	0,0017	2,6100					

Como se verifica nas Figura 5.1, 5.2 e 5.3 os ajustes as equações conduzem a uma aproximação tendo coeficiente de correlação médio de 0,998.

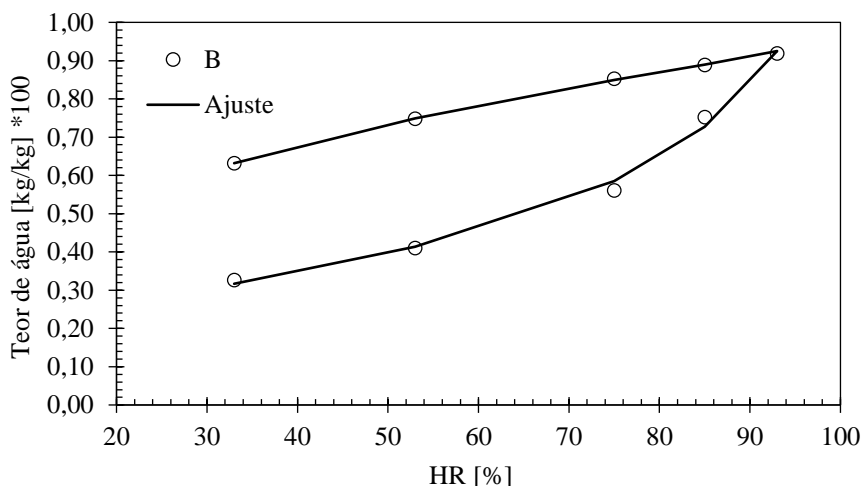


Figura 5.1 - Ajuste a curva higroscópica argamassa bastarda (B)

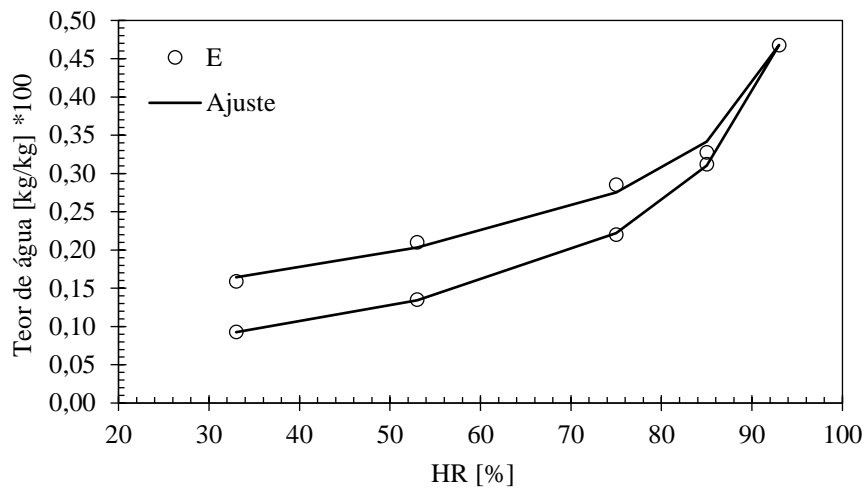


Figura 5.2 - Ajuste a curva higroscópica estuque projectado (E)

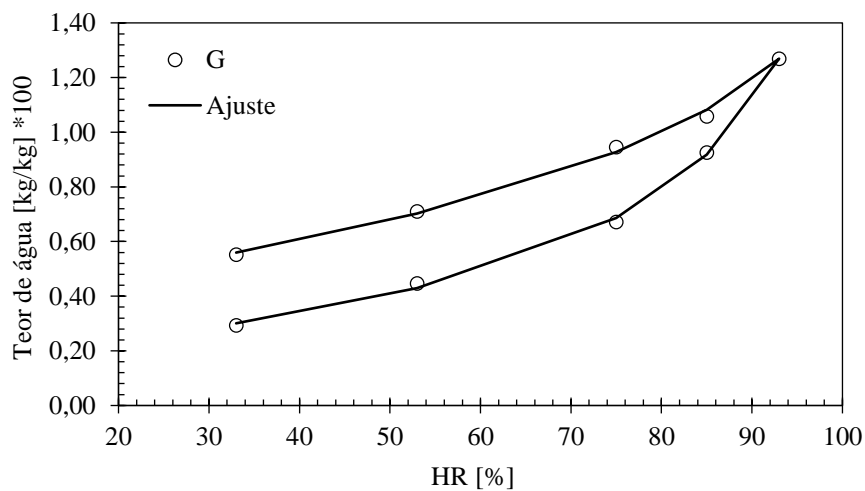


Figura 5.3 - Ajuste a curva higroscópica gesso cartonado (G)

Após a determinação das curvas teóricas foi então efectuada a derivação das mesmas obtendo-se a capacidade higroscópica específica dos materiais.

Graficamente pode ser representada a variação da capacidade higroscópica específica em relação a humidade relativa como apresentado na Figura 5.4 e Figura 5.5.

Analisando apenas o intervalo de HR de 53 % - 75 % os materiais que apresentam maiores valores de capacidade higroscópica específica coincidem com os ensaios higroscópicos.

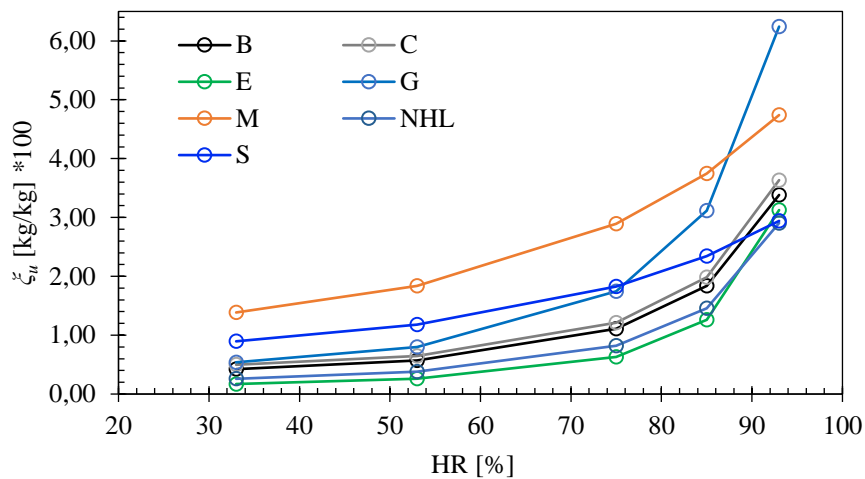


Figura 5.4 - Curvas da capacidade higroscópica específica argamassa bastarda (B), argamassa cimentícia (C), estuque (E), gesso cartonado (G), placas de celulose (M), argamassa de cal hidráulica natural (NHL) e argamassa de terra (S)

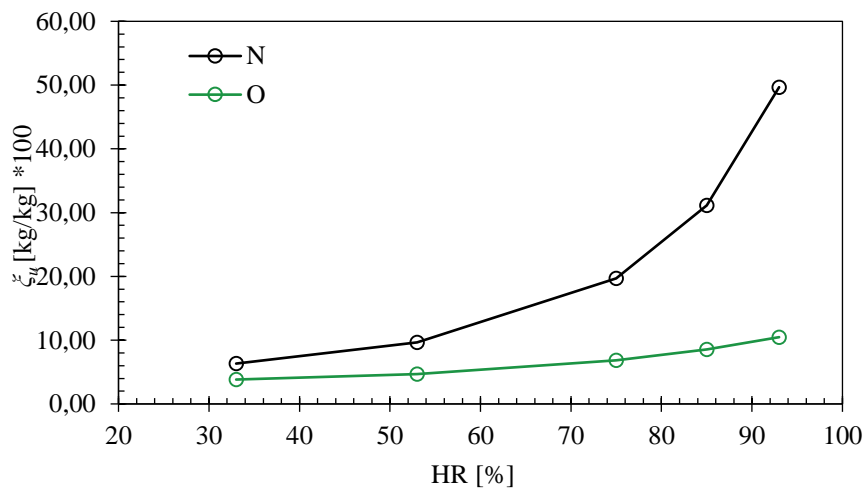


Figura 5.5 - Curvas da capacidade higroscópica específica celulose projectada (N) e placas de fibras de madeira e ligante (O)

## 5.2 Modelos numéricos para análise das curvas do tempo de resposta

### Enquadramento

A adsorção e a desadsorção são processos dependentes do tempo como se pode verificar nos ensaios realizados. É necessário conhecer não apenas o teor de equilíbrio para cada ambiente, mas

também é importante conhecer a taxa de adsorção/desadsorção dos materiais, ou seja, o equilíbrio e a cinética durante o processo de transferência de massa.

Várias aproximações foram propostas no ramo da química com o intuito de descreverem o processo de adsorção dos materiais. Lagergren em 1898 propõe a equação de pseudo-primeira-ordem [44]:

$$\frac{\delta w}{\delta t} = K_1(w_{eq} - w) \quad (5.3)$$

podendo esta equação ser reescrita na forma logarítmica:

$$\log(w_{eq} - w) = \log(w_{eq}) - \frac{K_1 t}{2,303} \quad (5.4)$$

Segundo a estudos realizados [44][66][67] foi constatado que a equação de primeira ordem não confere boas aproximações para todos os materiais, sendo que muitas vezes se distancia dos valores experimentais com o aumento de tempo de ensaio. Assim sendo, esta equação apenas se adequa a alguns materiais e geralmente não descreve o processo de adsorção dos materiais de construção.

Ho e McKay [67][44] é sugerem o modelo de pseudo-segunda-ordem com o objectivo de melhor descrever o processo molecular da adsorção. O modelo tem como base o as equações de primeira ordem e pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$\frac{\delta w}{\delta t} = K_2(w_{eq} - w)^2 \quad (5.5)$$

Integrando a equação 5.5, com as condições de fronteira  $t = 0$  até  $t = t$  e  $w = 0$  até  $w = w$ , a equação assume a seguinte forma para a adsorção:

$$\frac{1}{w_{eq} - w} = \frac{1}{w_{eq}} + K_2 \cdot t \quad (5.6)$$

e a desadsorção, com condições de fronteira  $t = 0$  até  $t = t$  e  $w = w_i$  até  $w = w$ , é descrita pela equação 5.7:

$$\frac{1}{w_{eq} - w} = \frac{1}{w_{eq} - w_i} + D_2 \cdot t \quad (5.7)$$

Onde  $K_2$  e  $D_2$  são constantes de pseudo-segunda-ordem de adsorção de desadsorção respectivamente. A equação 5.6 pode ser reescrita como uma equação linear:

$$\frac{t}{w} = a \cdot t + b \quad (5.8)$$

onde  $a = 1 / w_{eq}$  e  $b = 1 / K_2 \cdot w_{eq}$ . Gráficamente o valor “a” representa a inclinação da recta dada pela tangente do grau  $\theta$  e “b” representa a ordenada de abscissa nula, como demonstra a Figura 5.6.

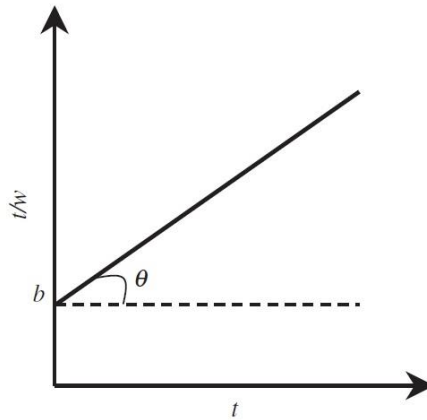


Figura 5.6 - Função linear  $f(t) = t/w$

Para alguns casos estas equações não são válidas, recorrendo-se assim a adaptação para a seguinte equação:

$$\frac{\delta w}{\delta t} = K_n (w_{eq} - w)^n \quad (5.9)$$

e na forma integrada:

$$\frac{1}{(n-1)(w_{eq} - w)^{n-1}} = \frac{1}{(n-1)w_{eq}^{n-1}} + K_n \cdot t \quad \text{válida para } n > 1 \quad (5.10)$$

Para além de se obter o comportamento dos materiais na adsorção e desadsorção é possível também estimar a taxa de adsorção inicial,  $h$ , e também o tempo decorrido para se atingir 50 % do teor de equilíbrio,  $t_{50}$ , dados pelas equações:

$$h = \left( \frac{\delta w}{\delta t} \right)_{t=0} = K_n w_{eq}^n \quad (5.11)$$

$$t_{0,5} = \frac{2^{n-1} - 1}{(n-1)K_n w_{eq}^{n-1}} \quad \text{válida para } n > 1 \quad (5.12)$$

Outros modelos têm sido utilizados. Um dos mais simples correntemente utilizado é modelo de Langmuir para adsorção e desadsorção isotérmicas, apesar da sua simplicidade enquadra uma vasta gama de materiais. A equação proposta pelo autor pode ser escrita de várias formas sendo a mais usual é a equação 5.13 [68]:

$$w = \frac{w_{eq} \cdot t}{1 + w_{eq} \cdot t} \quad (5.13)$$

O modelo é válido para as seguintes condições:

- A superfície de adsorção é plana, sem rugosidade;
- A superfície é homogênea, em que todos os pontos são equivalentes;
- Só é possível a acumulação de apenas uma monocamada.

Outras variantes do modelo de Langmuir foram propostos para ultrapassar as condições ideais de ensaio, como o modelo de Freundlich para superfícies rugosas ou Temkin que considera a temperatura condicionante para as trocas de massa. Também existem modelos como o de Redlich-Peterson e Koble-Corrigan que combinam os modelos de Langmuir e Freundlich.

O rearranjo da equação de Langmuir e a introdução de outros coeficientes permitem uma melhor aproximação dos resultados. Assim sendo, é proposta por Hill [69] uma equação que introduz dois novos coeficientes:

$$w = w_{eq} \frac{t^n}{H + t^n} \quad (5.14)$$

em que os coeficientes  $n$  e  $H$  são constantes de Hill, com  $n$  representar a maior facilidade de adsorção dos materiais.

Esta equação pode dizer-se equivalente à equação de Langmuir pois segue basicamente os mesmos princípios físicos do processo de difusão do vapor nos elementos sólidos, no entanto permite melhores resultados [70][71][72].

Foram escolhidas as equações de pseudo-segunda-ordem e Hill para realizar os ajustes pois através da bibliografia e da aplicação a alguns dados, permitiram melhores aproximações.

Para além das duas equações foi obtida através do programa DataFit 9 da Oakdale Engineering uma terceira equação que depende de três parâmetros tal como o modelo de Hill. Esta terceira equação denomina-se de assintótica, pois os seus valores tendem para o teor de equilíbrio à medida que o tempo avança, sendo este o comportamento esperado para os materiais ensaiados. A equação obtida tem a seguinte forma:

$$w = w_{eq} + a \frac{\ln(t)}{t} + \frac{b}{t^2} \quad (5.15)$$

em que  $a$  e  $b$  são constantes da função e sem qualquer relação as características do material.

## Resultados

São apenas apresentados os gráficos referentes aos materiais sem acabamento superficial para a variação de humidade relativa 33 % – 75 %, porque essa análise é igualmente válida para diferentes HR. Para todos os modelos o coeficiente de correlação foi do mínimo 0,99.

Como se pode verificar para o caso das argamassas Figura 5.7 – 5.10 as curvas de pseudo-segunda-ordem nas primeiras 24 horas apresentam um comportamento próximo aos dados experimentais, mas a medida que tempo do ensaio aumenta existe um maior distanciamento dos dados experimentais.

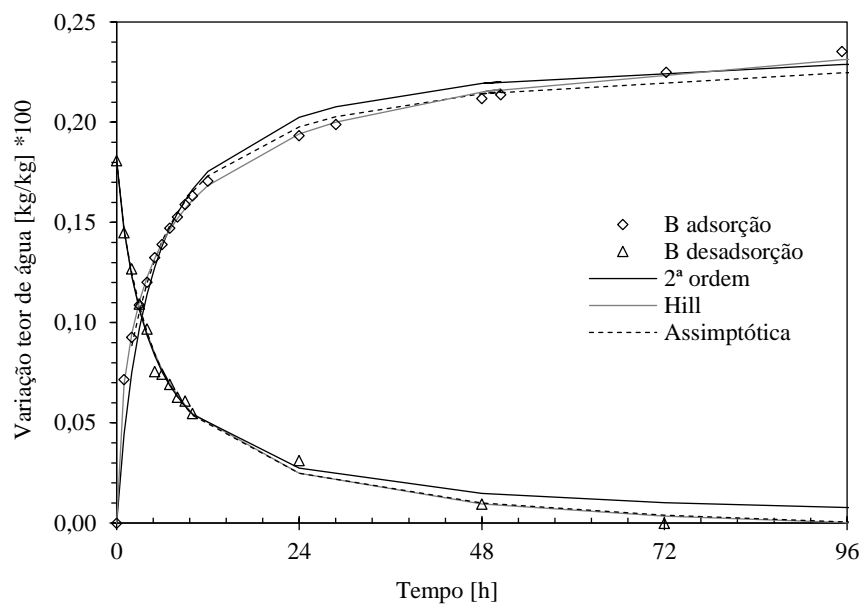


Figura 5.7 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa bastarda (B)

Em relação à curva assintótica graficamente assemelham-se aos dados experimentais, sendo que no caso da adsorção apenas se nota que a curva assume valores ligeiramente maiores que os dados reais.

A curva Hill apresenta um desenvolvimento próximo dos resultados experimentais. Na maioria dos casos a aproximação passa por quase todos pontos mais próximos e para os pontos mais distantes este modelo faz uma interpolação entre pontos.

Tendo em conta a análise gráfica, Hill apresentou o melhor modelo para o caso das argamassas, tanto para o processo de adsorção como o de desadsorção. No entanto a função de Hill em alguns casos apresenta ainda uma tendência crescente do teor de humidade enquanto o modelo de segunda-ordem e assintótico apresentaram valores mais constantes no troço final.

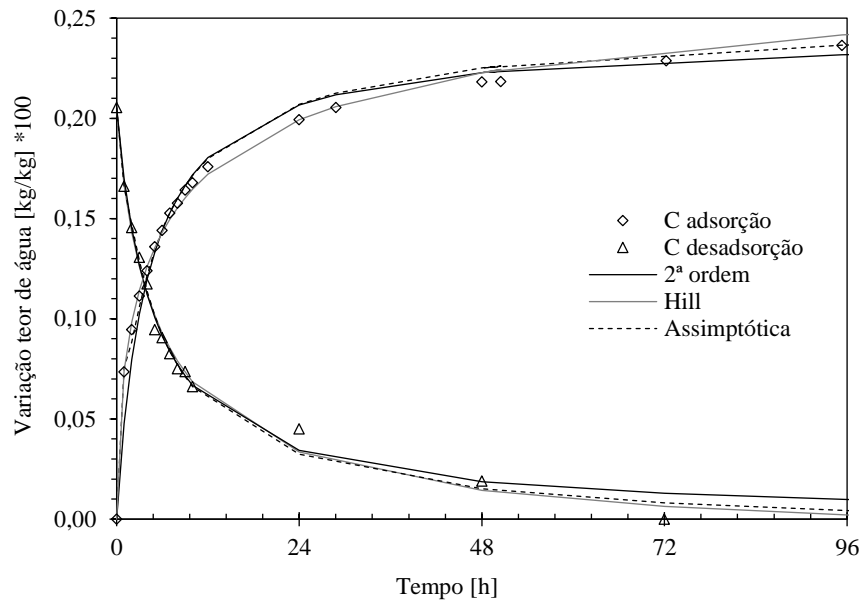


Figura 5.8 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa cimentícia (C)

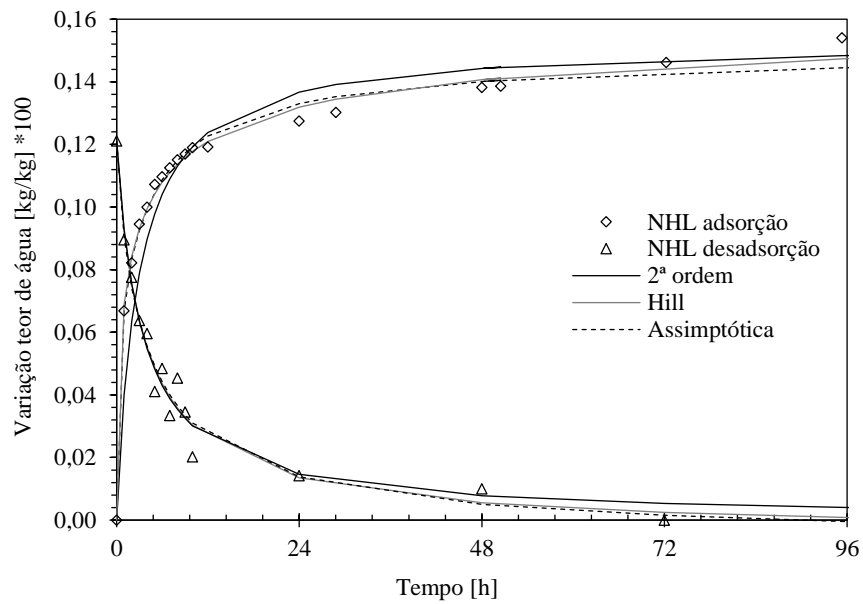


Figura 5.9 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa cal hidráulica natural (NHL)

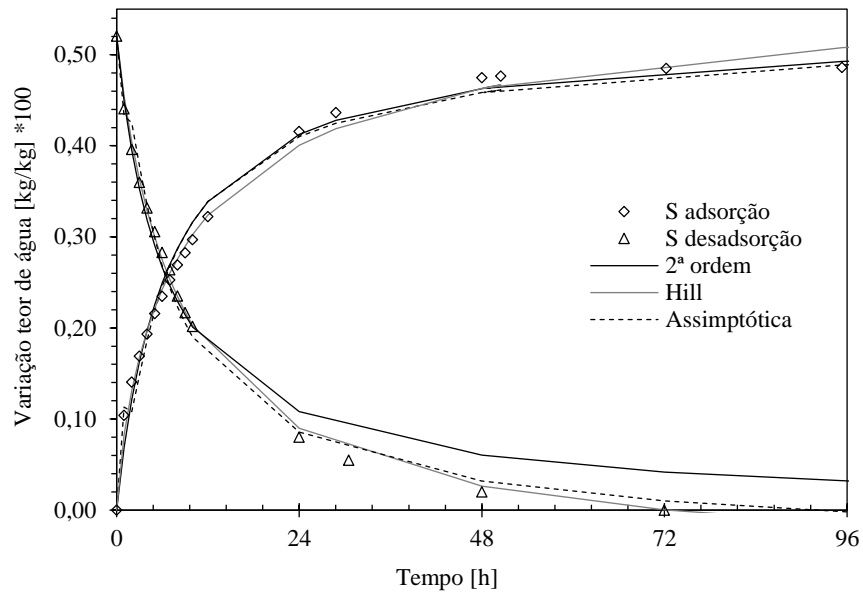


Figura 5.10 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - argamassa de terra (S)

Para o estuque (E) todos os modelos conseguiram com realizar boas aproximações como se pode ver na Figura 5.11. E para a celulose projectada (N) (Figura 5.12), a equação de Hill e de segunda-ordem conseguem descrever a adsorção do material enquanto a equação assimptótica distancia-se dos pontos. Na desadsorção dos provetes N apenas Hill consegue descrever este processo, enquanto as outras equações encontram-se distantes dos valores experimentais.

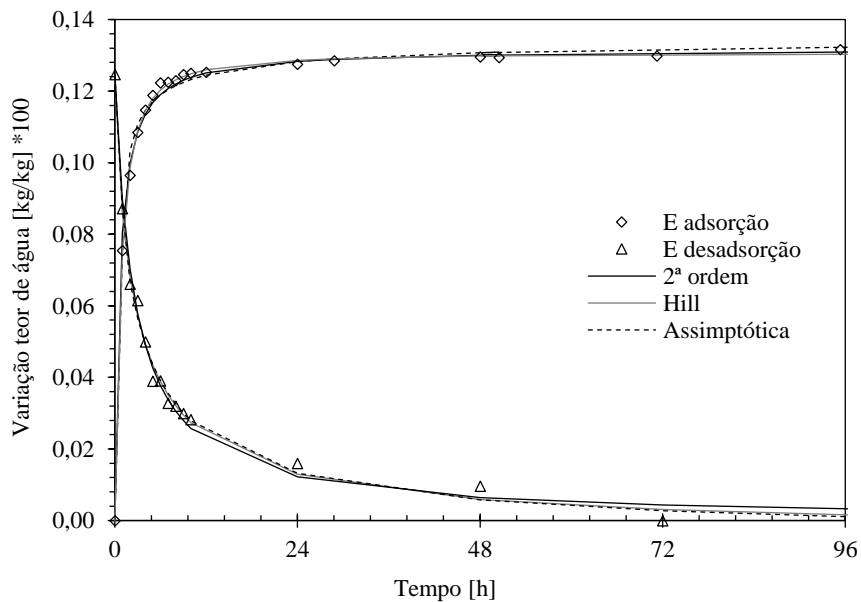


Figura 5.11- Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - estuque (E)

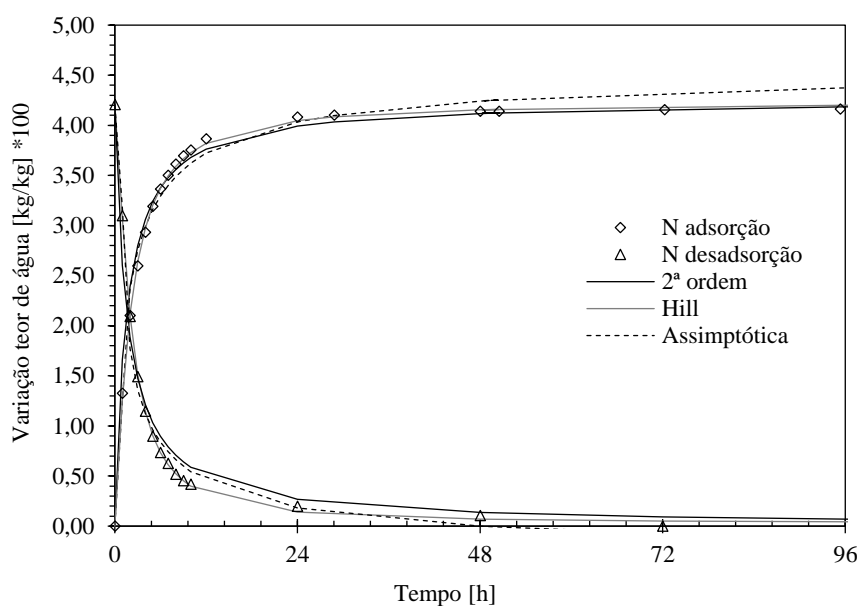


Figura 5.12- Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - reboco projectado de celulose (N)

Para os produtos pré-fabricados, Figura 5.13 – 5.15 todos os modelos apresentam uma boa aproximação, mostrando apenas ligeiros afastamentos de certos pontos. No caso da desadsorção o modelo de pseudo-segunda-ordem afasta-se bastante dos dados experimentais, podendo aplicar-se apenas durante as primeiras horas do ensaio. O modelo assimptótico na desadsorção apresenta bons resultados com excepção dos provetes de fibras de madeira e ligante (O).

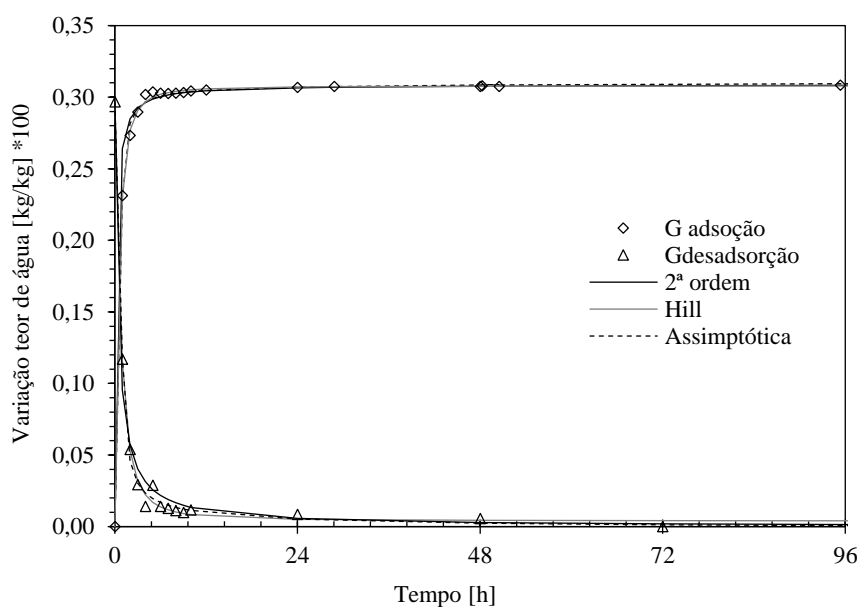


Figura 5.13 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - gesso cartonado (G)

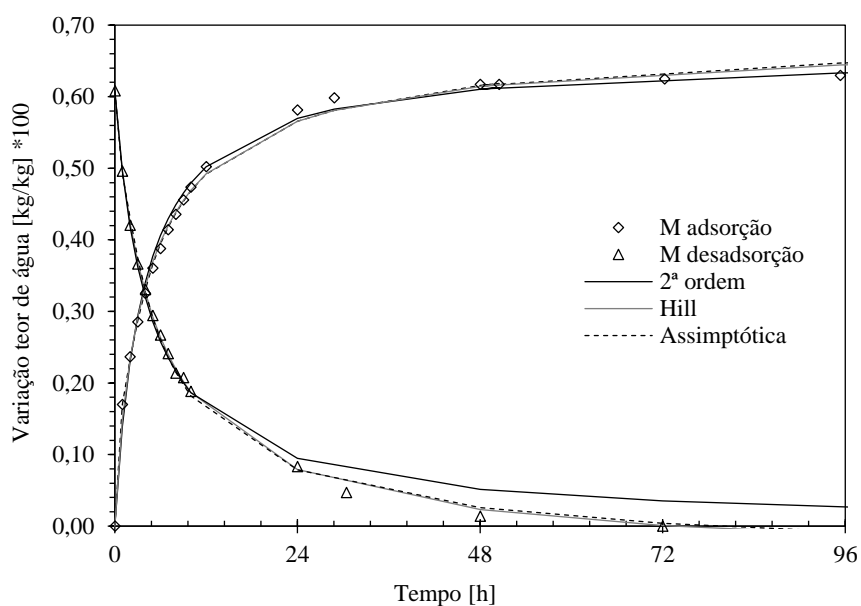


Figura 5.14 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - placas de celulose (M)

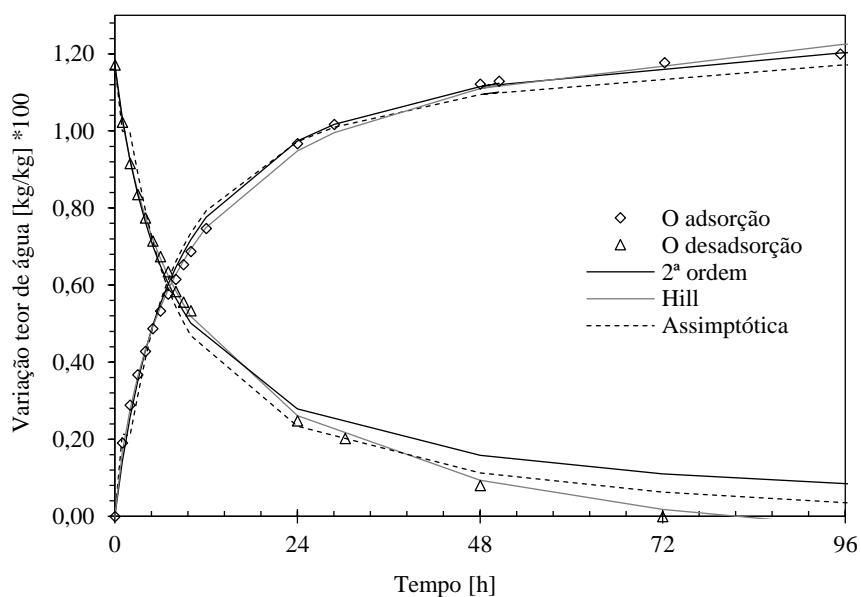


Figura 5.15 - Ajustes para as curvas de tempo de resposta 33 % - 75 % - fibras de madeira e ligante (O)

Verificou-se que na adsorção o modelo de pseudo-segunda-ordem consegue ajustar-se aos materiais pré-doseados e pré-fabricados, no caso das argamassas este modelo distancia-se dos dados experimentais. Para o caso da desadsorção este modelo apresentou os ajustes mais distantes aos dados reais.

Apesar da simplicidade da equação de segunda ordem, e como referido, ela não consegue ajustar-se a todos elementos. Para estes casos é recomendado a utilização de equações com graus superiores para se conseguirem melhores aproximações [73].

O modelo assintótico proposto demonstrou para todos materiais estudados um bom ajuste com valores ligeiramente inferior ou superior dos dados experimentais. Os maiores desvios foram obtidos para os casos dos materiais com maior variação do teor de humidade durante a desadsorção.

Como já mencionado, o melhor modelo adoptado tanto para casos de adsorção como para a desadsorção foi o modelo de Hill. Este modelo conseguiu descrever com elevada precisão a taxa de adsorção e desadsorção de todos os elementos estudados. No entanto, este modelo estima valores do teor de equilíbrio mais altos do que os obtidos, o que se traduz num afastamento do real teor de equilíbrio quando o tempo ultrapassa as 96 horas. Pode verificar-se na Figura 5.16 o crescente aumento dos valores de Hill com o aumento do tempo.

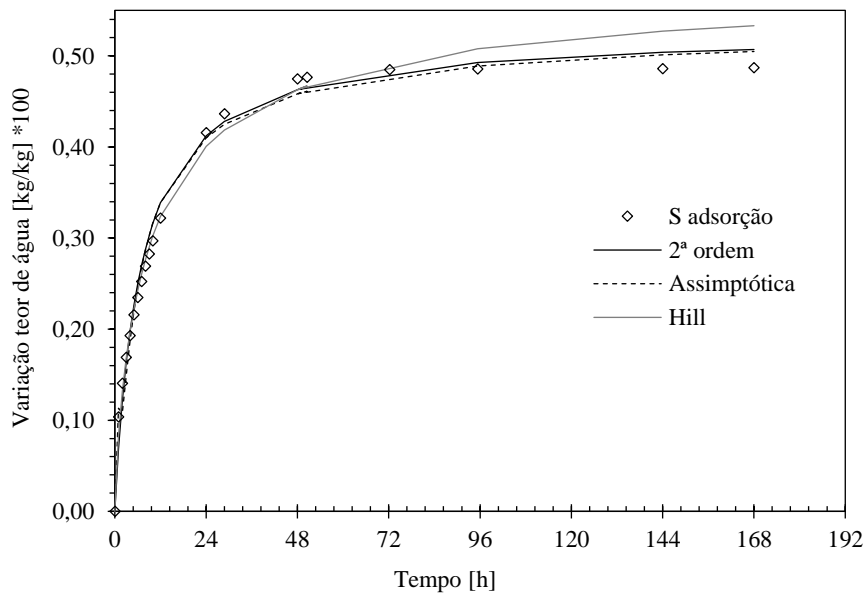


Figura 5.16 - Resultados experimentais e parametrização das curvas de tempo de resposta 50 % - 75 % para argamassa de terra (S)

Na Tabela 5.2, Tabela 5.3 e Tabela 5.4 são apresentados os parâmetros obtidos a partir do programa de ajuste.

Tabela 5.2 - Parâmetros obtidos pela aproximação as curvas para intervalo de HR 33 % - 75 %

Material	Processo	Parâmetros adsorção e desadsorção 33 % - 75 %							
		2ª ordem		Hill			Assimptótica		
		Weq	K2	Weq	H	n	Weq	a	b
B	adsorção	0,2393	0,9554	0,2679	2,8474	0,6334	0,2398	-0,3162	-0,1667
	desadsorção	0,0000	1,2919	1,1922	4,4509	0,9301	-0,0130	0,2832	0,1584
BP	adsorção	0,2482	0,5615	0,2746	5,4985	0,7554	0,2422	-0,4038	-0,1969
	desadsorção	0,0000	1,1682	0,1840	7,2698	1,1714	-0,0195	0,3167	0,1693
C	adsorção	0,2417	0,0165	0,2924	2,9450	0,5794	0,2532	-0,3474	-0,1776
	desadsorção	0,0000	1,0124	0,2199	4,6674	0,8854	-0,0114	0,3290	0,1773
CP	adsorção	0,2374	0,6623	0,2544	4,9499	0,7909	0,2350	-0,3755	-0,1900
	desadsorção	0,0000	1,0836	0,1987	5,7830	1,0128	-0,0162	0,3244	0,1694
NHL	adsorção	0,1527	2,3328	0,1645	1,3859	0,5430	0,1509	-0,1336	-0,0841
	desadsorção	0,0000	2,5024	0,1259	3,3330	0,9372	-0,0084	0,1688	0,0988
NHLP	adsorção	0,1640	1,6723	0,1800	2,0032	0,5803	0,1621	-0,1772	-0,1038
	desadsorção	0,0000	2,5270	0,1188	3,6365	0,9785	-0,0070	0,1549	0,1004
S	adsorção	0,5271	0,2841	0,5830	6,0407	0,8134	0,5330	-0,9231	-0,4199
	desadsorção	0,0000	0,3051	0,5835	7,9082	0,9756	-0,0507	1,0239	0,4835
E	adsorção	0,1318	11,8418	0,1307	0,7535	1,2074	0,1345	-0,0464	-0,0606
	desadsorção	0,0000	3,0874	0,1288	2,3287	0,8581	-0,0057	0,1415	0,0931
EP	adsorção	0,1234	11,2960	0,1222	1,1615	0,7737	0,1258	-0,0470	-0,0580
	desadsorção	0,0000	3,5610	0,1176	2,0715	0,7889	-0,0029	0,1159	0,0829
N	adsorção	4,2517	0,1509	4,2353	2,3543	1,2369	4,5609	-3,9353	-3,3143
	desadsorção	0,0000	0,1464	4,1792	2,6796	1,4385	-0,2791	3,4235	3,4603
G	adsorção	0,3088	19,1630	0,3079	0,3371	1,5808	0,3105	-0,0250	-0,0812
	desadsorção	0,0000	7,1073	0,2927	0,6175	1,6055	-0,0018	0,0514	0,1200
GP	adsorção	0,3276	7,6552	0,3246	0,6607	1,5087	0,3314	-0,0665	-0,1388
	desadsorção	0,0000	2,5622	0,3053	1,2030	1,1558	0,0004	0,1675	0,1890
M	adsorção	0,6580	0,4077	0,6832	3,5950	0,8965	0,6924	-0,9500	-0,5224
	desadsorção	0,0000	0,3715	0,6611	4,9752	0,9420	-0,0560	1,0103	0,5488
MP	adsorção	0,6573	0,2797	0,6740	5,6411	0,9677	0,6800	-1,0874	-0,5594
	desadsorção	0,0000	0,2939	0,6314	7,9089	1,0768	-0,0579	1,1138	0,5708
O	adsorção	1,3051	0,0937	1,4034	7,4256	0,8616	1,2820	-2,3259	-1,0677
	desadsorção	0,0000	0,1141	1,3803	8,4265	0,8788	-0,0749	2,3142	1,0743

Tabela 5.3 - Parâmetros obtidos pela aproximação as curvas para intervalo de HR 50 % - 75 %

		Parâmetros adsorção e desadsorção 50 % - 75 %							
Material	Processo	2ª ordem		Hill			Assimptótica		
		Weq	K2	Weq	H	n	Weq	a	b
B	adsorção	0,1333	1,7964	0,1545	3,0775	0,6260	0,1345	-0,1811	-0,0941
	desadsorção	0,0000	5,2646	0,0921	2,5831	1,0973	-0,0069	0,0975	0,0707
BP	adsorção	0,1462	1,1570	0,1915	4,8069	0,5896	0,1427	-0,2218	-0,1072
	desadsorção	0,0000	3,3633	0,1010	3,6920	1,0439	-0,0086	0,1332	0,0837
C	adsorção	0,1223	1,8287	0,1340	3,5060	0,7330	0,1242	-0,1748	-0,0922
	desadsorção	0,0000	4,4837	0,0991	2,9104	1,1562	-0,0071	0,1093	0,0785
CP	adsorção	0,1362	1,3907	0,1609	4,1715	0,6612	0,1356	-0,2038	-0,1020
	desadsorção	0,0000	3,1731	0,1053	3,3459	1,0191	-0,0066	0,1334	0,0855
NHL	adsorção	0,0753	3,9408	0,0845	2,2354	0,5984	0,0752	-0,0855	-0,0496
	desadsorção	0,0000	18,4379	0,0571	1,4033	1,3881	-0,0024	0,0300	0,0357
NHLP	adsorção	0,0920	2,9431	0,1065	2,5004	0,5768	0,0916	-0,1101	-0,0613
	desadsorção	0,0000	12,6912	0,0569	1,9916	1,3651	-0,0025	0,0391	0,0412
S	adsorção	0,3235	0,4537	0,3732	6,0537	0,7640	0,3213	-0,5498	-0,2517
	desadsorção	0,0000	0,5566	0,3469	6,4467	0,9163	-0,0276	0,5796	0,2797
E	adsorção	0,0578	22,8570	0,0579	1,1135	1,2348	0,0608	-0,0307	-0,0336
	desadsorção	0,0000	28,1584	0,0594	0,8832	1,6418	-0,0007	0,0129	0,0298
EP	adsorção	0,0502	27,8223	0,0505	1,2766	1,3263	0,0533	-0,0275	-0,0311
	desadsorção	0,0000	31,6092	0,0513	0,8148	1,5231	-0,0006	0,0130	0,0249
N	adsorção	2,8003	0,1953	2,7996	2,3572	1,1485	2,9740	-2,7199	-2,1401
	desadsorção	0,0000	0,1982	2,7880	2,6818	1,3151	-0,1728	2,4775	2,2672
G	adsorção	0,1723	22,2639	0,1721	0,3483	1,1927	0,1751	-0,0314	-0,0482
	desadsorção	0,0000	15,7177	0,1649	0,4176	1,3579	-0,0004	0,0274	0,0527
GP	adsorção	0,1722	10,4782	0,1697	0,7278	1,3744	0,1757	-0,0520	-0,0788
	desadsorção	0,0000	11,9547	0,1698	0,7504	1,8531	-0,0014	0,0242	0,0772
M	adsorção	0,3564	0,7303	0,3758	3,5694	0,8593	0,3756	-0,5214	-0,2828
	desadsorção	0,0000	0,7236	0,3642	4,3673	0,9416	-0,0285	0,5363	0,2959
MP	adsorção	0,3597	0,4974	0,3777	5,2901	0,8947	0,3680	-0,5862	-0,2980
	desadsorção	0,0000	0,6055	0,3557	5,9861	1,0140	-0,0295	0,5777	0,3084
O	adsorção	0,6678	0,2134	0,7651	6,1541	0,7678	0,6570	-1,1220	-0,5282
	desadsorção	0,0000	0,2497	0,7024	6,7644	0,8717	-0,0430	1,1631	0,5568

Tabela 5.4 - Parâmetros obtidos pela aproximação as curvas para intervalo de HR 60% - 75 %

		Parâmetros adsorção e desadsorção 60 % - 75 %							
Material	Processo	2ª ordem		Hill			Assimptótica		
		Weq	K2	Weq	H	n	Weq	a	b
B	adsorção	0,0908	1,7348	0,1070	4,4914	0,6361	0,0881	-0,1372	-0,0684
	desadsorção	0,0000	7,3072	0,0503	4,6674	1,3337	0,0007	0,0515	0,0375
BP	adsorção	0,1130	1,1093	0,1642	6,3675	0,5403	0,1063	-0,1800	-0,0835
	desadsorção	0,0000	10,2191	0,0482	3,3414	1,2909	-0,0053	0,0552	0,0392
C	adsorção	0,0893	1,9346	0,1032	4,0471	0,6420	0,0874	-0,1314	-0,0666
	desadsorção	0,0000	9,4908	0,0556	2,8276	1,2196	-0,0058	0,0616	0,0422
CP	adsorção	0,0979	1,4107	0,1171	5,3367	0,6516	0,0941	-0,1554	-0,0750
	desadsorção	0,0000	8,6968	0,0529	3,2312	1,1665	-0,0059	0,0641	0,0422
NHL	adsorção	0,0612	2,6433	0,1012	4,8849	0,4155	0,0575	-0,0821	-0,0422
	desadsorção	0,0000	24,6313	0,0340	2,1011	1,4286	-0,0027	0,0243	0,0241
NHLP	adsorção	0,0694	2,1875	0,1120	5,1576	0,4381	0,0649	-0,0955	-0,0491
	desadsorção	0,0000	15,2660	0,0347	2,6413	1,2814	-0,0020	0,0326	0,0268
S	adsorção	0,2011	0,6845	0,2148	6,7694	0,8696	0,2011	-0,3540	-0,1654
	desadsorção	0,0000	0,9994	0,2015	6,8732	1,0428	-0,0198	0,3485	0,1721
E	adsorção	0,0396	19,8032	0,0396	1,7956	1,3870	0,0419	-0,0253	-0,0281
	desadsorção	0,0000	51,4935	0,0336	0,8250	1,3153	-0,0013	0,0113	0,0157
EP	adsorção	0,0364	28,3767	0,0359	1,2438	1,2718	0,0375	-0,0188	-0,0219
	desadsorção	0,0000	48,6420	0,0306	1,0303	1,5125	-0,0011	0,0097	0,0168
N	adsorção	1,7238	0,2563	1,7041	3,2796	1,2565	1,8339	-1,8677	-1,4646
	desadsorção	0,0000	0,3114	1,7065	2,5297	1,2802	-0,0968	1,5587	1,3588
G	adsorção	0,1005	22,6690	0,0982	0,6496	1,3922	0,1021	-0,0240	-0,0419
	desadsorção	0,0000	29,2020	0,0902	0,4043	1,1278	-0,0013	0,0195	0,0282
GP	adsorção	0,1045	9,1763	0,1009	1,2552	1,4158	0,1055	-0,0452	-0,0639
	desadsorção	0,0000	18,5680	0,0917	0,7418	1,8507	0,0011	0,0148	0,0419
M	adsorção	0,1964	1,2776	0,1986	4,1772	0,9948	0,2059	-0,2862	-0,1643
	desadsorção	0,0000	1,2891	0,1974	4,3273	0,9412	-0,0143	0,2943	0,1580
MP	adsorção	0,2046	0,8440	0,2051	6,5975	1,0588	0,2117	-0,3440	-0,1810
	desadsorção	0,0000	1,0908	0,1973	5,6556	0,9760	-0,0150	0,3136	0,1687
O	adsorção	0,3783	0,3714	0,4037	6,2903	0,8470	0,3757	-0,6463	-0,3103
	desadsorção	0,0000	0,4771	0,3849	6,3046	0,8962	-0,0233	0,6309	0,3092

#### *Aplicação dos modelos numéricos a curvas já definidas*

Tendo estabelecido os parâmetros dos modelos de ajuste à curva do tempo de resposta é possível realizar estimativas do teor de humidade em qualquer fracção de tempo desde que o intervalo de HR seja próximo dos estudados. Como exemplo foi apresentada a aplicação das equações de Hill e assimptótica para os ensaios do ciclo único da ISO 24353. A comparação dos dados pode ser feita para ensaio da ISO pois as condições de pré-condicionamento e intervalo de humidade relativa são muito próximas aos adoptados para as curvas do tempo de resposta, conduzindo assim condições ideais para aplicação das equações com os parâmetros obtidos.

Para a maioria dos casos a diferença entre a variação do teor de humidade das curvas experimentais e as aproximações é inferior a centésima.

A comparação da desadsorção é baseada apenas no valor obtido no final do ciclo, em que se considera que o andamento das curvas na perda de massa se assemelhe com as aproximações

A aplicação dos modelos com os parâmetros estabelecidos do ensaio tempo de resposta para as argamassas comuns (Figura 5.17, 5.18 e 5.19) conduziram a um sobrestimação da variação do teor de humidade. As equações obtidas para estes materiais demonstram ser pouco adequadas, possivelmente pelo facto de o teor de equilíbrio estar muito longe ao teor de humidade obtido experimentalmente.

Para a argamassa de terra (S) (Figura 5.20) os modelos definidos representam boas aproximações e no caso do modelo de Hill este apresenta aproximações inferiores aos dados experimentais enquanto o modelo assintótico os valores são superiores aos dados experimentais.

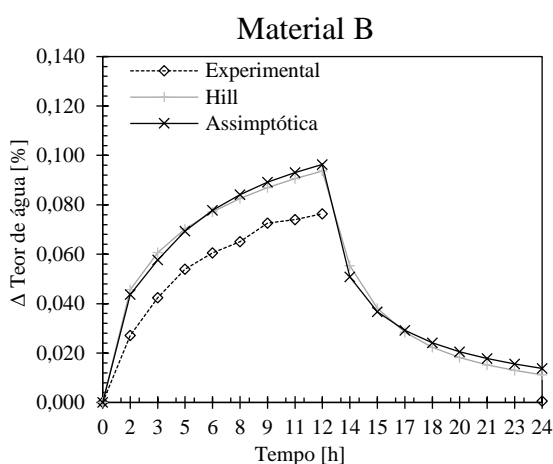


Figura 5.17 - Aplicação dos modelos a argamassa bastarda sem acabamento (B)

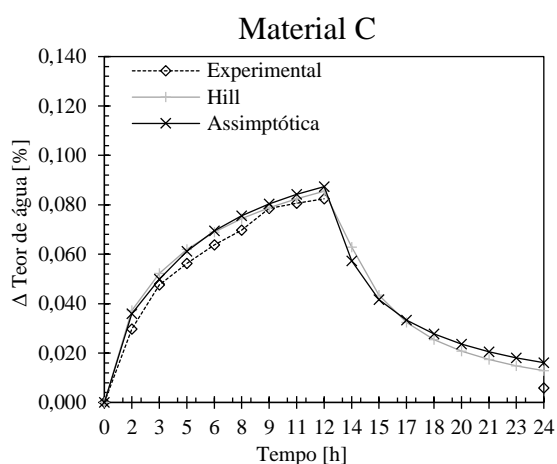


Figura 5.18 - Aplicação dos modelos a argamassa cimentícia sem acabamento (C)

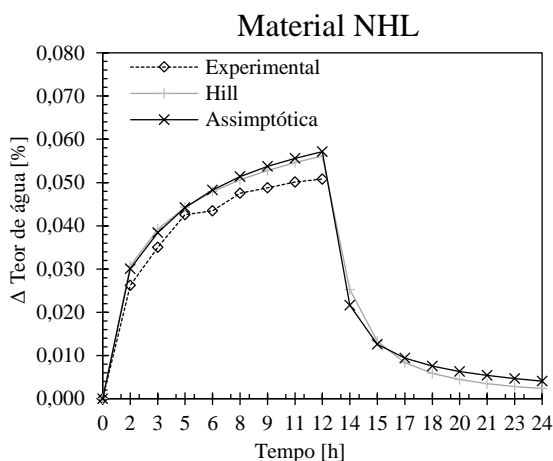


Figura 5.19 - Aplicação dos modelos a argamassa de cal hidráulica natural sem acabamento (NHL)

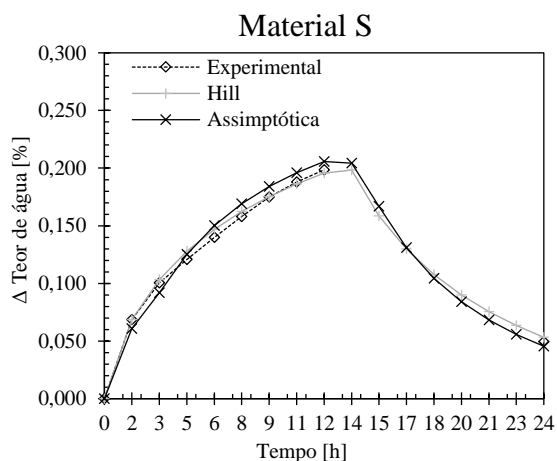


Figura 5.20 - Aplicação dos modelos a argamassa de terra (S)

Para os restantes materiais verifica-se que os modelos escolhidos conseguem descrever o comportamento dos materiais com alguma precisão.

Nos casos dos materiais pré-doseados (Figura 5.21, 5.22 e 5.31) as curvas de Hill e assintótica conseguiram descrever quase todos os pontos da curva experimental tanto para adsorção como para a desadsorção.

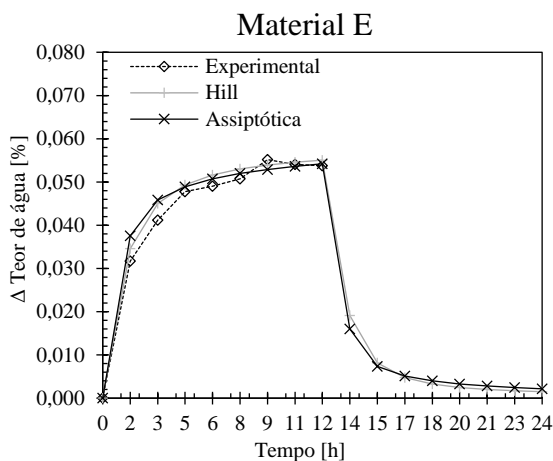


Figura 5.21 - Aplicação dos modelos ao estuque sem acabamento (E)

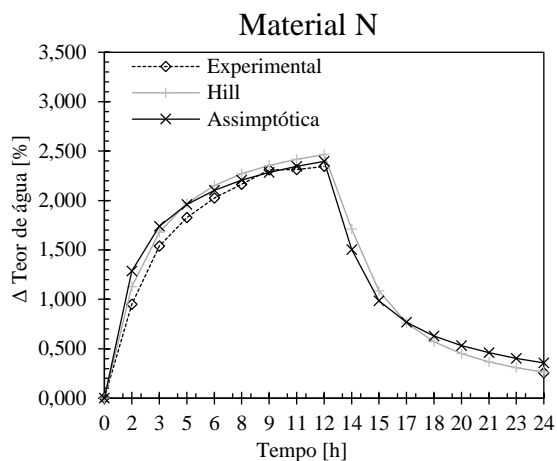


Figura 5.22 - Aplicação dos modelos ao reboco de celulose projectado (N)

Para os produtos pré-fabricados o comportamento dos materiais G e GP (Figura 5.23 e Figura 5.25) são bem descritos pelos modelos de Hill e assintótica. No caso dos materiais M (Figura 5.24), MP (Figura 5.26) e O (Figura 5.27) os modelos utilizados apresentaram valores de variação do teor de humidade ligeiramente superiores aos dados experimentais.

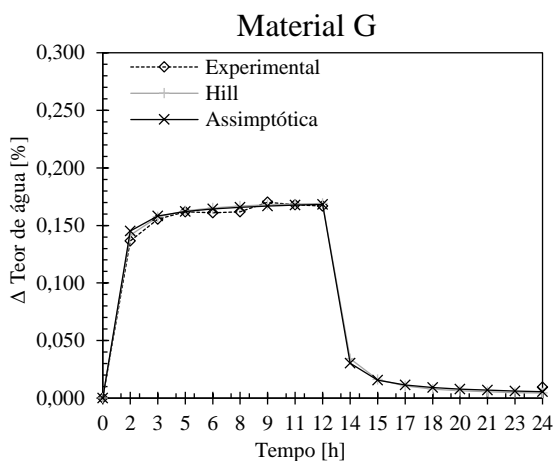


Figura 5.23 - Aplicação dos modelos as placas gesso cartonado sem acabamento (G)

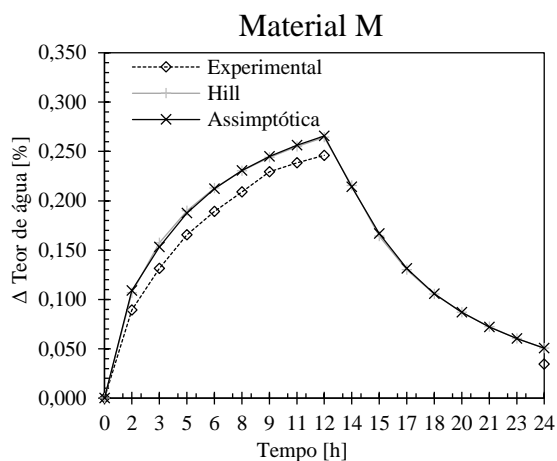


Figura 5.24 - Aplicação dos modelos as placas de celulose sem acabamento (M)

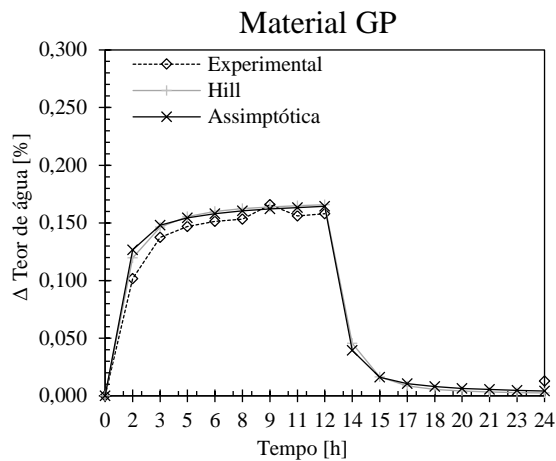


Figura 5.25 - Aplicação dos modelos as placas gesso cartonado com acabamento (GP)

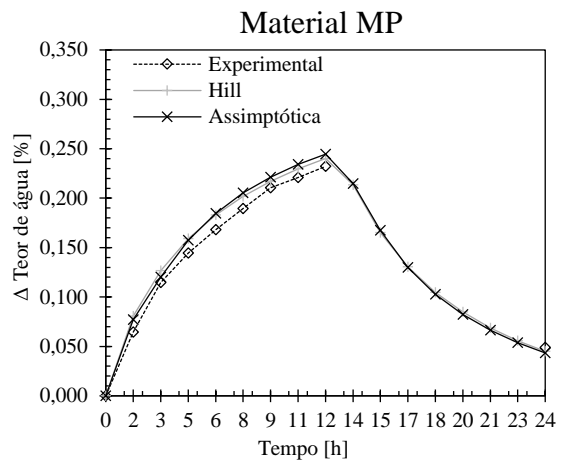


Figura 5.26 - Aplicação dos modelos a placas de celulose com acabamento (MP)

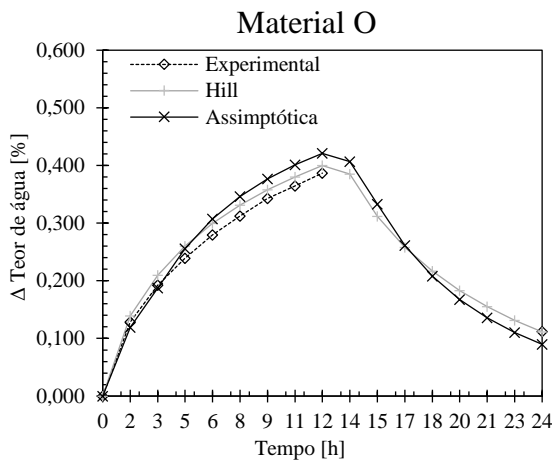


Figura 5.27 - Aplicação dos modelos as fibras de madeira e ligante (O)

Para os casos de argamassas com acabamento (Figura 5.28, 5.29 e 5.30) nota-se uma maior dispersão das aproximações aos dados experimentais em relação às argamassas não acabadas.

No entanto para o caso estuque projectado com acabamento (EP) verifica-se que as aproximações conseguem descrever com sucesso o comportamento do material.

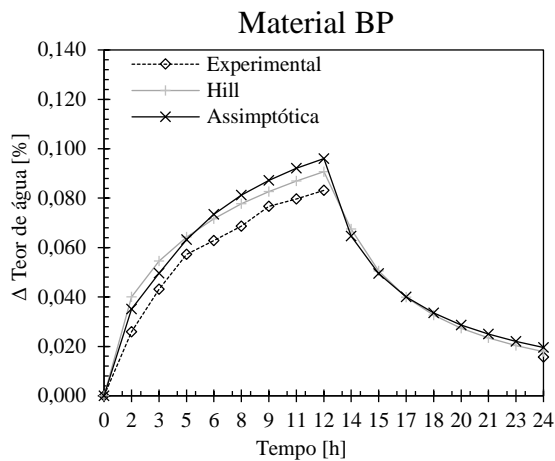


Figura 5.28 - Aplicação dos modelos a argamassa bastarda com acabamento (BP)

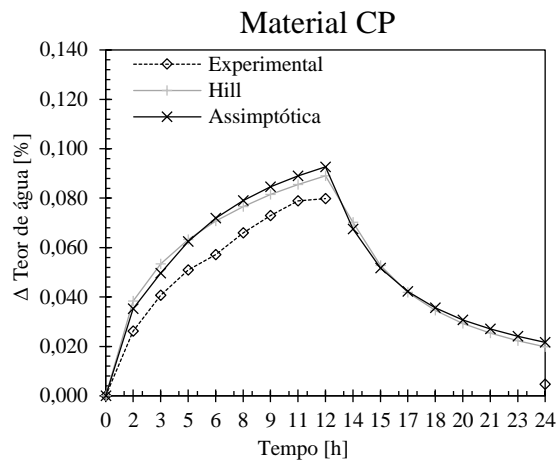


Figura 5.29 - Aplicação dos modelos a argamassa cimentícia com acabamento (CP)

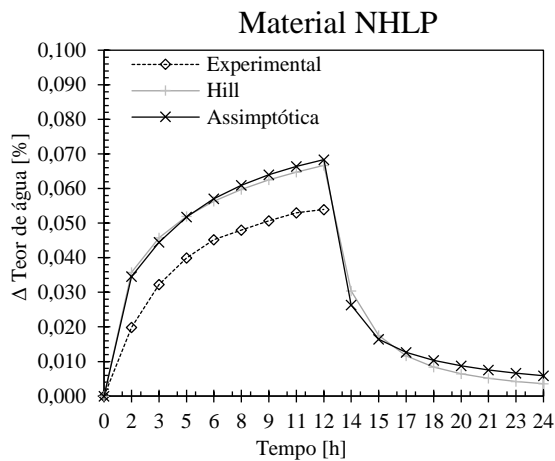


Figura 5.30 - Aplicação dos modelos a argamassa de cal hidráulica natural com acabamento (NHLP)

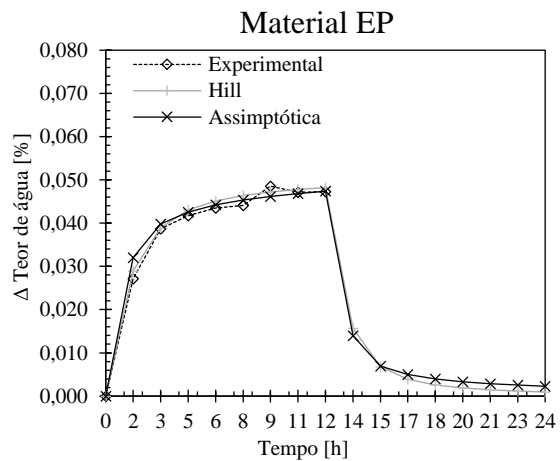


Figura 5.31 - Aplicação dos modelos ao estuque com acabamento (EP)

Com exceção do grupo das argamassas comuns os modelos de Hill e assimptótica permitiram realizar uma boa extrapolação do teor de humidade nos materiais. Comprovou-se que a utilização do ensaio tempo de resposta para descrever modelos de ajuste é um bom método.

A aplicação dos modelos numéricos permite realizar extrapolações para diferentes tipos de ciclos diários, mas também a ciclos de longa duração.

## 6 Conclusão

### 6.1 Conclusões finais

A humidade relativa no interior dos edifícios é influenciada por vários factores, nomeadamente o clima, a ventilação, a produção de vapor relacionada com a ocupação humana ou as trocas com a envolvente. A capacidade higroscópica dos materiais de revestimento pode assumir um papel importante no controlo da humidade relativa interior dada a sua capacidade de adsorver vapor quando o ambiente está mais húmido e libertá-lo quando o ambiente está mais seco.

A investigação nesta área tem demonstrado a eficácia dos materiais higroscópicos essencialmente na atenuação dos ciclos curtos, tendo sido criado um parâmetro caracterizador de auxílio à quantificação do efeito dos materiais em 2005 no seguimento do projecto NORDTEST com a designação de *Moisture Buffer Value* - MBV. Para a variação diária de humidade relativa de 33 % - 75 % prevista para o cálculo, o MBV constitui uma boa ferramenta para avaliação da capacidade de armazenamento de humidade dos materiais para ambientes com amplitudes semelhantes.

O ponto de partida deste trabalho passou pela caracterização geral dos materiais, seguindo-se a caracterização higroscópica com o traçado das curvas higroscópicas e utilizando o protocolo típico do MBV. Dos materiais estudados obteve-se um valor de MBV mais elevado para as placas de fibras de madeira e ligante (O) (2,96 g/(m<sup>2</sup>·ΔHR)), reboco projectado de celulose (N) (2,21 g/(m<sup>2</sup>·ΔHR)) e argamassa de terra argilosa (S) (1,83 g/(m<sup>2</sup>·ΔHR)). Os materiais que apresentaram menor capacidade MBV foram o estuque projectado (E) (0,47 g/(m<sup>2</sup>·ΔHR)), a argamassa de cal hidráulica natural (NHL) (0,65 g/(m<sup>2</sup>·ΔHR)) e as placas gesso cartonado (0,69 g/(m<sup>2</sup>·ΔHR)).

Os materiais foram classificados numa escala de cinco pontos, obtendo-se a classificação de “moderado” para a maioria das argamassas e gesso cartonado (G), “bom” para as soluções com placas de celulose (M) e argamassa de terra argilosa (S) e como “excelente” a celulose projectada (N) e as placas de fibras de madeira e ligante (O). Esta classificação apenas tem em conta a

capacidade MBV, considerando apenas a adsorção do material e não contempla o tempo de resposta do material durante a adsorção e desadsorção.

Da análise da influência do acabamento conclui-se que o MBV foi reduzido para todos os casos de materiais com acabamento superficial. Verificou-se também que a utilização do mesmo material de acabamento tem diferente influência nos diferentes materiais, concluindo-se que o tipo de suporte tem grande relevância. O revestimento superficial proporciona a redução da permeabilidade ao vapor superficial dos materiais que conseqüentemente afecta a sua capacidade de adsorção e desadsorção.

Para além da evidente utilidade deste parâmetro, questionou-se a sua representatividade para a resposta de materiais expostos a ambientes diferentes uma vez que a capacidade higroscópica não é constante ao longo de todo o intervalo de humidade relativa. A utilização de três intervalos diferentes verificou que a alteração do intervalo de humidade relativa 33 % - 75 % para os intervalos 50 % - 75 % e 60 % - 75 % surte grande efeito nos valores de MBV. Mas para a variação do intervalo de humidade relativa 50 % - 75 % e 60 % - 75 % os resultados do MBV sofrem poucas alterações. Conclui-se que para pequenas variações do intervalo de humidade relativa o MBV é pouco alterado. Não se verificou uma tendência uniforme de aumento ou diminuição do MBV em relação à diminuição dos intervalos de humidade relativa. Mas verifica-se uma tendência crescente de aumento da capacidade de adsorção com o aumento da amplitude de humidade relativa.

Para além do ensaio MBV utilizou-se o procedimento descrito na norma ISO 24353 com o ensaio de ciclo único da ISO que permitiu evidenciar a inércia higroscópica dos materiais, verificada graficamente e através do teor de diferença calculado. O vapor de água adsorvido não é totalmente restituído ao ambiente para igual período de adsorção.

Relativamente ao ensaio cíclico da ISO notou-se a tendência para a estabilização dos ciclos com o equilíbrio dos tramos de adsorção e desadsorção.

Do ensaio dinâmico foi possível verificar o comportamento dos materiais quando expostos a ciclos de maior duração e variação dinâmica da humidade relativa. O ensaio permitiu verificar que o equilíbrio entre a adsorção e desadsorção não acontece para este tipo de ciclo. Também se verificou que os materiais respondem rapidamente às transições de humidade relativa.

Apesar da eficácia dos materiais higroscópicos na resposta a ciclos curtos, o seu comportamento a ciclos longos ainda se encontra pouco estudado. Neste trabalho procurou-se incorporar o factor tempo para uma melhor caracterização e previsão de comportamento. Verificou-se que é possível definir uma relação entre a resposta do material e a transição de humidade relativa em três categorias, rápido, moderado e lento. Verificou-se que os materiais lentos são os que dificilmente atingem patamar do teor de humidade e os de resposta rápida conseguem atingir o teor humidade

de equilíbrio ao fim de poucas horas. Traduzindo estes resultados para inércia higroscópica do material as categorias corresponderiam a má, moderada e alta.

O ajuste teórico das curvas higroscópicas através do modelo de Hansen obteve um resultado positivo. Este modelo descreve com muita precisão as curvas experimentais.

Quanto ao ajuste das curvas do tempo de resposta evidenciou-se que o modelo de pseudo-segunda-ordem representa uma aproximação de pouca qualidade principalmente para as argamassas. Quanto aos modelos de Hill e assintótico, ambos conseguiram descrever as curvas do tempo de resposta de forma eficaz.

A aplicação das curvas teóricas aos valores obtidos para as curvas do tempo de resposta permitiu realizar extrapolações do comportamento dos materiais. Com a comparação da extrapolação com o ensaio experimental verificou-se que os modelos não conseguiram representar com precisão o comportamento da maioria das argamassas. Para os restantes materiais os resultados foram muito positivos.

Conclui-se que a análise da capacidade de armazenamento de humidade é apenas uma das características a ser definida pois o comportamento do material em relação ao tempo é fundamental. A variação diária de humidade relativa é pouco representativa sendo necessário avaliar a capacidade dos materiais para ciclos de durações superiores. Os modelos elaborados permitem realizar extrapolação do teor de humidade para ciclos curto e longos sendo esta uma ferramenta muito útil e de fácil utilização.

## 6.2 Desenvolvimentos futuros

Os resultados obtidos foram conclusivos, contudo ainda existe um caminho longo a ser seguido neste campo de investigação. Assim, recomendam-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Realização de ensaios de permeabilidade ao vapor de água a diferentes intervalos de HR para verificar a influência destes intervalos e do revestimento final e calcular o MBV teórico e compará-lo com o valor obtido experimentalmente;
- Afinar os modelos teóricos e testar os materiais estudados com softwares de simulação higrótérmica
- Avaliar a influência que a espessura pode ter na capacidade higroscópica e no tempo de resposta;
- Estudar outros níveis de humidade relativa;
- Realizar ensaios de porometria;

- Utilizar os modelos propostos para tentar prever o comportamento higroscópico a longo prazo;
- A análise da aplicação dos materiais poderia ser investigada em casos práticos ou através de modelação numérica;
- A análise inversa da influência dos materiais nos ambientes interiores utilizando um compartimento que permitisse o controlo da temperatura e produção de vapor constante seria de grande interesse;
- Criação de uma base de dados de materiais estudados tanto para o ensaio MBV como para os diferentes ensaios realizados;
- Extensão do ensaio tempo resposta para casos de variação higratérmica sazonal.

## Referências

- [1] F. Henriques, “Comportamento Higrotérmico De Edifícios. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica.” 2007.
- [2] “Ficha Técnica FitoCal 300 Temperature and Humidity Testing chamber developed for Calibration, Metrology and Quality Control, Aralab.” .
- [3] ISO. International Standard, “EN ISO 13788:2012 Standards Publication Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods,” 2012.
- [4] H. Künzel, *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters* . Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 1995.
- [5] ISO. International Standard, “ISO 9346:2007 Hygrothermal pernmance of buildings and building materials — Physical quantities for mass transfer — Vocabulary,” 2007.
- [6] J. Correia, “Avaliação da higroscopicidade de materiais correntes,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Lisboa*, 2013.
- [7] K. K. Hansen, “Sortion Isotherms - A Catalogue Technical Report 162/86,” Department of Civil Engineering - Buildind Materials Laboratory, The Technical University of Denmark, Denmark, 1986.
- [8] N. Ramos, “A Importância da Inércia Hígorscópica no Comportamento Higrotérmico dos Edifícios,” *Tese Doutor. em Eng. Civil. Fac. Eng. da Univ. do Porto, Porto*, 2007.
- [9] C. Ferreira, V. P. de Freitas, and N. M. M. Ramos, “Influence of Hygroscopic Materials in the Stabilization of Relative Humidity Inside Museum Display Cases,” *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1275–1280, 2015.
- [10] H. E. Silva and F. M. A. Henriques, “Microclimatic analysis of historic buildings : A new methodology for temperate climates,” *Build. Environ.*, vol. 82, pp. 381–387, 2014.
- [11] F. Henriques, “Humidades em Paredes.” Colecção Edifícios, LNEC, Lisboa, Portugal, 1994.
- [12] C. Rode, *Annex 41 Whole Building Heat, Air, Moisture Response Closing seminar*

*Executive committee on Energy Conservation in Buildings and Community Systems Reference to papers.* 2008.

- [13] L. Fang, D. P. Wyon, G. Clausen, and P. O. Fanger, “Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance.,” vol. 14 OP-I. p. 74, 2004.
- [14] T. Simonson, C. J. , Salonvaara, M, Ojanen, “The effect of structures on indoor humidity--possibility to improve comfort and perceived air quality.,” *Indoor Air*, vol. 12, no. 4, pp. 243–251, 2002.
- [15] K. Svennberg, “Moisture Buffering in the Indoor Environment, PhD,” Building Physics Department, Lund University, Sweden, 2006.
- [16] H. Janssen and S. Roels, “Qualitative and quantitative assessment of interior moisture buffering by enclosures,” *Energy Build.*, vol. 41, no. 4, pp. 382–394, 2009.
- [17] L. Fang, G. Clausen, A. P. O. Fanger, and P. O. Fanger, “Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality,” *Indoor Air*, vol. 8, no. 1983, pp. 80–90, 1998.
- [18] C. Simonson, “Moisture, thermal and ventilation performance of Tapanila ecological house,” *VTT Tied. - Valt. Tek. Tutkimusk.*, no. 2069, 2000.
- [19] A. V. Arundel, E. M. Sterling, J. H. Biggin, and T. D. Sterling, “Indirect health effects of relative humidity in indoor environments,” *Environ. Health Perspect.*, vol. VOL. 65, no. 3, pp. 351–361, 1986.
- [20] C. Simonson, M. Salonvaara, and T. Ojanen, “Improving indoor climate and comfort with wooden structures,” *VTT Publ.*, no. 431, 2001.
- [21] O. Koronthalyova, “Moisture storage capacity and microstructure of ceramic brick and autoclaved aerated concrete.” *Construction and Building Materials*, p. Volume 25, n\_ 2, págs. 879-885, 2011.
- [22] M. Dell’Isola, F. R. d’Ambrosio Alfano, G. Giovinco, and E. Ianniello, “Experimental Analysis of Thermal Conductivity for Building Materials Depending on Moisture Content,” *Int. J. Thermophys.*, vol. 33, no. 8–9, pp. 1674–1685, Sep. 2012.
- [23] J. Lima, P. Faria, and A. S. Silva, “Earthen Plasters Based on Illitic Soils from Barrocal Region of Algarve: Contributions for Building Performance and Sustainability,” *Key Engineering Mater.*, vol. 678, pp. 64–77, 2016.
- [24] P. Wargocki, D. P. Wyon, Y. K. Baik, G. Clausen, and P. O. Fanger, “Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads,” *Indoor Air*, vol. 9, no. 3, pp. 165–179, 1999.
- [25] BSI, British Standards Institution “BS 5925:1991 Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation.” British Standards Institution, London.
- [26] Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).” pp. 4988–5005, 2013.

- [27] IPQ. Instituto Português da Qualidade, “NP 1037-1:2015 Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.” 2015.
- [28] T. Padfield, “Exploring the limits for passive indoor climate control,” *Contrib. to Expert. Roundtable Sustain. Clim. Manag. Strateg. held April 2007, Tenerife, Spain*, pp. 1–12, 2008.
- [29] C. Rode, R. Peuhkuri, B. Time, K. Svennberg, T. Ojanen, P. Mukhopadhyaya, M. Kumaran, and S. W. Dean, “Moisture Buffer Value of Materials in Building,” *J. ASTM Int.*, vol. 4, no. 5, p. 100369, 2007.
- [30] B. Time, “Hygroscopic Moisture Transport in Wood, PhD,” Department of Building and Construction Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 1998.
- [31] JIS. Japanese Industrial Standard, “Test method of adsorption/desorption efficiency for building materials to regulate an indoor humidity – Part 1: Response method of humidity. JIS A 1470-1,” 2002.
- [32] ISO. International Standard, “ISO 24353:2008 Hygrothermal permance of building materials and products — Determination of moisture adsorption/desorption properties in response to humidity variation,” 2008.
- [33] C. Rode, R. Peuhkuri, L. H. Mortensen, K. K. Hansen, B. Time, A. Gustavsen, T. Ojanen, J. Ahonen, K. Svennberg, and J. Arfvidsson, “Moisture buffering of building materials, Report BYG-DTU R-126,” Dinamarca, 2005.
- [34] C. Rode, “Whole-Building Hygrothermal Modeling in IEA Annex 41,” *ASHRAE*, 2007.
- [35] N. Ramos, J. M. P. Q. Delgado, and V. Freitas, “Influence of finishing coatings on hygroscopic moisture buffering in building elements,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 12, pp. 2590–2597, 2010.
- [36] T. Padfield, “The role of absorbent building materials in moderating changes of relative humidity, PhD thesis,” Department of Structural Engineering and Materials, The Technical University of Denmark, Denmark, 1998.
- [37] T. Padfield, “Humidity buffering of interior spaces by porous , absorbent insulation - Part of Hygrothermal properties of alternative insulation materials,” Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark, Denmark, 1999.
- [38] T. Padfield, “Humidity buffering of the indoor climate by absorbent walls,” The National Museum of Denmark, Denmark, 1999.
- [39] C. J. Simonson, “Heat and mass transfer between indoor air and a permeable and hygroscopic building envelope: Part I - Field measurements,” *J. Build. Phys.*, vol. 28, no. 1, pp. 63–101, 2004.
- [40] N. Ramos and V. P. de Freitas, “Hygroscopic inertia as a function of transiente behaviour of covering materials,” *Proc. Build. IX, Clear. Florida.*, 2004.
- [41] N. Ramos and V. P. de Freitas, “Evaluation Strategy of finishing materials contribution to the hygroscopic inertia of a room,” *Proc. 3rd Int. Build. Phys. Conf.*

*Concordia Univ. Montr. Canada*, 2006.

- [42] N. Ramos and V. P. de Freitas, “Laboratory testing for daily hygroscopic inertia assessment,” *Proc. 8th Symp. Build. Phys. Nord. countries, Copenhagen, Denmark*, 2008.
- [43] J. M. P. Q. Delgado, “Can Moisture Buffer Performance be Estimated from Sorption Kinetics?,” *J. Build. Phys.*, vol. 29, no. 4, pp. 281–299, 2006.
- [44] Y. S. Ho and G. McKay, “Pseudo-second order model for sorption processes,” *Process Biochem.*, vol. 34, no. 5, pp. 451–465, 1999.
- [45] J. A. Poulis, G. Reichenauer, C. H. Massen, E. Robens, P. Institut, J. M. Universität, and A. Hubland, “A Jäntti approach for quick calculations of adsorption equilibria,” *Zeitschrift für Phys. Chemie*, vol. 216, pp. 1–10, 2002.
- [46] P. Faria, “Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes,” *Diss. Douturamento em Eng. Civ.*, p. 454, 2004.
- [47] J. P. B. Grilo, “Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural NHL 3.5 de fabrico nacional,” pp. 54–59, 2013.
- [48] “Ficha Técnica Project 2010 estuque projectado, Sival gessos especiais.” .
- [49] “Ficha Técnica Sonaspray ST (K-13) Celulose Projectada isolamento térmico acústico, asona acustic solutions.” .
- [50] “Ficha Técnica Placa A gesso cartonado standard, Gyptec Ibérica.” .
- [51] “Ficha Técnica Firepanel A1 placas de celulose, fermacell.”
- [52] “Ficha Técnica Celenit produto de lã de madeira.” .
- [53] “Ficha técnica tinta plástica mate para interiores e exteriores, Dioplaste, Barbot Indústria de tintas, S A.” 2013.
- [54] C. Oliveira, “Permeabilidade ao vapor de pinturas exteriores: Influência na secagem de paredes,” Tese de Mestrado, DEC-FEUP, Porto, Portugal, 1996.
- [55] IPQ. Instituto Português da Qualidade, “NP EN 1936 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta.” *Almada, IPQ*. 2008.
- [56] “ISOMET 2104 - Guia do utilizador. Disponível em <http://www.appliedp.com/en/isomet.htm>. Acesso em 2013.” .
- [57] K. Wilkes, J. A. Atchley, and P. W. Childs, “Effect of Drying Protocols on Measurement of Sorption Isotherms of Gypsum Building Materials,” *ASHRAE*, vol. 4, 2004.
- [58] ISO. International Standard, “ISO 12571:2013 Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of hygroscopic sorption properties,” 2013.
- [59] “Ficha Técnica AFP Precision Balances, ae Adam.” .
- [60] O. F. Osanyintola and C. J. Simonson, “Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact,”

- Energy Build.*, vol. 38, no. 10, pp. 1270–1282, 2006.
- [61] ISO. International Standard, “ISO 12572: 2001 Hygrothermal permance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties,” 2001.
- [62] C.-E. Hagentoft, “Introduction to Building Physics,” *Bauphysik*, vol. 23, no. 5. Lund, Sweden, p. 315, 2001.
- [63] Deutsches Institut fur Normung, “DIN 18947:2013 Earth plasters — Terms and definitions, requirements, test methods.” 2013.
- [64] K. Svennberg, “Moisture Properties: Step-response for Plasterboard at RH 33–54% and RH 54–33%, +20 °C.,” Report TVBH-7220, Lund, 2002.
- [65] K. Svennberg, “Determination of Moisture Properties for Materials Exposed to the Indoor Air,” 2003.
- [66] S. Idris, Y. A. Iyaka, M. M. Ndamitso, E. B. Mohammed, and M. T. Umar, “Evaluation of Kinetic Models of Copper and Lead Uptake from Dye Wastewater by Activated Pride of,” vol. 1, no. 42, pp. 47–51, 2011.
- [67] Y. S. Ho and G. Mckay, “A kinetic study of dye sorption by biosorbent waste product pith,” vol. 25, pp. 171–193, 1999.
- [68] I. Langmuir, “The Adsorption of Gases in Plane Surface of Glass, Mica and Platinum,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 40, no. 9, pp. 1361–1368, 1918.
- [69] A. V. Hill, “The possible effects of the aggregation of the molecules of hæmoglobin on its dissociation curves,” *J. Physiol.*, vol. 40, no. suppl, pp. i--vii, 1910.
- [70] C. Chen, “Evaluation of Equilibrium Sorption Isotherm Equations,” *Open Chem. Eng. J.*, pp. 24–44, 2013.
- [71] Y. Ben Torkia, M. Khalfaoui, and A. Ben Lamine, “On the use of the Hill ’ s model as local isotherm in the interpretation of the behaviour of the adsorption energy distributions,” vol. 6, no. 3, pp. 62–73, 2014.
- [72] G. L. Atkins, “A Simple Digital-Computer Program for for Estimating the Parameters of the Hill Equation,” vol. 180, pp. 176–180, 1973.
- [73] B. F. Johannesson, “Prestudy on diffusion and transient condensation of water vapor in cement mortar,” vol. 32, pp. 955–962, 2002.



# Anexos



# **Anexo A**

## **Curvas higroscópicas**

**Ficha de ensaio curvas higroscópicas 1.0 – Dados gerais****REFERÊNCIAS NORMATIVAS**

Norma: EN ISO 12571:2013 – Hygrothermal permance of building materials and products – Determination hygroscopic sorption propeties

**EQUIPAMENTO UTILIZADO****Câmara climática:**

- Marca/modelo: Aralab Fitoclima 300 EDTU
- Controle de temperatura:  $-20\text{ °C} \leq T \leq 180\text{ °C}$  – flutuação no tempo  $< \pm 0,5\text{ °C}$
- Controle de humidade:  $10\% \leq HR \leq 98\%$  – flutuação no tempo  $< \pm 1\%$

**Exsicador****Balança:**

- Marca/modelo: Adam APF 720L
- Precisão: 0,001 g

**PROCESSO DE ENSAIO**

**Período de ensaio:** 09/11/2016 - 22/11/2016

**Secagem dos provetes:**

Exsicador e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), a temperatura de  $23 \pm 0,5\text{ °C}$  durante 40 dias.

**Execução do ensaio:**

Curva de adsorção:

- Os provetes previamente secos são expostos a cinco patamares crescentes de humidade relativa. O avanço dos patamares é realizado após de verificar a estabilidade dos provetes.

Curva de desadsorção:

- Após o patamar de 93 % de HR ocorre o processo inverso da adsorção a HR de 33 %

Condições de ensaio:

Temperatura:  $23 \pm 0,5\text{ °C}$

Humidade relativa:

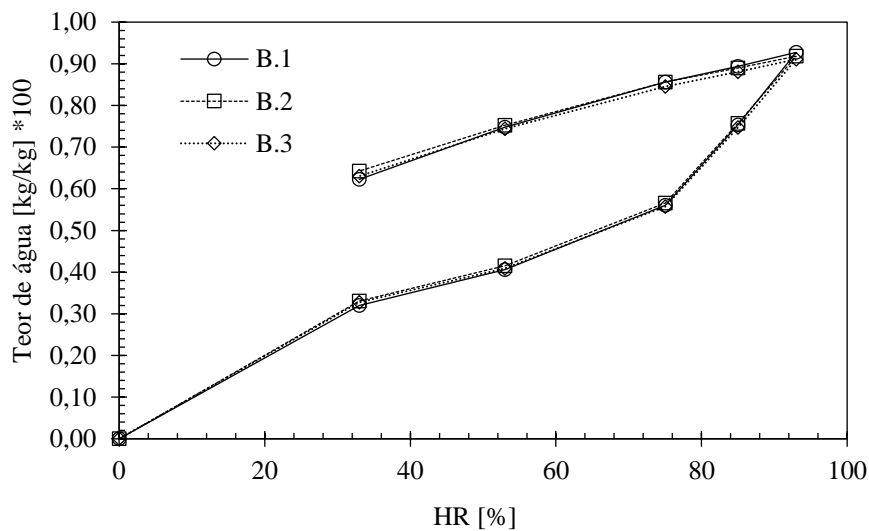
HR [%]	33	53	75	85	93
Sol. Salina	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Câm. climatica	Câm. climatica	Câm. climatica	$\text{KNO}_3$

**Ficha ensaio curvas higroscópicas 1.1****IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas bastardas (B)

**DADOS DO PRODUTO****Provetes:** Argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea.**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>**RESULTADOS:****Gráficos curvas higroscópica**

HR [%]	Teor de água médio [kg/kg] x 100			
	B.1	B.2	B.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,3201	0,3310	0,3275	0,3262
53	0,4060	0,4152	0,4088	0,4100
75	0,5602	0,5657	0,5570	0,5610
85	0,7528	0,7568	0,7468	0,7521
93	0,9274	0,9180	0,9108	0,9188
85	0,8940	0,8902	0,8808	0,8883
75	0,8558	0,8558	0,8457	0,8524
53	0,7482	0,7527	0,7437	0,7482
33	0,6224	0,6427	0,6306	0,6319

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.2**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas bastardas pintadas (BP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

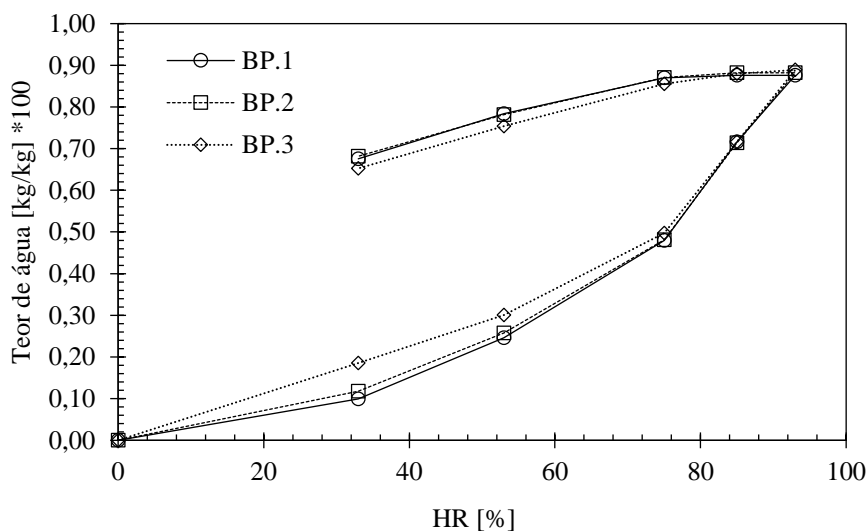
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



Teor de água médio [kg/kg] x 100				
HR [%]	BP.1	BP.2	BP.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,0990	0,1179	0,1850	0,1340
53	0,2461	0,2579	0,3004	0,2682
75	0,4797	0,4810	0,4970	0,4859
85	0,7159	0,7142	0,7166	0,7155
93	0,8759	0,8820	0,8887	0,8822
85	0,8759	0,8820	0,8801	0,8793
75	0,8696	0,8709	0,8554	0,8653
53	0,7838	0,7815	0,7535	0,7729
33	0,6758	0,6820	0,6526	0,6701

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.3**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas de cimento (C)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa de cimento Portland II.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

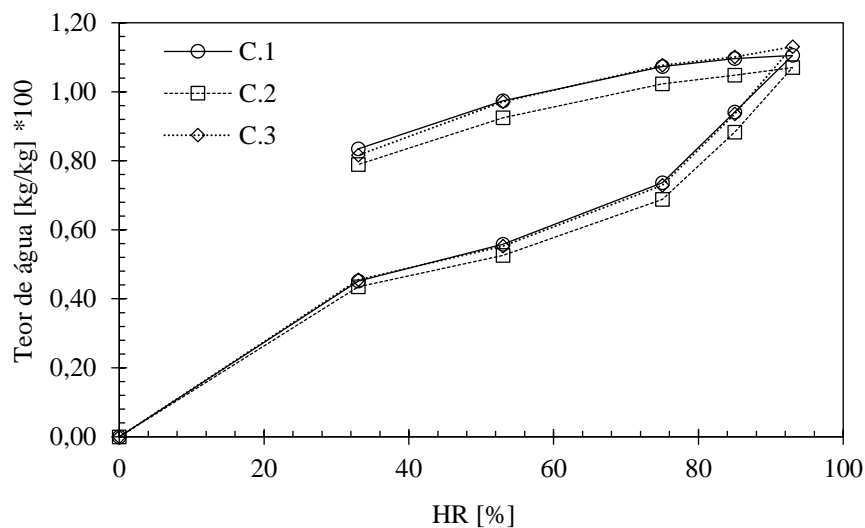
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



Teor de água médio [kg/kg] x 100				
HR [%]	C.1	C.2	C.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,4513	0,4350	0,4548	0,4470
53	0,5581	0,5257	0,5527	0,5455
75	0,7363	0,6881	0,7291	0,7178
85	0,9416	0,8827	0,9355	0,9199
93	1,1052	1,0701	1,1307	1,1020
85	1,0966	1,0479	1,1013	1,0819
75	1,0731	1,0229	1,0764	1,0575
53	0,9733	0,9248	0,9710	0,9564
33	0,8348	0,7894	0,8164	0,8135

## Ficha ensaio curvas higroscópica 1.4

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas de cimento pintadas (CP)

### DADOS DO PRODUTO

**Provete:** Argamassa de cimento Portland II pintada com tinta plástica.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

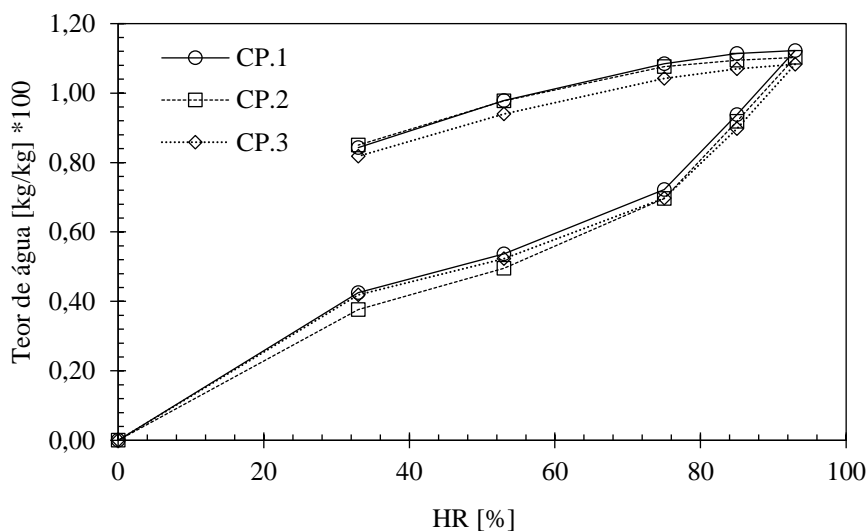
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

Gráficos curvas higroscópica



HR [%]	Teor de água médio [kg/kg] x 100			
	CP.1	CP.2	CP.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,4253	0,3764	0,4189	0,4069
53	0,5370	0,4953	0,5229	0,5184
75	0,7217	0,6965	0,6969	0,7050
85	0,9381	0,9188	0,8973	0,9180
93	1,1225	1,1025	1,0830	1,1027
85	1,1137	1,0949	1,0699	1,0929
75	1,0848	1,0765	1,0418	1,0677
53	0,9781	0,9770	0,9398	0,9650
33	0,8432	0,8499	0,8177	0,8369

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.5**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas de cal hidráulica natural (NHL)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa de cal hidráulica natural.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

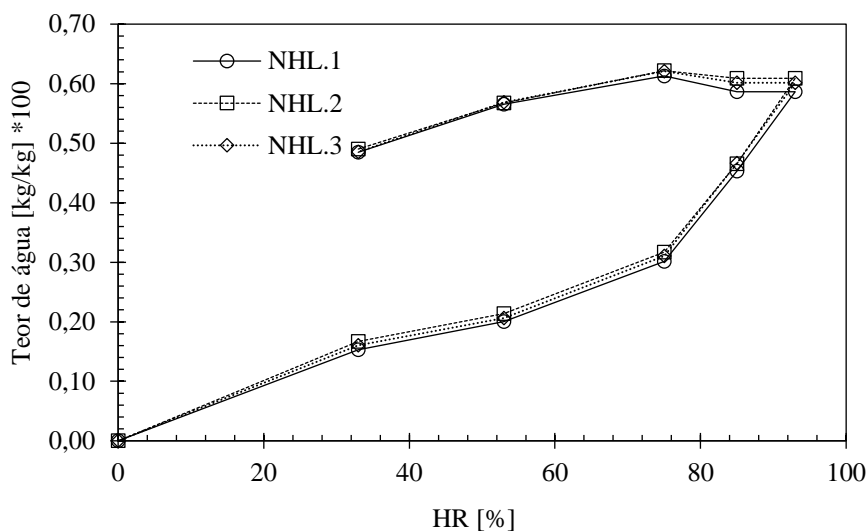
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



**Teor de água médio [kg/kg] x 100**

HR [%]	NHL.1	NHL.2	NHL.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,1532	0,1669	0,1604	0,1602
53	0,2003	0,2137	0,2062	0,2067
75	0,3016	0,3171	0,3103	0,3097
85	0,4531	0,4652	0,4667	0,4616
93	0,5862	0,6089	0,6015	0,5989
85	0,5862	0,6089	0,6015	0,5989
75	0,6130	0,6217	0,6210	0,6186
53	0,5656	0,5675	0,5688	0,5673
33	0,4846	0,4901	0,4855	0,4867

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.6**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas de cal hidráulica natural pintadas (NHLP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa de cal hidráulica natural pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

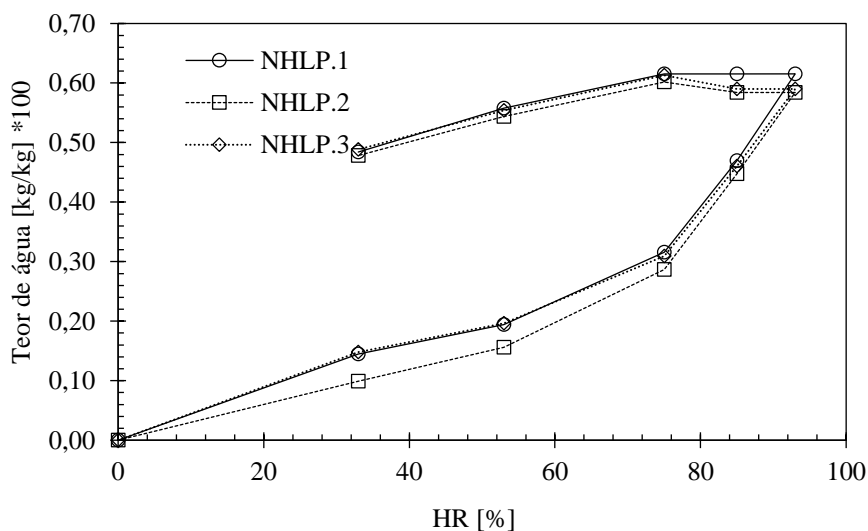
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



Teor de água médio [kg/kg] x 100				
HR [%]	NHLP.1	NHLP.2	NHLP.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,1447	0,0988	0,1482	0,1306
53	0,1944	0,1561	0,1964	0,1823
75	0,3160	0,2865	0,3095	0,3040
85	0,4698	0,4473	0,4604	0,4591
93	0,6154	0,5840	0,5900	0,5965
85	0,6151	0,5840	0,5900	0,5964
75	0,6151	0,6017	0,6130	0,6099
53	0,5575	0,5438	0,5542	0,5519
33	0,4841	0,4782	0,4884	0,4836

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.7**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Argamassas de terra (S)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Argamassa de terra.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

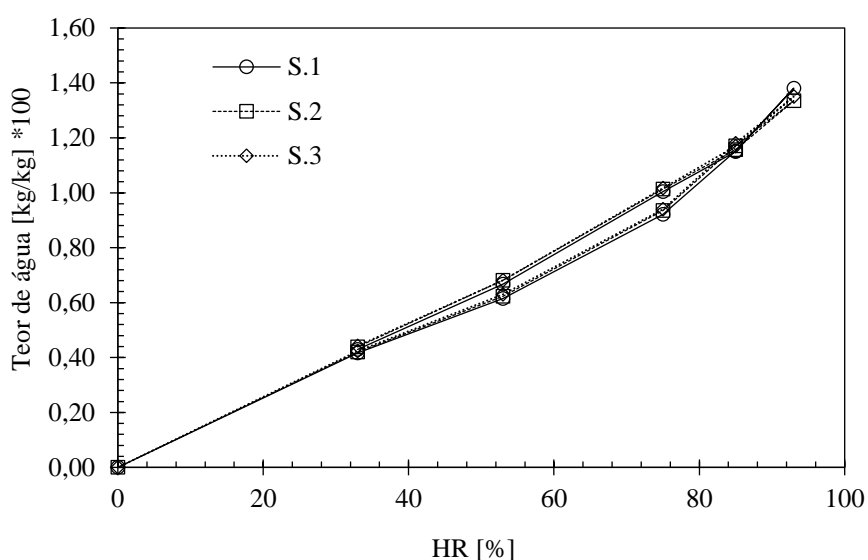
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 2 106 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



<b>Teor de água médio [kg/kg] x 100</b>				
<b>HR [%]</b>	<b>S.1</b>	<b>S.2</b>	<b>S.3</b>	<b>Média</b>
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,4163	0,4205	0,4238	0,4202
53	0,6151	0,6225	0,6302	0,6226
75	0,9214	0,9355	0,9397	0,9322
85	1,1526	1,1703	1,1796	1,1675
93	1,3810	1,3350	1,3504	1,3555
85	1,1501	1,1571	1,1696	1,1590
75	1,0042	1,0139	1,0175	1,0119
53	0,6676	0,6810	0,6815	0,6767
33	0,4293	0,4387	0,4419	0,4366

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.8**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Estuque (E)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

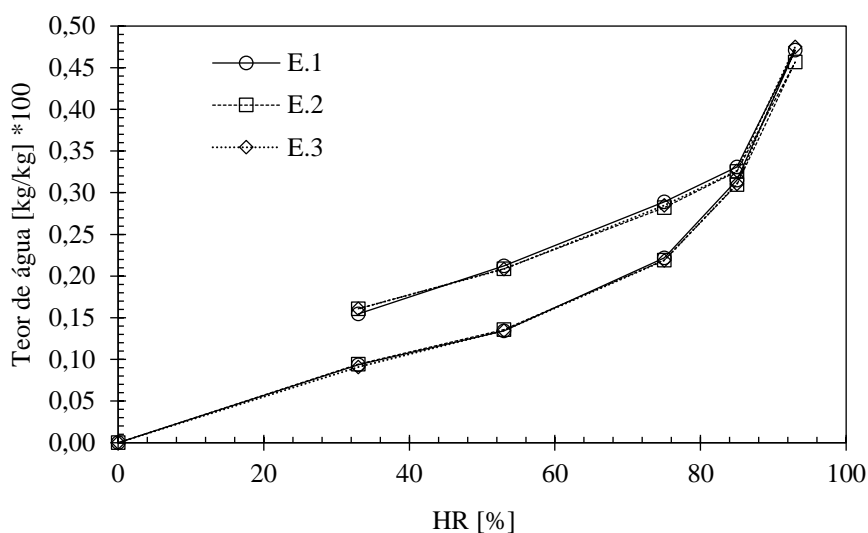
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



**Teor de água médio [kg/kg] x 100**

HR [%]	E.1	E.2	E.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,0933	0,0942	0,0910	0,0928
53	0,1343	0,1357	0,1348	0,1349
75	0,2219	0,2190	0,2187	0,2199
85	0,3153	0,3100	0,3106	0,3119
93	0,4710	0,4569	0,4751	0,4677
85	0,3310	0,3255	0,3262	0,3276
75	0,2891	0,2822	0,2847	0,2853
53	0,2124	0,2087	0,2083	0,2098
33	0,1548	0,1606	0,1607	0,1587

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.9**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Estuque pintado (EP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

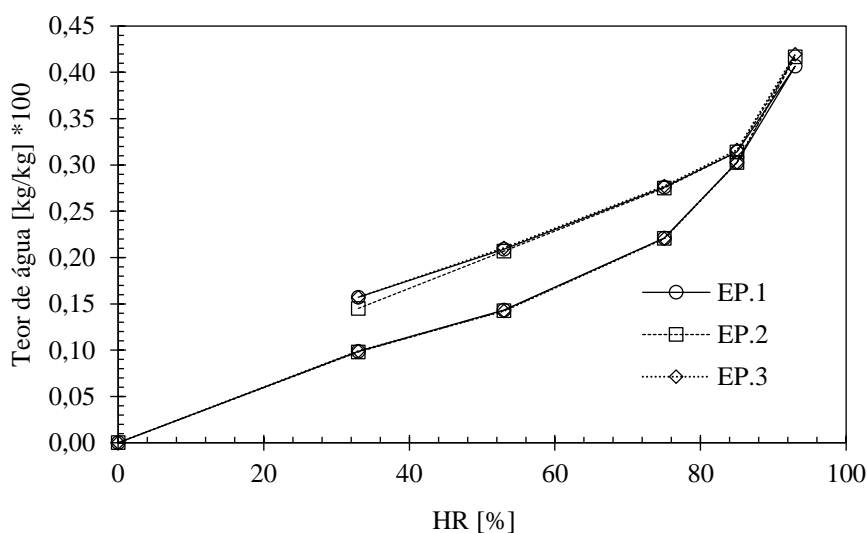
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



Teor de água médio [kg/kg] x 100				
HR [%]	EP.1	EP.2	EP.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,0988	0,0979	0,0991	0,0986
53	0,1434	0,1428	0,1423	0,1428
75	0,2210	0,2206	0,2204	0,2207
85	0,3026	0,3026	0,3025	0,3026
93	0,4067	0,4168	0,4195	0,4143
85	0,3141	0,3142	0,3160	0,3148
75	0,2761	0,2749	0,2772	0,2761
53	0,2091	0,2069	0,2104	0,2088
33	0,1570	0,1449	0,1571	0,1530

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.10**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Revestimento celulose projectada (N)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Revestimento de celulose projectada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Revestimento pré doseado misturado em laboratório e colocação em moldes de madeira.

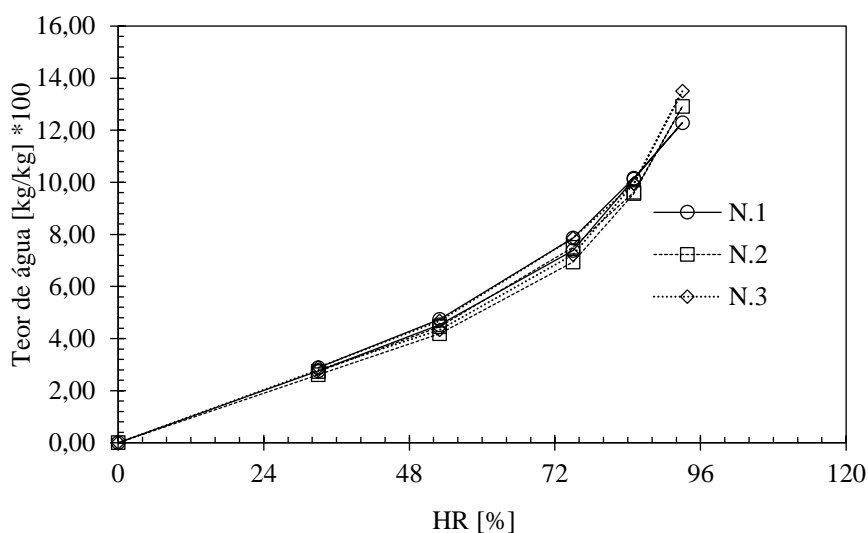
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,013) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 183 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



**Teor de água médio [kg/kg] x 100**

HR [%]	N.1	N.2	N.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	2,7556	2,6059	2,8023	2,7213
53	4,5352	4,1900	4,3388	4,3547
75	7,3788	6,9381	7,2185	7,1784
85	10,1267	9,5671	9,9469	9,8802
93	12,2890	12,9138	13,4981	12,9003
85	10,1535	9,6167	9,9469	9,9057
75	7,8572	7,5002	7,8584	7,7386
53	4,7380	4,4611	4,6799	4,6263
33	2,8819	2,7382	2,8972	2,8391

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.11**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Placas de gesso cartonado (G)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de gesso cartonado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

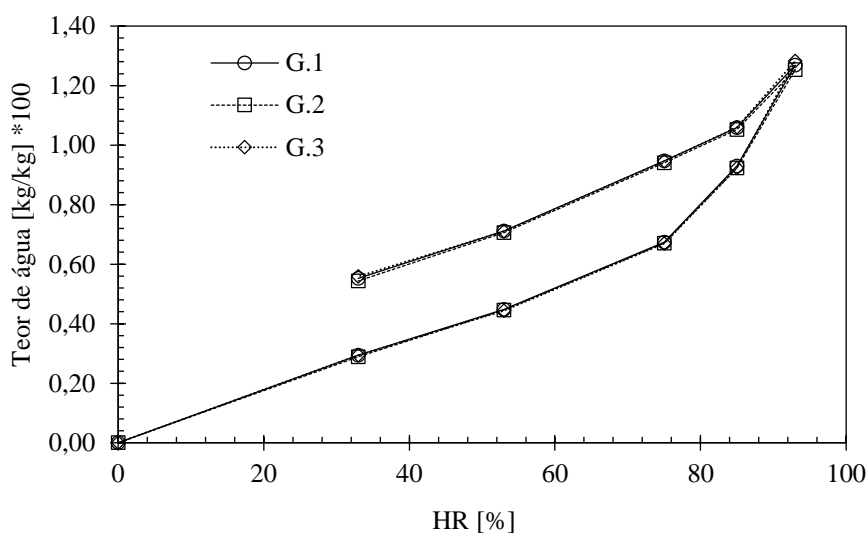
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



**Teor de água médio [kg/kg] x 100**

HR [%]	G.1	G.2	G.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,2945	0,2889	0,2946	0,2927
53	0,4482	0,4453	0,4440	0,4458
75	0,6739	0,6701	0,6692	0,6711
85	0,9297	0,9232	0,9237	0,9255
93	1,2683	1,2534	1,2822	1,2679
85	1,0587	1,0524	1,0602	1,0571
75	0,9469	0,9406	0,9465	0,9446
53	0,7115	0,7060	0,7104	0,7093
33	0,5525	0,5441	0,5588	0,5518

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.12**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Placas de gesso cartonado pintadas (GP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de gesso cartonado pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

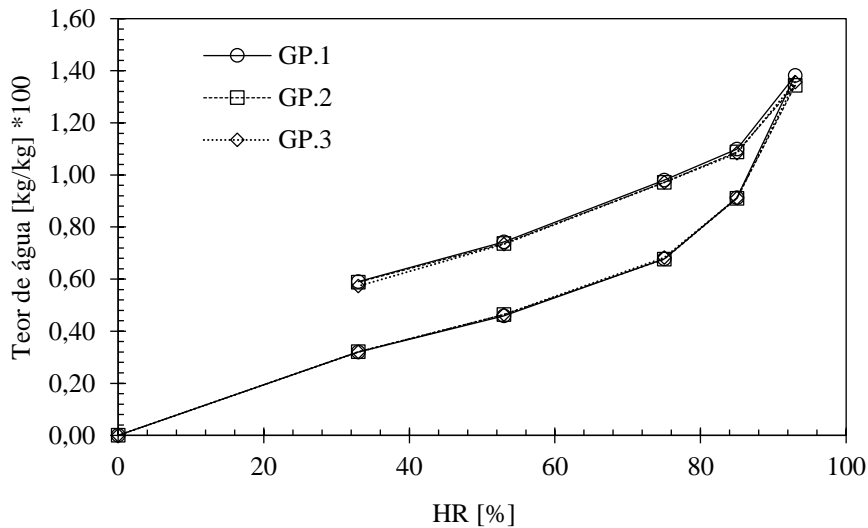
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



HR [%]	Teor de água médio [kg/kg] x 100			
	GP.1	GP.2	GP.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,3202	0,3210	0,3200	0,3204
53	0,4594	0,4633	0,4638	0,4621
75	0,6779	0,6762	0,6821	0,6787
85	0,9124	0,9094	0,9113	0,9110
93	1,3814	1,3438	1,3567	1,3607
85	1,0987	1,0881	1,0832	1,0900
75	0,9799	0,9715	0,9719	0,9744
53	0,7432	0,7361	0,7340	0,7378
33	0,5901	0,5884	0,5730	0,5838

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.13**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Placas de celulose reciclada (M)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de celulose reciclada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

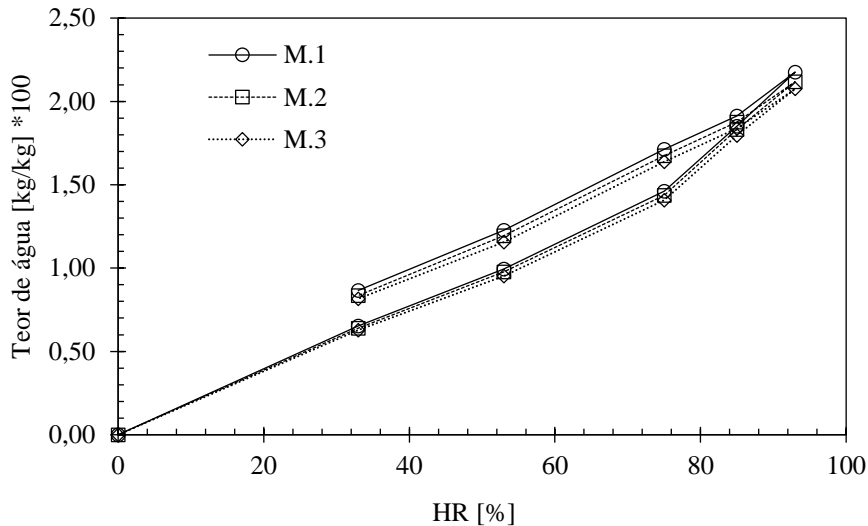
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



Teor de água médio [kg/kg] x 100				
HR [%]	M.1	M.2	M.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,6533	0,6387	0,6275	0,6399
53	0,9951	0,9768	0,9516	0,9745
75	1,4617	1,4370	1,4075	1,4354
85	1,8508	1,8314	1,7958	1,8260
93	2,1761	2,1178	2,0755	2,1232
85	1,9126	1,8755	1,8383	1,8754
75	1,7136	1,6752	1,6377	1,6755
53	1,2263	1,1940	1,1561	1,1921
33	0,8667	0,8349	0,8153	0,8390

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.14**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Placas de celulose reciclada pintadas (MP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de celulose reciclada pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

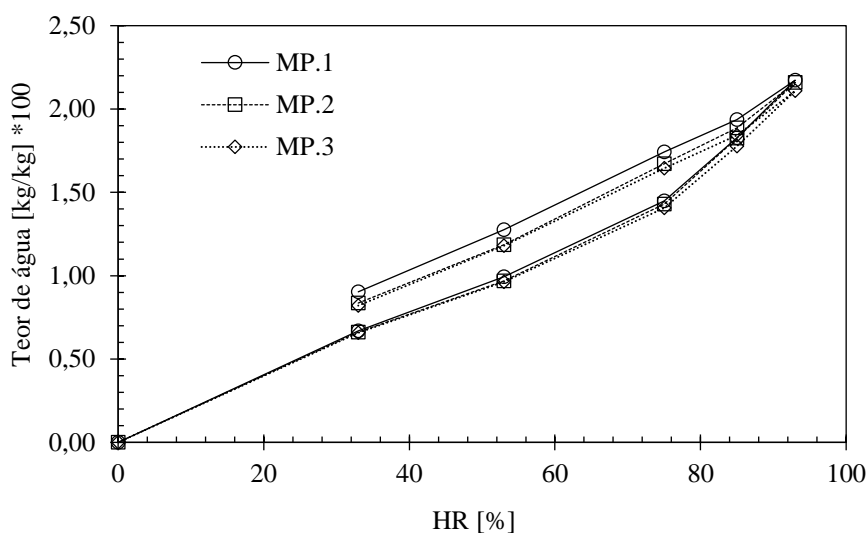
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos curvas higroscópica**



HR [%]	Teor de água médio [kg/kg] x 100			
	MP.1	MP.2	MP.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	0,6691	0,6621	0,6567	0,6626
53	0,9937	0,9694	0,9631	0,9754
75	1,4491	1,4297	1,4069	1,4286
85	1,8277	1,8247	1,7765	1,8096
93	2,1730	2,1597	2,1087	2,1471
85	1,9359	1,8860	1,8416	1,8879
75	1,7429	1,6717	1,6449	1,6865
53	1,2755	1,1857	1,1798	1,2137
33	0,9029	0,8362	0,8199	0,8530

**Ficha ensaio curvas higroscópica 1.15****IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação das curvas higroscópica – Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (O)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais

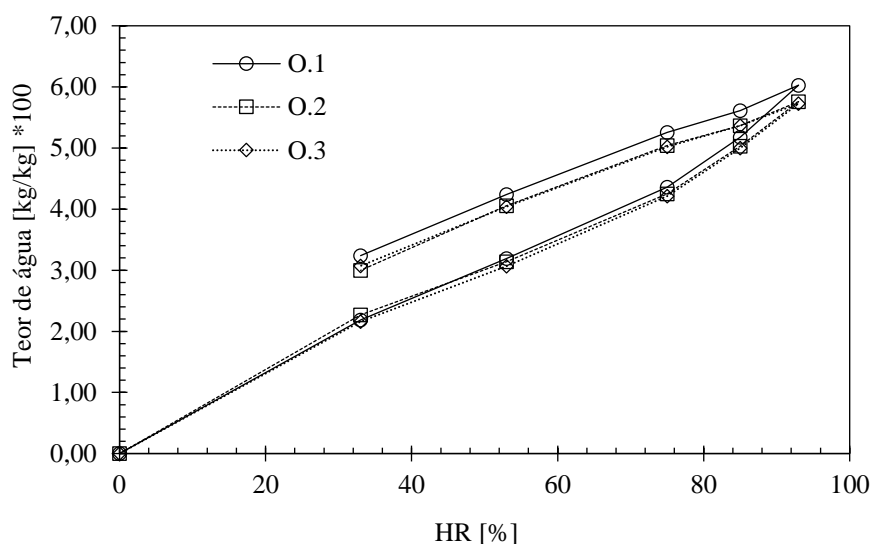
**Método de Preparação dos Provetes:**

Fornecimento e corte pela empresa comercializante;

**Área de Exposição:** (0,1 x 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,030) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 879 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:****Gráficos curvas higroscópica**

Teor de água médio [kg/kg] x 100				
HR [%]	O.1	O.2	O.3	Média
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
33	2,1841	2,2678	2,1576	2,2032
53	3,1933	3,1375	3,0650	3,1319
75	4,3607	4,2496	4,2160	4,2755
85	5,1762	5,0293	5,0009	5,0688
93	6,0284	5,7588	5,7271	5,8381
85	5,6098	5,3665	5,3652	5,4472
75	5,2544	5,0398	5,0180	5,1041
53	4,2391	4,0567	4,0424	4,1127
33	3,2367	2,9981	3,0700	3,1016



# **Anexo B**

## **MBV - Moisture buffer value**

## Ficha de ensaio MBV 1.0 – Dados gerais

### REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Protocolo de Ensaio: “Nordtest Method: Measuring Moisture Buffer Value for Homogeneous Materials or Composite Systems Exposed to Indoor Air”

### EQUIPAMENTO UTILIZADO

#### Câmara climática:

- Marca/modelo: Aralab Fitoclima 300 EDTU
- Controle de temperatura:  $-20\text{ °C} \leq T \leq 180\text{ °C}$  – flutuação no tempo  $< \pm 0,5\text{ °C}$
- Controle de humidade:  $10\% \leq HR \leq 98\%$  – flutuação no tempo  $< \pm 1\%$

#### Balança:

- Marca/modelo: Adam APF 720L
- Precisão: 0,001 g

### PROCESSO DE ENSAIO

**Período de ensaio:** 29/03/2016 -15/04/2016

#### Execução do ensaio:

O ensaio é realizado na câmara climática programada para realizar transição de humidade relativa dos ciclos a temperatura constante.

Os provetes previamente impermeabilizados são colocados no interior da câmara climática, em suportes metálicos e pré-condicionados até estabilizarem a uma temperatura constante de 23°C e HR de 50 %

Os ciclos iniciam após o pré-condicionamento;

A pesagem dos provetes é realizada de forma individual, é realizada uma pesagem na transição da HR e cinco pesagem durante a fase de adsorção.

A exposição aos ciclos mantém-se até que a diferença de massa entre os últimos três ciclos seja inferior a 5% e também que se verifique que a diferença entre o ganho e perda de massa em cada ciclo é inferior a 5%.

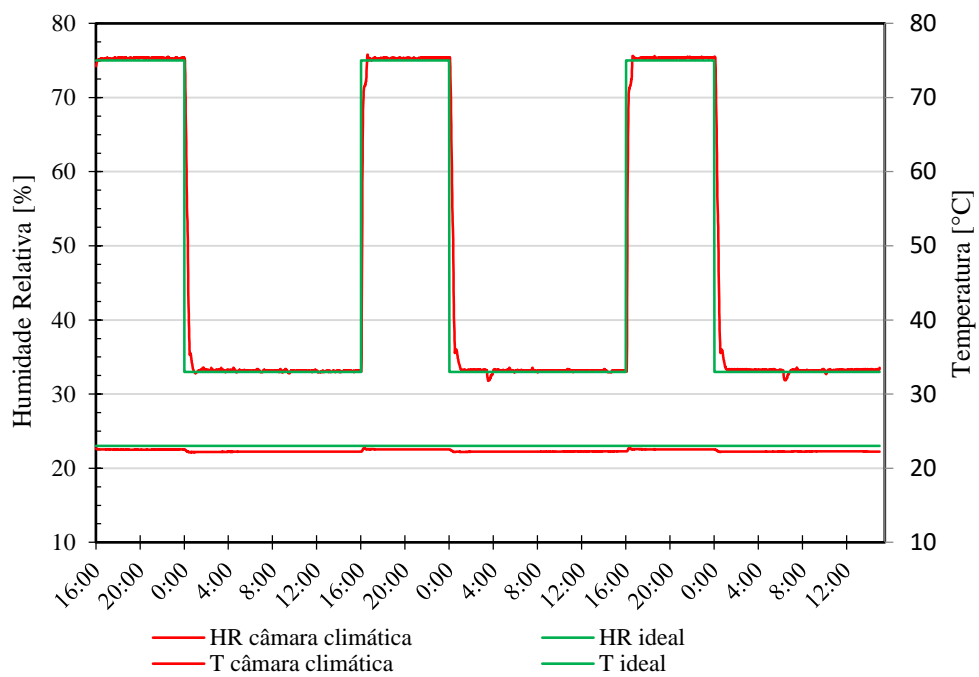
### Condições do ensaio:

Temperatura:  $23 \pm 0,5$  °C

Velocidade média do ar: 0,5 m/s

HR pretendida (%)	75	33
HR média (%)	74,7	32,7
Tempo (h)	8	16

### Variação real da humidade relativa



**Ficha ensaio MBV 1.1**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas bastarda (B)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

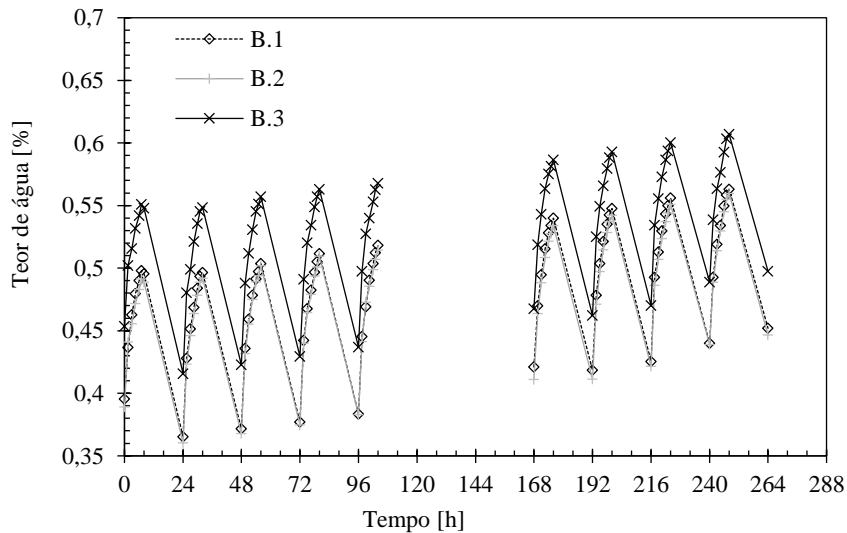
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

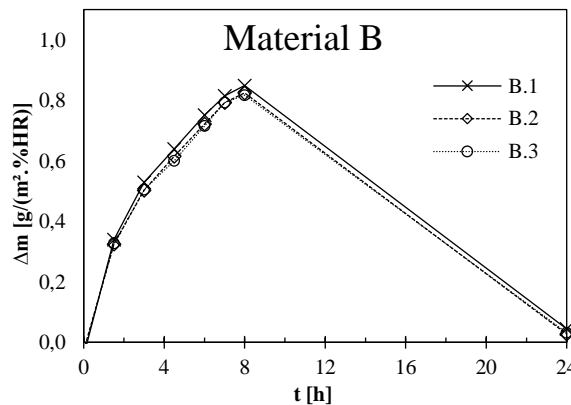
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

**Material B**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material B**



	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,85	0,82	0,82	0,83	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.2**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas bastarda pintada (BP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

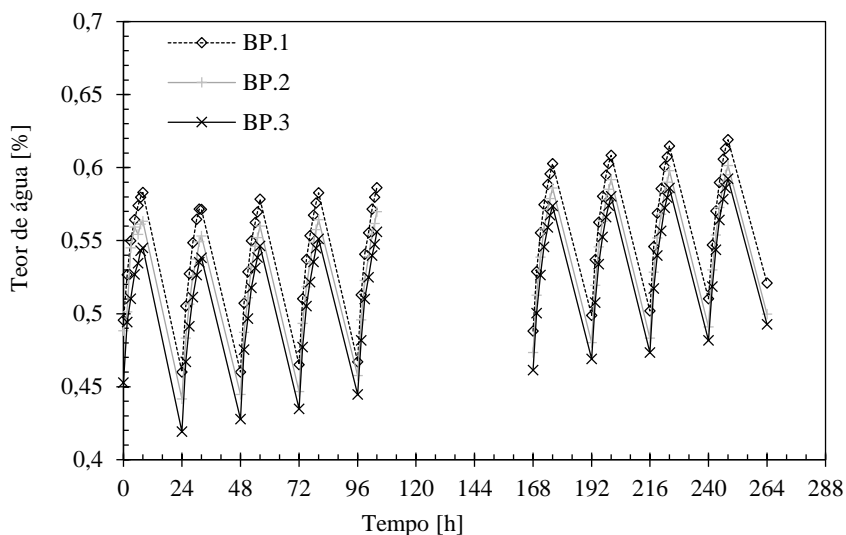
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

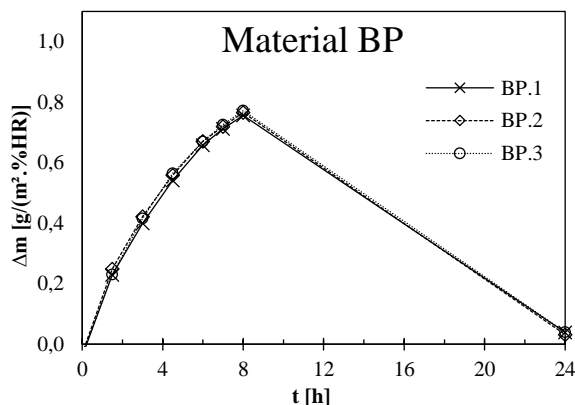
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

**Material BP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material BP**



	<b>BP1</b>	<b>BP2</b>	<b>BP3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,76	0,77	0,77	0,76	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.3**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cimento (C)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cimento Portland II.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

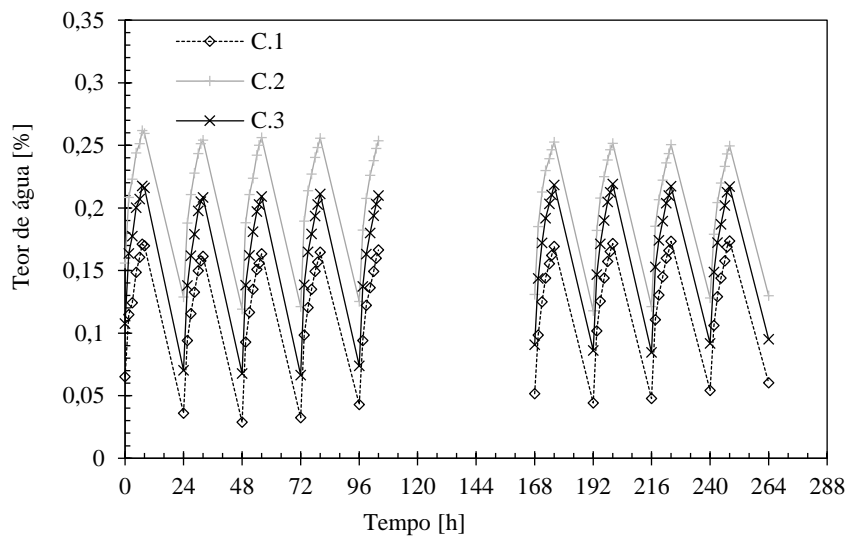
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

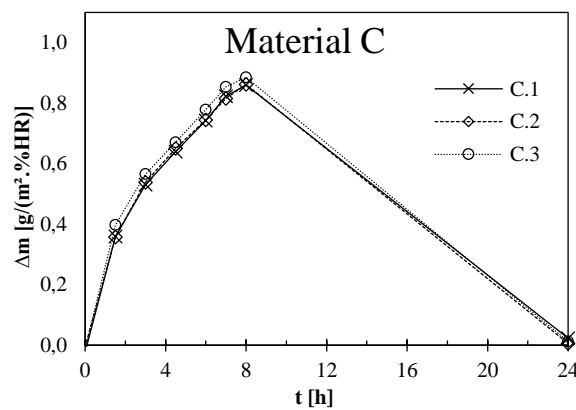
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material C



**Gráficos do ciclo estável**

Material C



	C1	C2	C3	Média	Desvio
MBV	0,86	0,86	0,89	0,87	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.4**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cimento pintada (CP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cimento Portland II pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

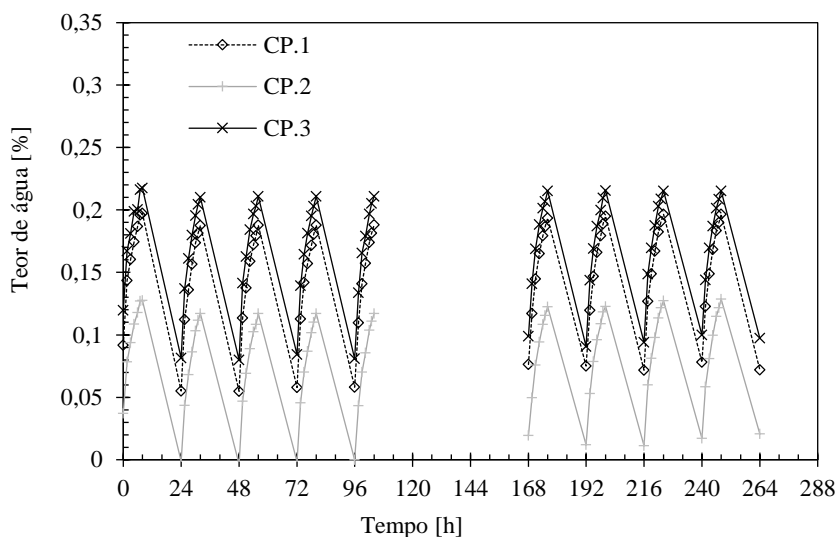
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

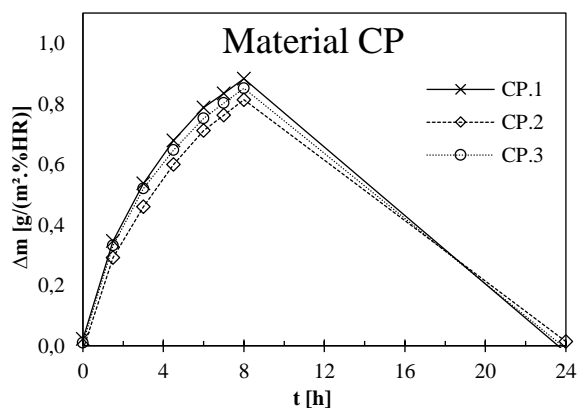
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material CP



**Gráficos do ciclo estável**

Material CP



	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio
MBV	0,88	0,81	0,85	0,85	0,03

**Ficha ensaio MBV 1.5**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cal hidráulica natural (NHL)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cal hidráulica natural.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

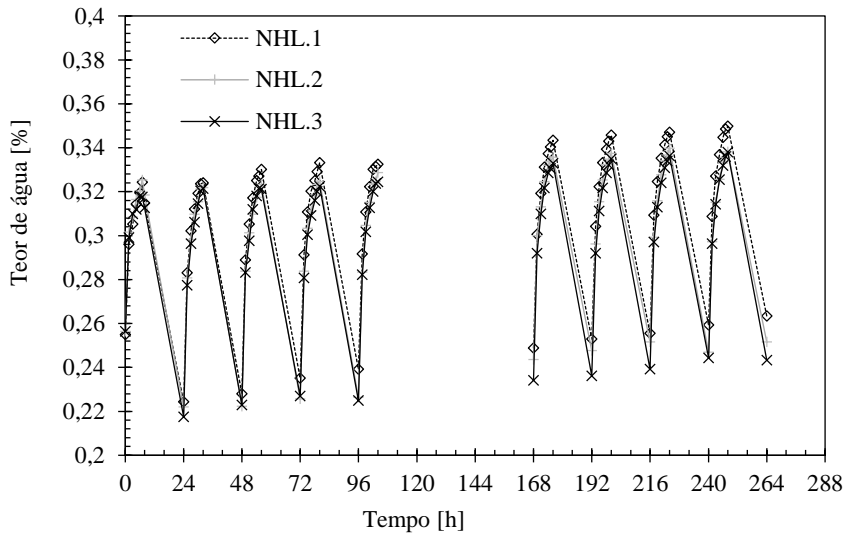
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

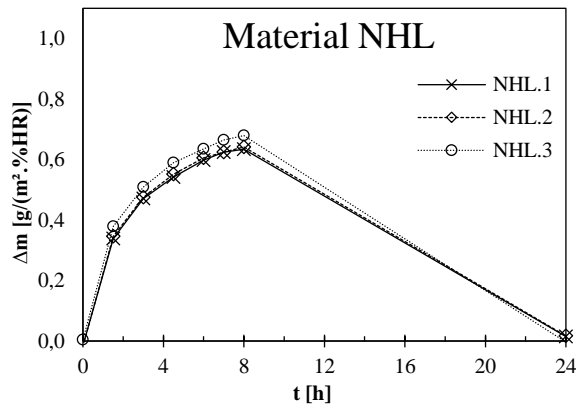
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material NHL



**Gráficos do ciclo estável**

Material NHL



	NHL1	NHL2	NHL3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,63	0,64	0,68	0,65	0,02

**Ficha ensaio MBV 1.6**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cal hidráulica natural pintada (NHLP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cal hidráulica natural pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira; Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

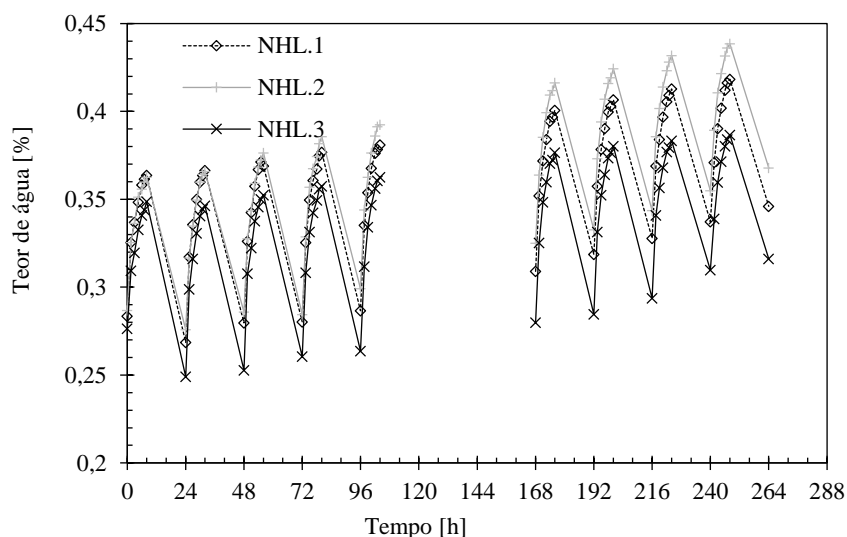
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

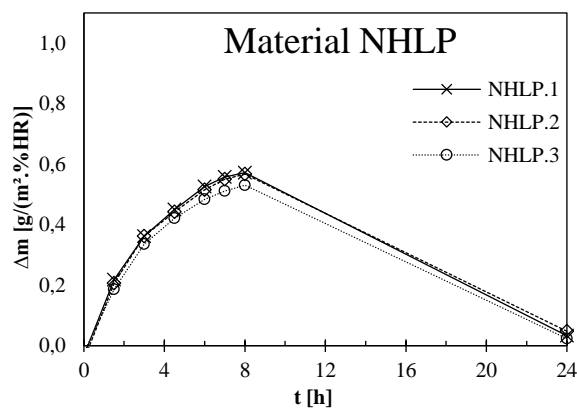
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material NHLP



**Gráficos do ciclo estável**

Material NHLP



	NHLP1	NHLP2	NHLP3	Média	Desvio
MBV	0,76	0,77	0,77	0,76	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.7**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de terra (S)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** argamassa de terra.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

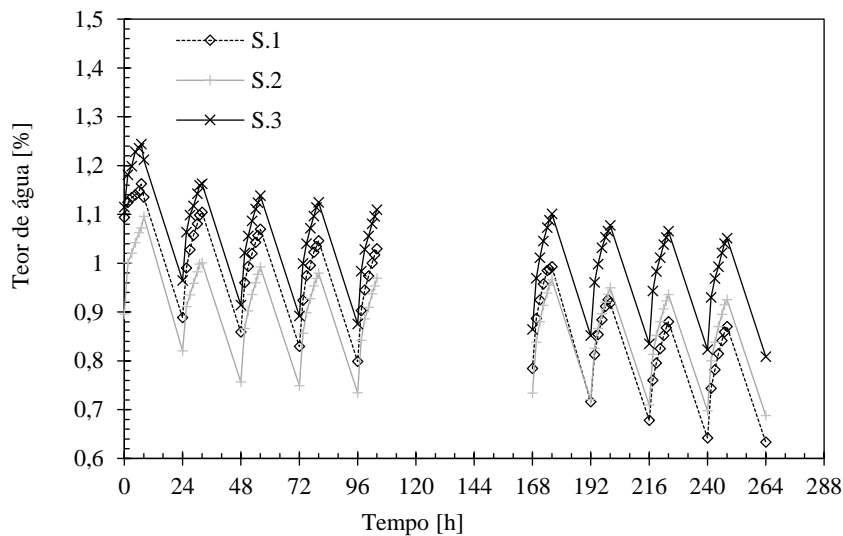
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 2 106 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

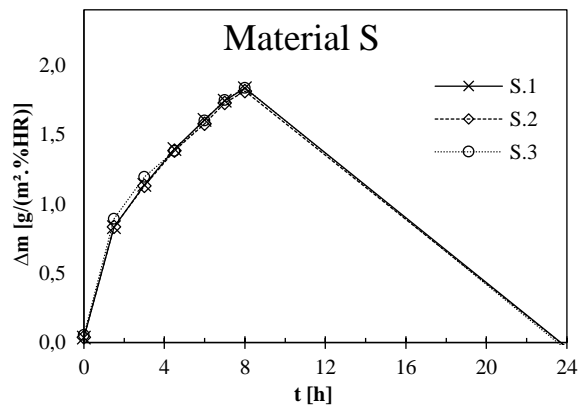
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material S



**Gráficos do ciclo estável**

Material S



	S1	S2	S3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	1,84	1,81	1,84	1,83	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.8**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” estuque projectado (E)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

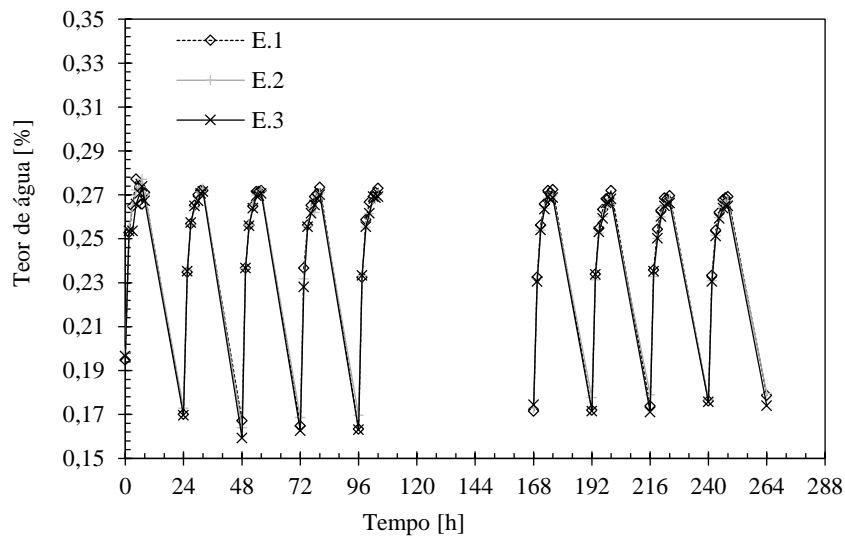
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

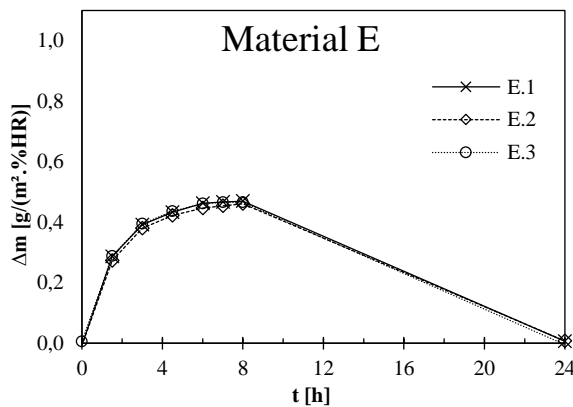
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

**Material E**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material E**



	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,47	0,46	0,47	0,47	0,00

**Ficha ensaio MBV 1.9**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das estuque projectado pintado (EP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

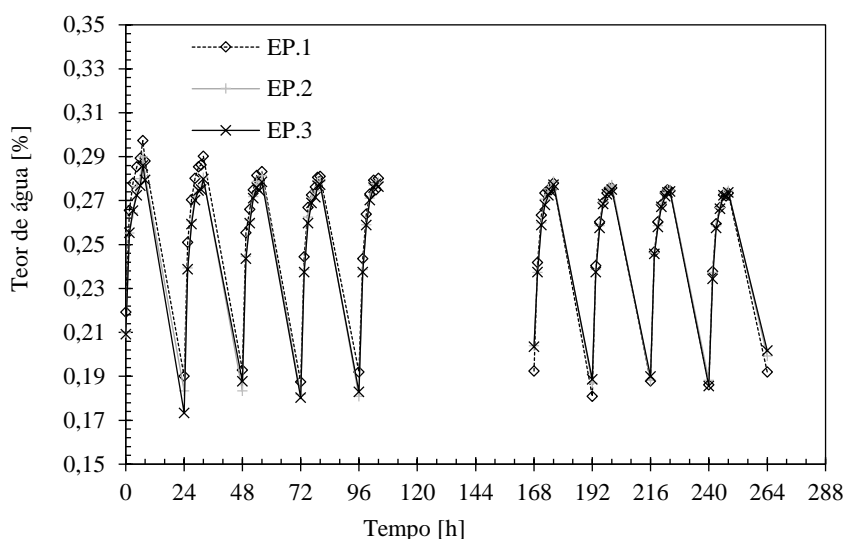
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

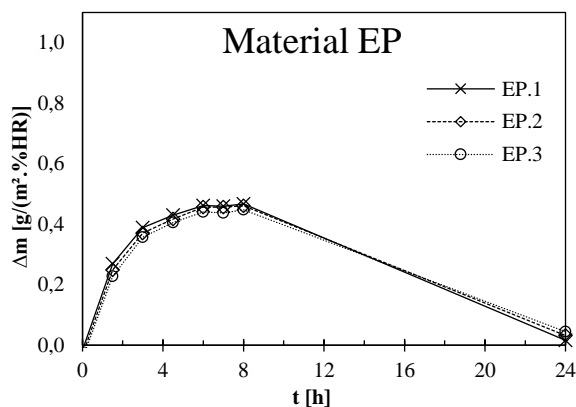
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

**Material EP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material EP**



	<b>EP1</b>	<b>EP2</b>	<b>EP3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,47	0,46	0,45	0,46	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.10**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de revestimento de celulose projectada (N)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** revestimento de celulose projectada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Revestimento pré doseado misturado em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

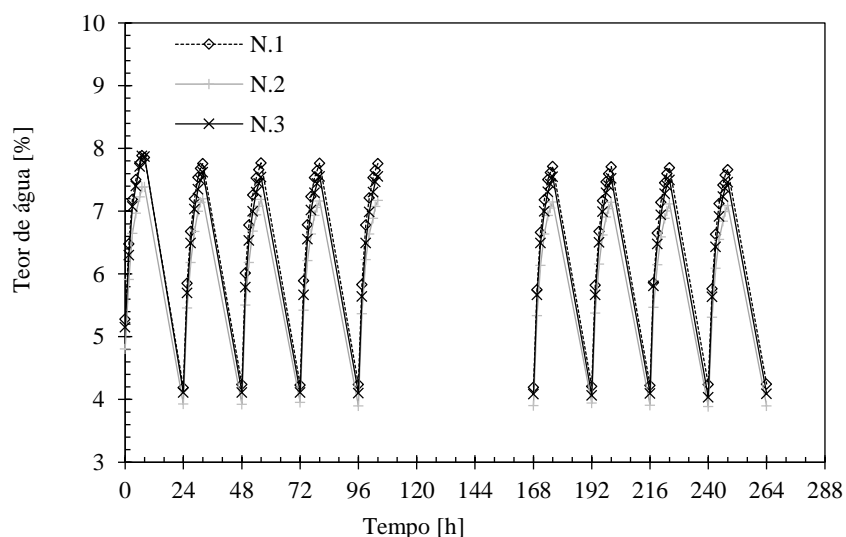
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,013) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 183 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

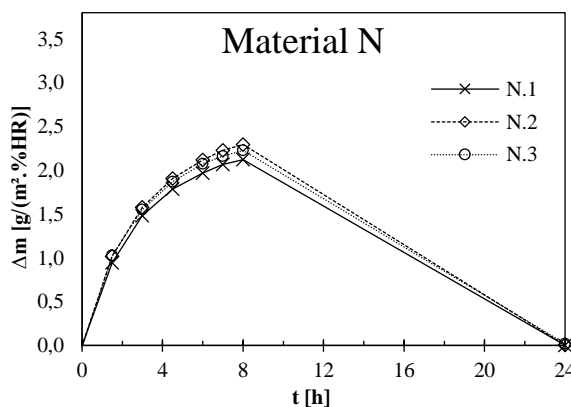
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material N



**Gráficos do ciclo estável**

Material N



	N1	N2	N3	Média	Desvio
MBV	2,12	2,30	2,23	2,21	0,07

**Ficha ensaio MBV 1.11**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de gesso cartonado (G)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placas de gesso cartonado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

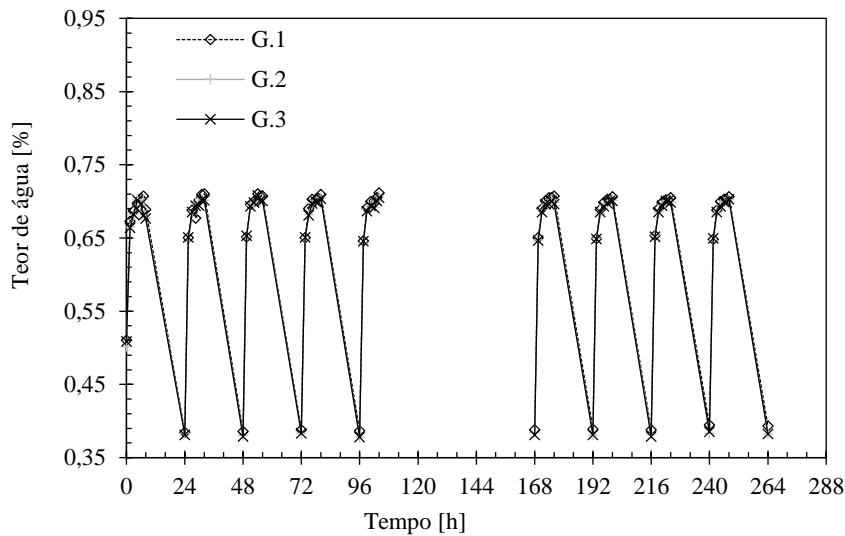
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

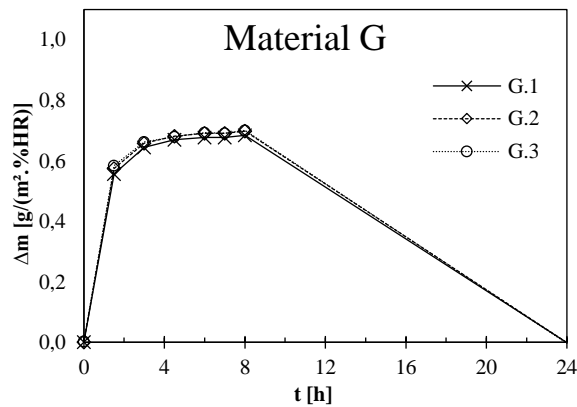
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material G



**Gráficos do ciclo estável**

Material G



	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,68	0,70	0,70	0,69	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.12**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de gesso cartonado pintada (GP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placas de gesso cartonado pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

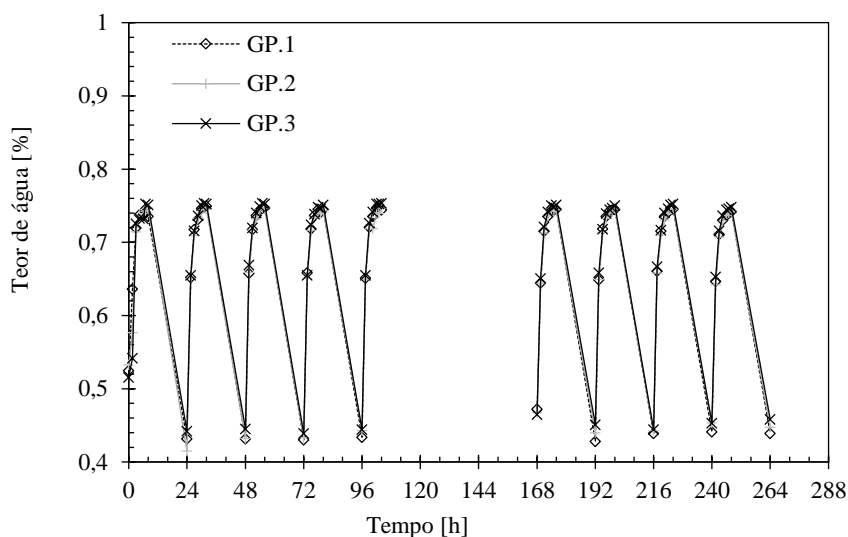
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

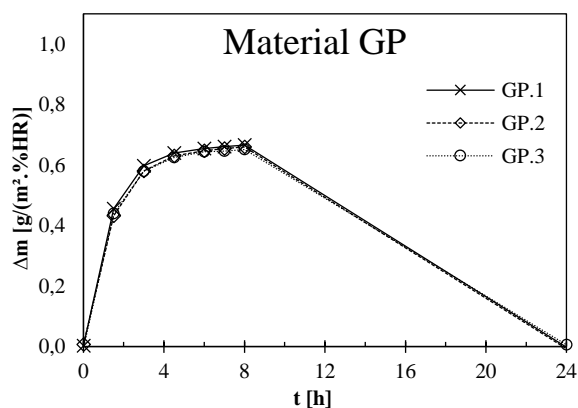
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material GP



**Gráficos do ciclo estável**

Material GP



	GP1	GP2	GP3	Média	Desvio
MBV	0,67	0,66	0,65	0,66	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.13**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de celulose reciclada (M)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placa de celulose reciclada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

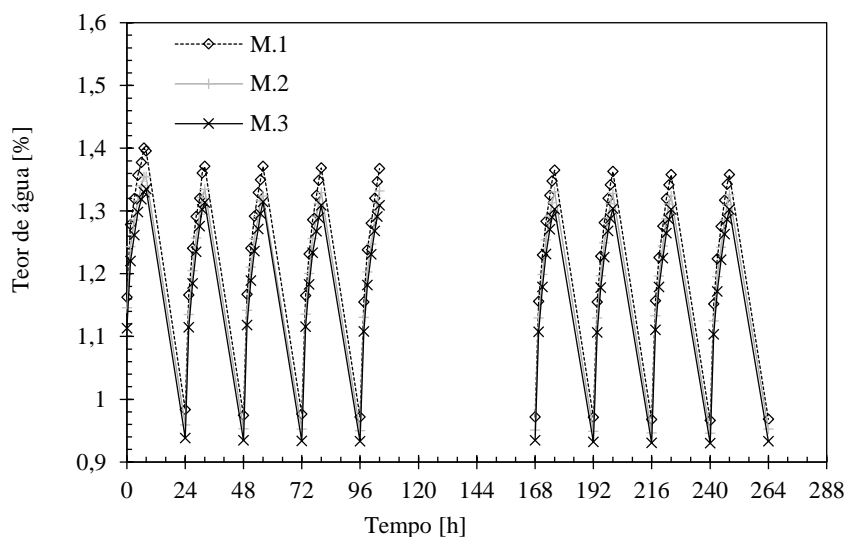
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

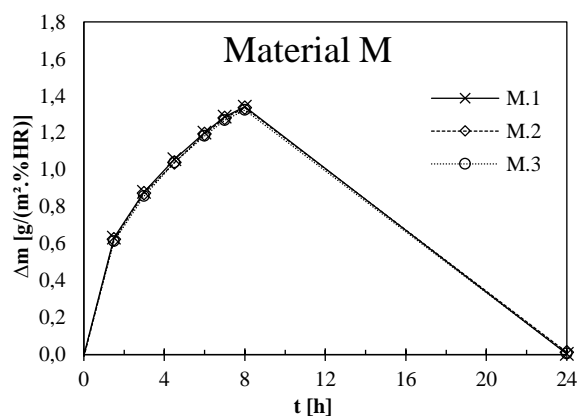
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material M



**Gráficos do ciclo estável**

Material M



	M1	M2	M3	Média	Desvio
MBV	1,34	1,34	1,32	1,33	0,01

**Ficha ensaio MBV 1.14**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de celulose reciclada pintada (MP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placa de celulose reciclada pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

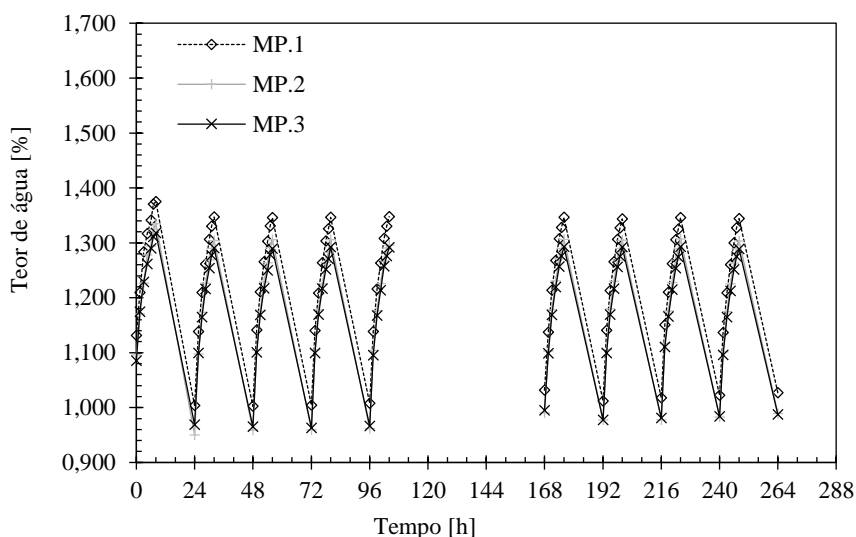
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

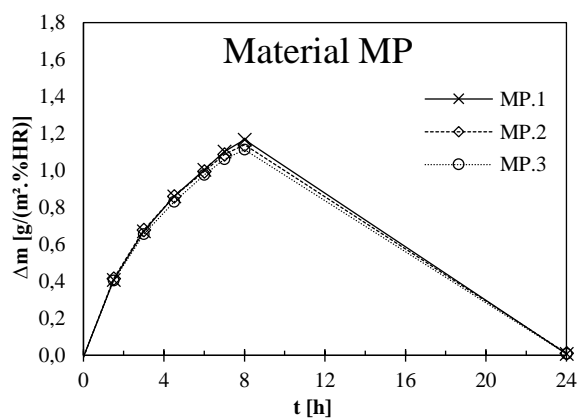
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

**Material MP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material MP**



	MP1	MP2	MP3	Média	Desvio
MBV	1,17	1,14	1,11	1,14	0,02

**Ficha ensaio MBV 1.15**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” dos painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (O)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais

**Método de Preparação dos Provete:**

Fornecimento e corte pela empresa comercializante;

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 x 0,1) m<sup>3</sup>

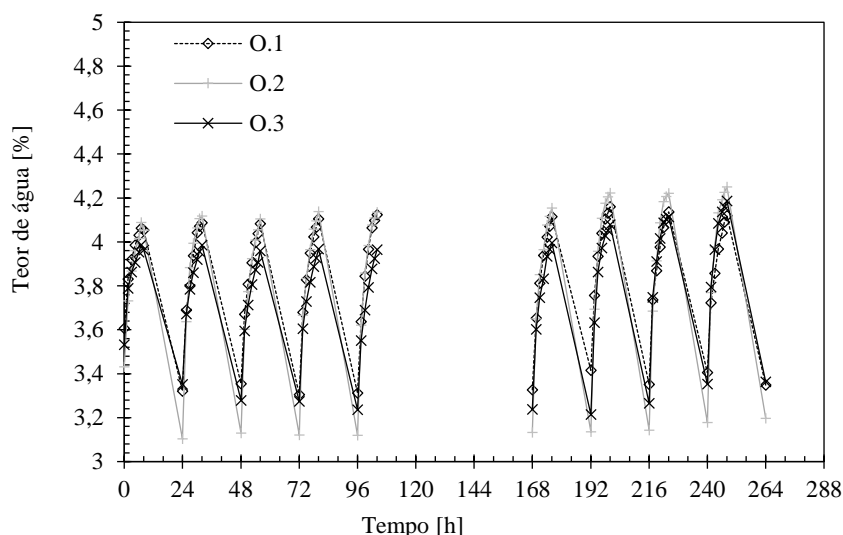
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,030) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 879 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

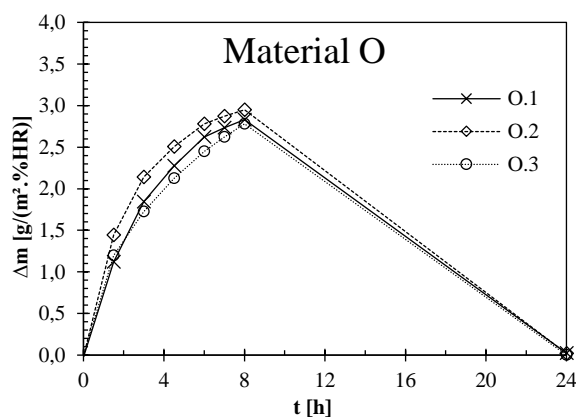
**Gráficos dos ciclos MBV 1**

Material O



**Gráficos do ciclo estável**

Material O



	O1	O2	O3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	2,83	2,95	2,78	2,85	0,07

**Ficha de ensaio MBV 2.0 – Dados gerais****REFERÊNCIAS NORMATIVAS**

Protocolo de Ensaio: “Nordtest Method: Measuring Moisture Buffer Value for Homogeneous Materials or Composite Systems Exposed to Indoor Air”

**EQUIPAMENTO UTILIZADO****Câmara climática:**

- Marca/modelo: Aralab Fitoclima 300 EDTU
- Controle de temperatura:  $-20\text{ °C} \leq T \leq 180\text{ °C}$  – flutuação no tempo  $< \pm 0,5\text{ °C}$
- Controle de humidade:  $10\% \leq HR \leq 98\%$  – flutuação no tempo  $< \pm 1\%$

**Balança:**

- Marca/modelo: Adam APF 720L
- Precisão: 0,001 g

**PROCESSO DE ENSAIO**

**Período de ensaio:** 18/04/2016 - 30/04/2016

**Execução do ensaio:**

O ensaio é realizado na câmara climática programada para realizar transição de humidade relativa dos ciclos a temperatura constante.

Os provetes previamente impermeabilizados são colocados no interior da câmara climática, em suportes metálicos e pré-condicionados até estabilizarem a uma temperatura constante de 23°C e HR de 50 %

Os ciclos iniciam após o pré-condicionamento;

A pesagem dos provetes é realizada de forma individual, é realizada uma pesagem na transição da HR e cinco pesagem durante a fase de adsorção.

A exposição aos ciclos mantém-se até que a diferença de massa entre os últimos três ciclos seja inferior a 5% e também que se verifique que a diferença entre o ganho e perda de massa em cada ciclo é inferior a 5%.

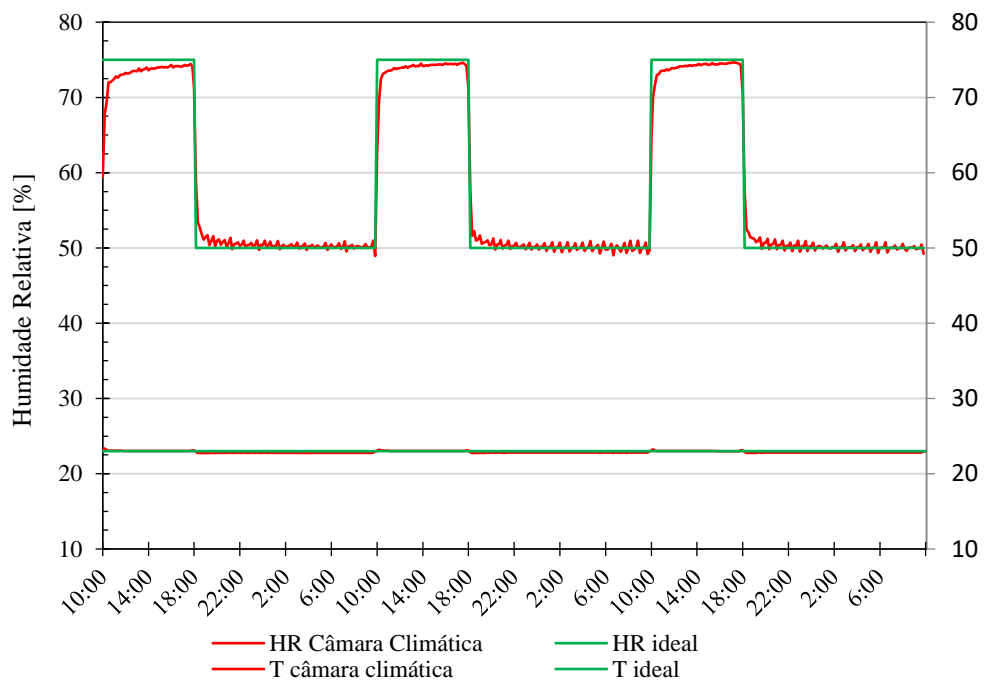
### Condições do ensaio:

Temperatura:  $23 \pm 0,5$  °C

Velocidade média do ar: 0,5 m/s

HR pretendida (%)	75	50
HR média (%)	74,1	50,2
Tempo (h)	8	16

### Varição real da humidade relativa



**Ficha ensaio MBV 2.1**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas bastarda (B)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

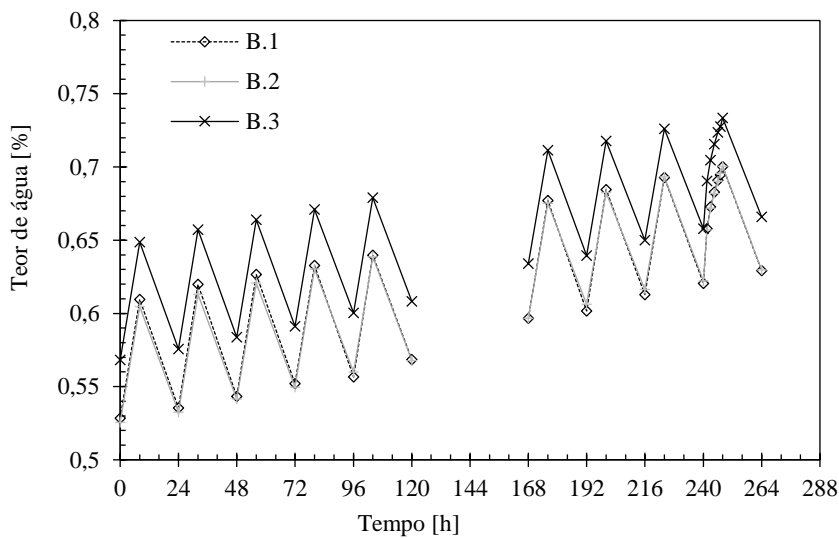
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

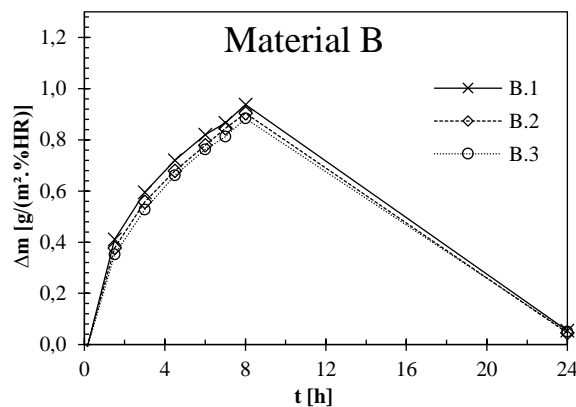
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material B**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material B**



	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,94	0,90	0,88	0,91	0,02

**Ficha ensaio MBV 2.2**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas bastarda pintada (BP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

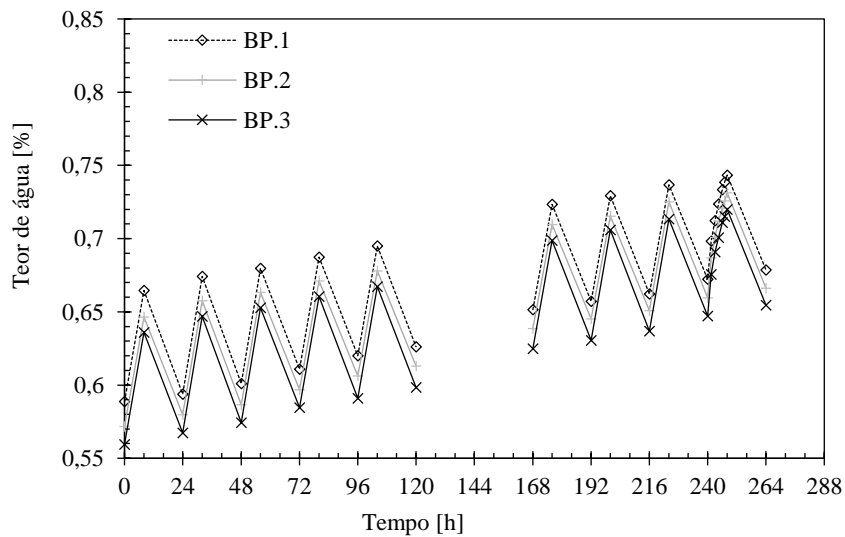
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

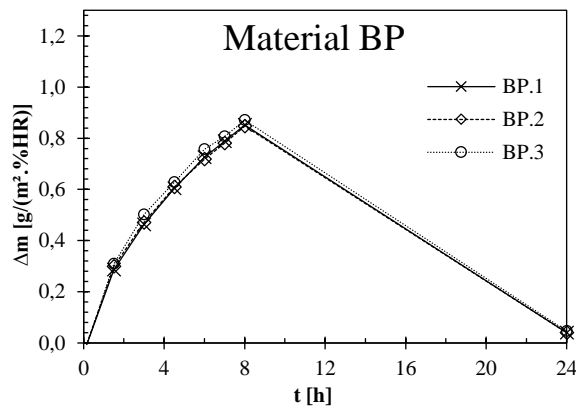
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material BP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material BP**



	<b>BP1</b>	<b>BP2</b>	<b>BP3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,85	0,85	0,87	0,86	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.3**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cimento (C)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cimento Portland II.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

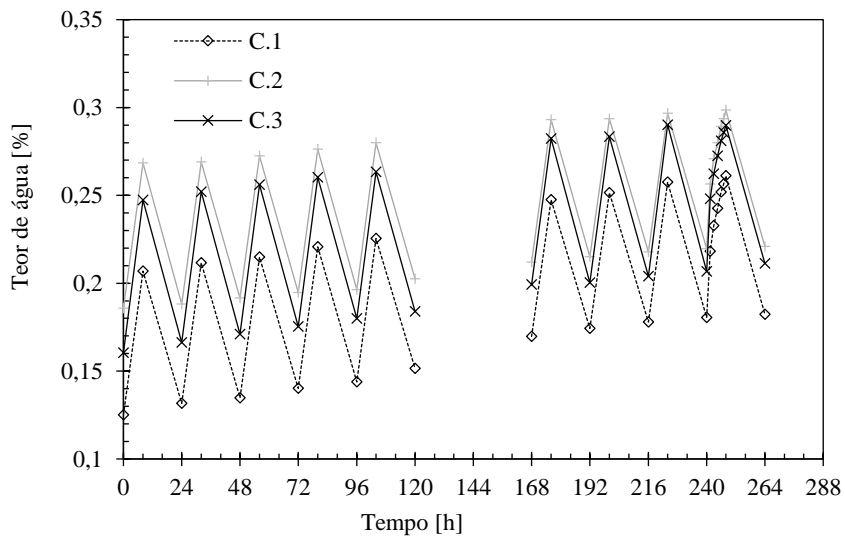
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

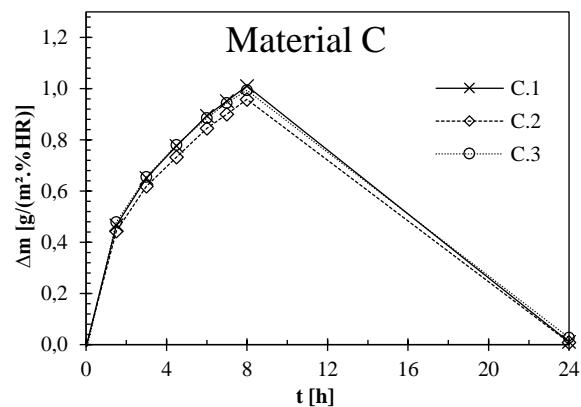
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material C**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material C**



	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	1,01	0,96	0,99	0,99	0,02

**Ficha ensaio MBV 2.4**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cimento pintada (CP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cimento Portland II pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

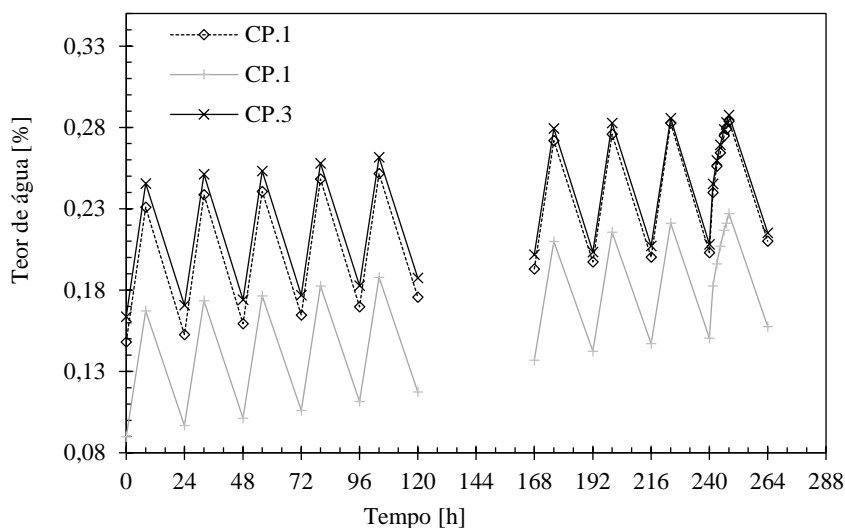
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

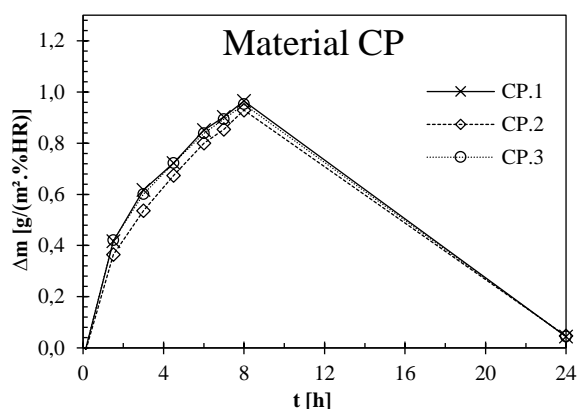
**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos dos ciclos MBV 2**  
Material CP



**Gráficos do ciclo estável**



	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	1,01	0,92	0,98	0,97	0,04

**Ficha ensaio MBV 2.5**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cal hidráulica natural (NHL)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cal hidráulica natural.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

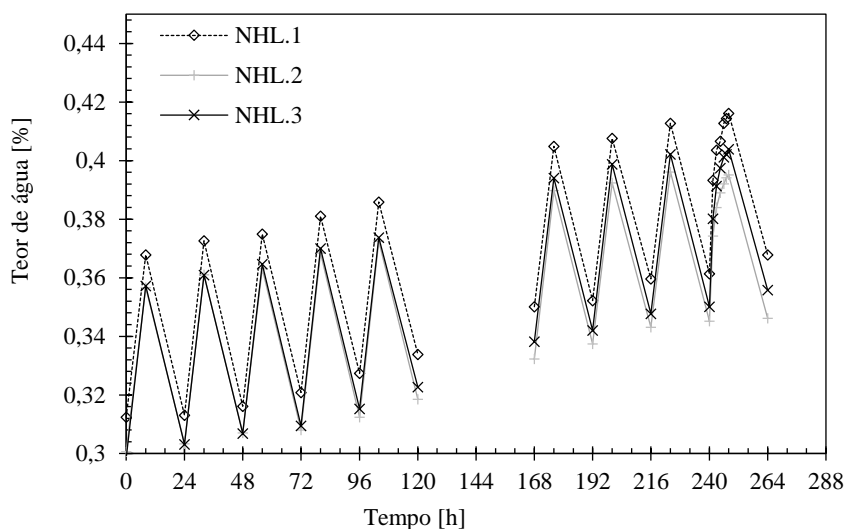
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

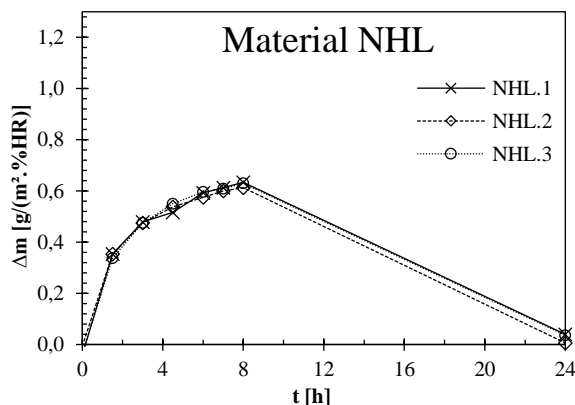
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material NHL



**Gráficos do ciclo estável**

Material NHL



	NHL1	NHL2	NHL3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,64	0,64	0,66	0,65	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.6**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cal hidráulica natural pintada (NHLP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cal hidráulica natural pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira; Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

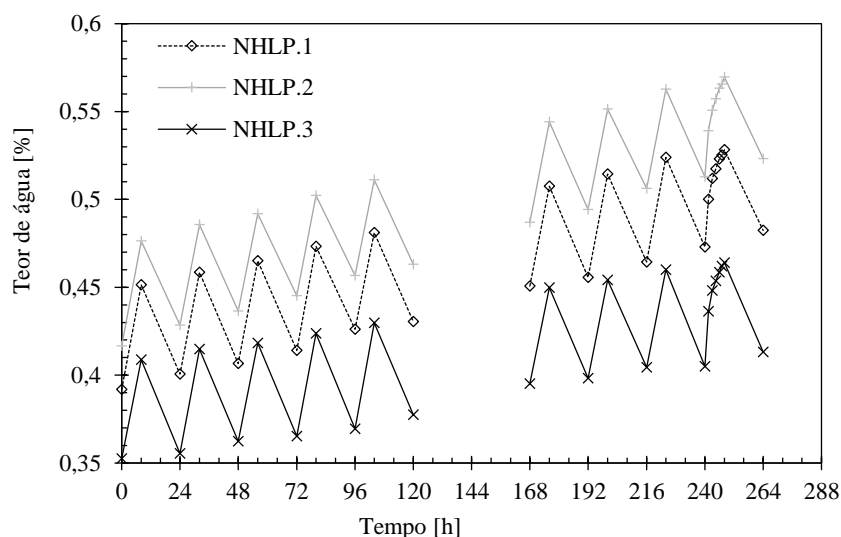
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

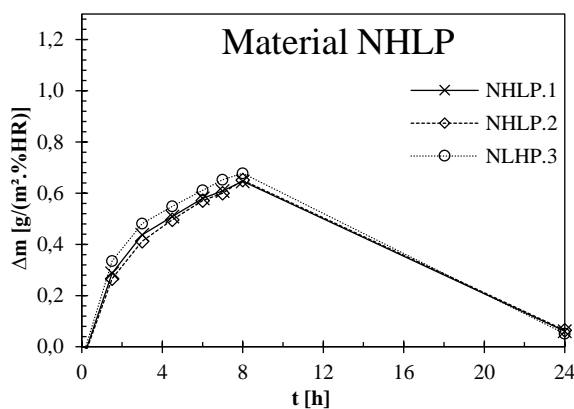
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material NHLP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material NHLP**



	NHLP1	NHLP2	NHLP3	Média	Desvio
MBV	0,65	0,65	0,68	0,66	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.7**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de terra (S)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** argamassa de terra.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

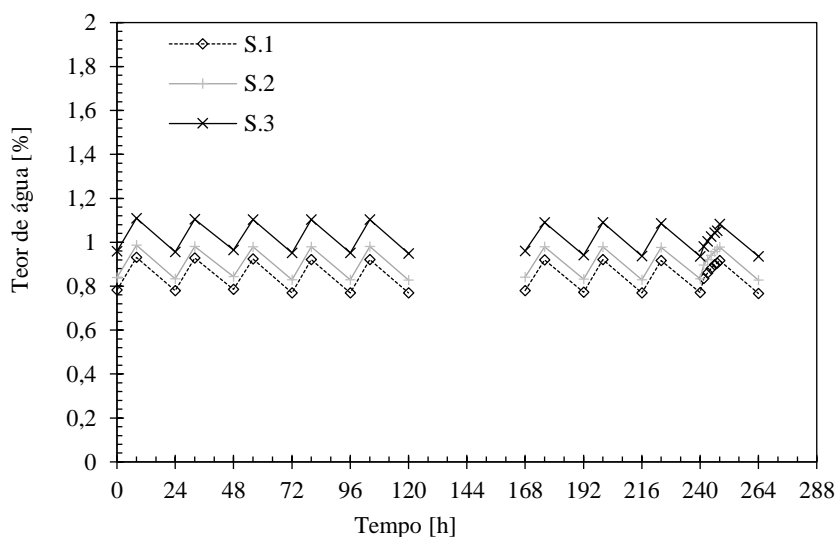
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 2 106 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

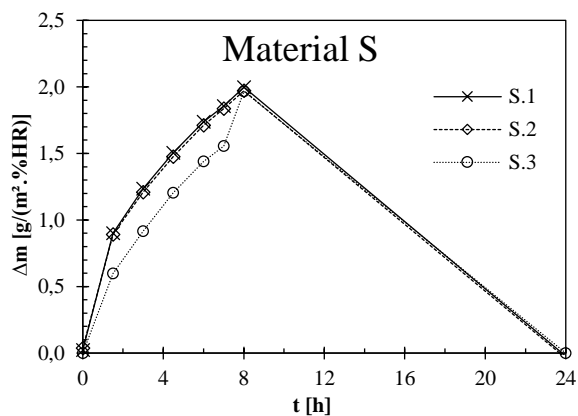
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material S**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material S**



	S1	S2	S3	Média	Desvio
MBV	2,00	1,97	1,97	1,98	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.8**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” estuque projectado (E)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

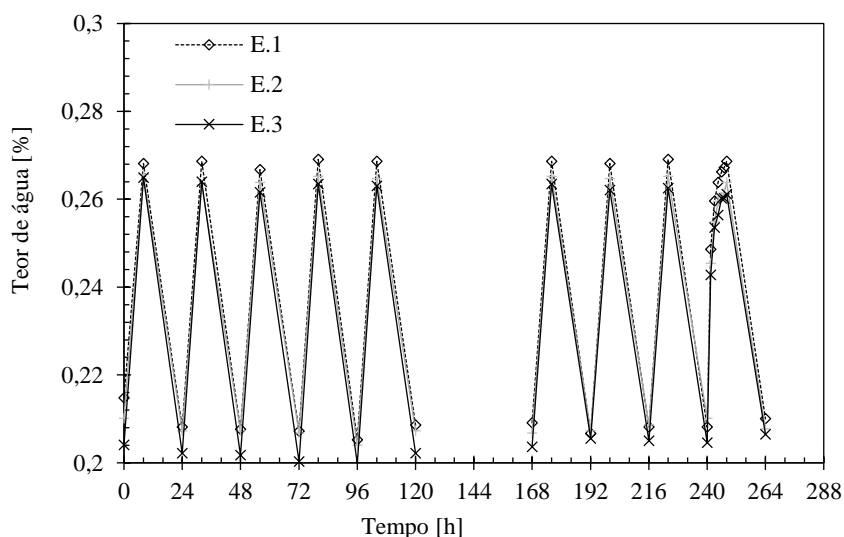
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

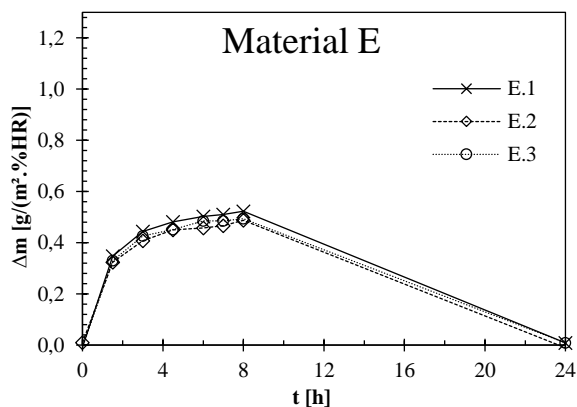
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material E**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material E**



	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,52	0,49	0,49	0,50	0,02

**Ficha ensaio MBV 2.9**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das estuque projectado pintado (EP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

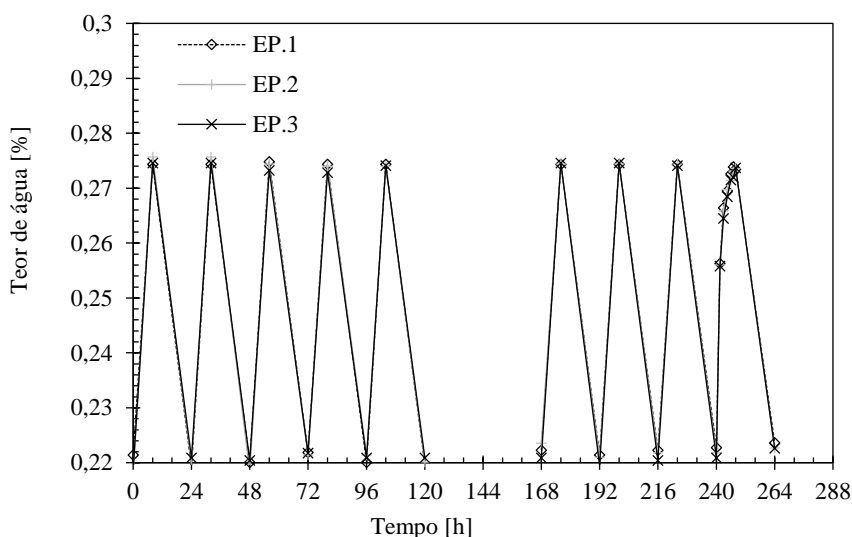
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

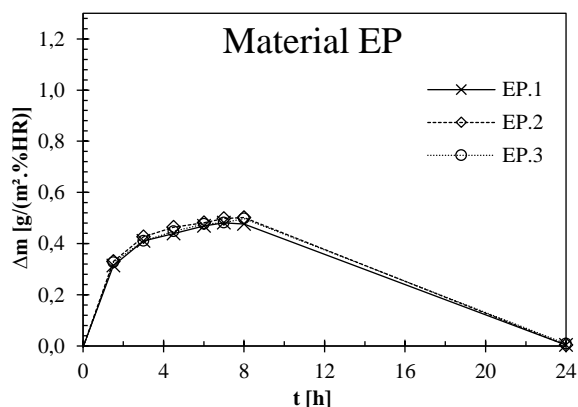
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material EP



**Gráficos do ciclo estável**

Material EP



	EP1	EP2	EP3	Média	Desvio
MBV	0,48	0,50	0,50	0,49	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.10**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de revestimento de celulose projectada (N)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** revestimento de celulose projectada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Revestimento pré doseado misturado em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

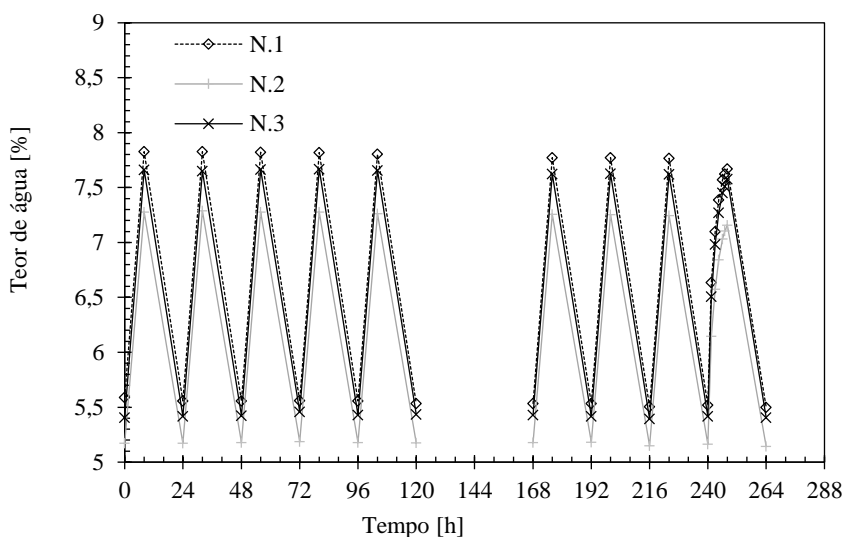
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,013) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 183 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

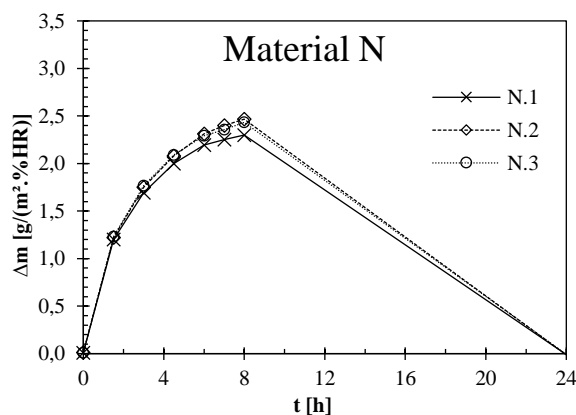
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material N



**Gráficos do ciclo estável**

Material N



	N1	N2	N3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	2,30	2,47	2,43	2,40	0,07

**Ficha ensaio MBV 2.11**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de gesso cartonado(G)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placas de gesso cartonado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

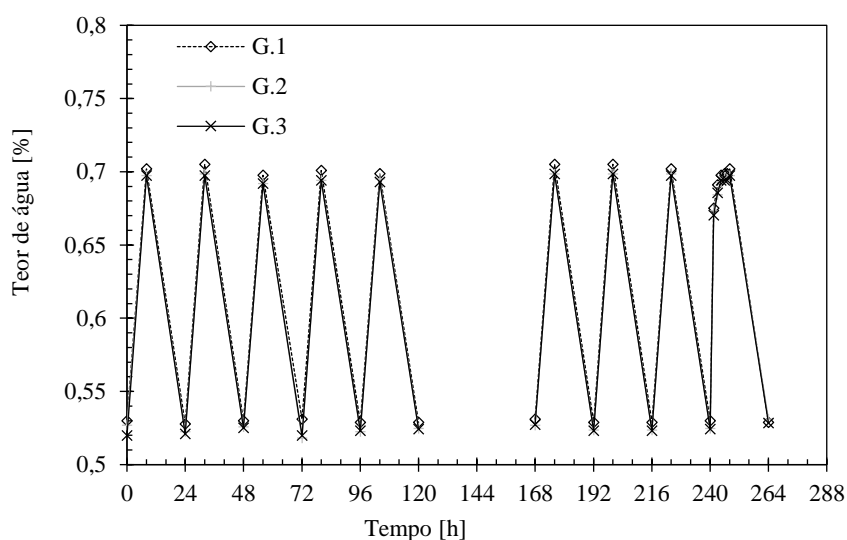
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

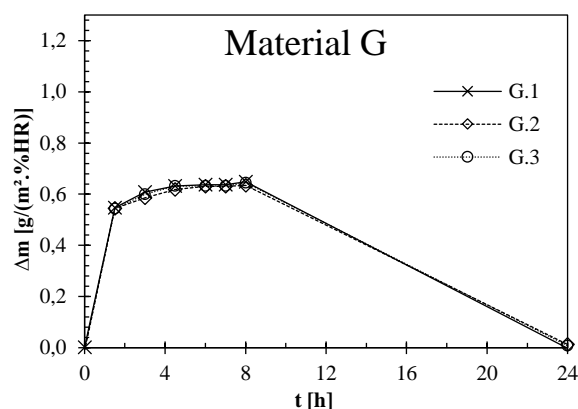
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

**Material G**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material G**



	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,65	0,63	0,64	0,64	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.12**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de gesso cartonadopintada (GP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placas de gesso cartonado pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

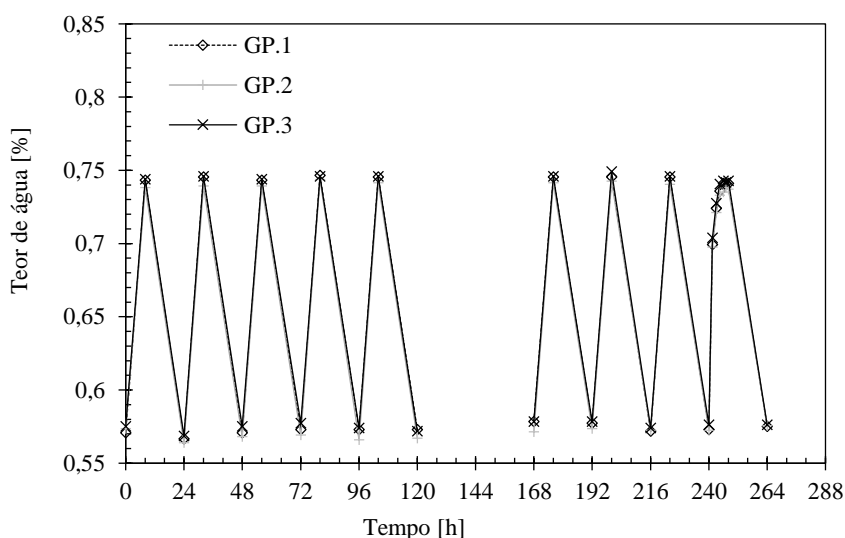
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

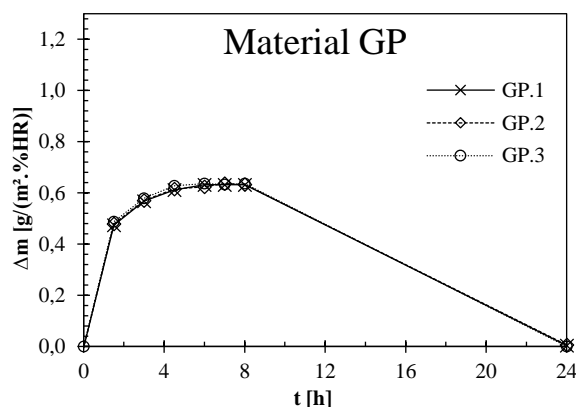
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material GP



**Gráficos do ciclo estável**

Material GP



	GP1	GP2	GP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,67	0,66	0,65	0,66	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.13**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de celulose reciclada (M)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placa de celulose reciclada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

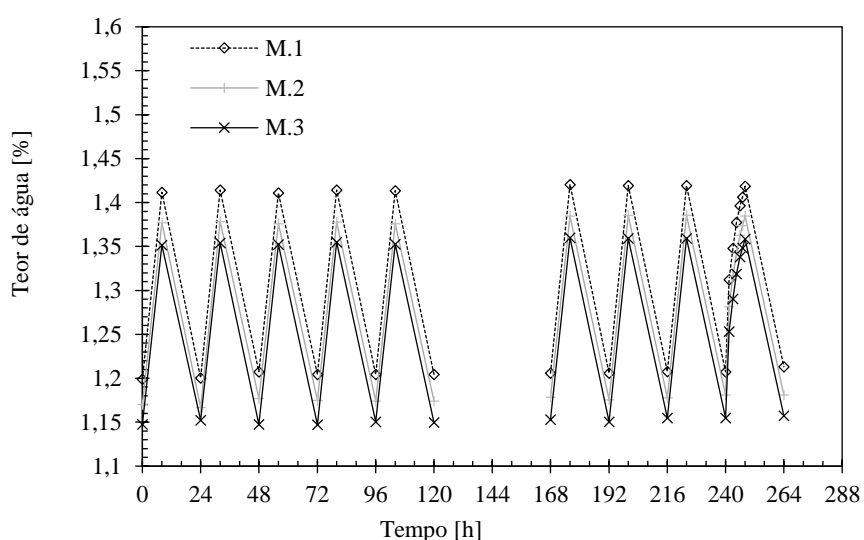
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

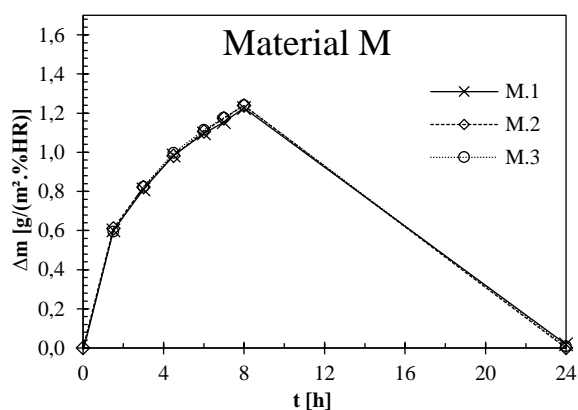
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material M



**Gráficos do ciclo estável**

Material M



	M1	M2	M3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	1,34	1,34	1,32	1,33	0,01

**Ficha ensaio MBV 2.14**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de celulose reciclada pintada (MP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placa de celulose reciclada pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

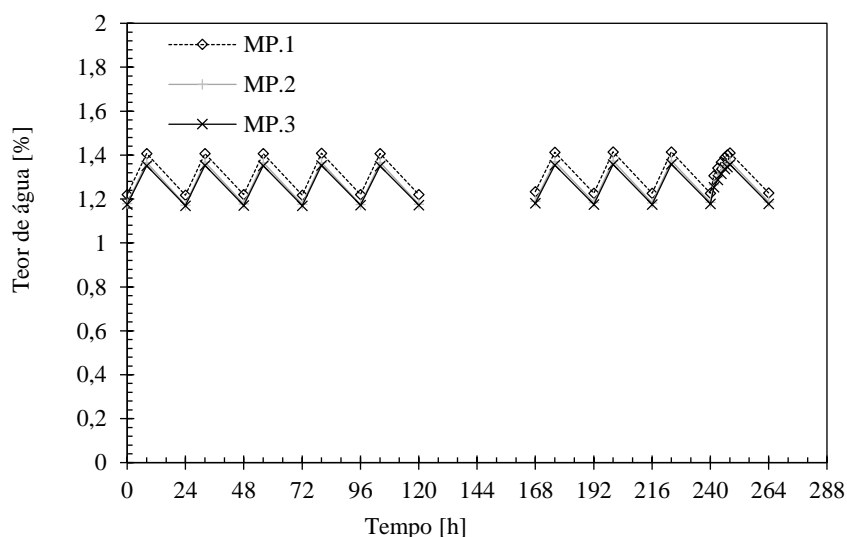
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

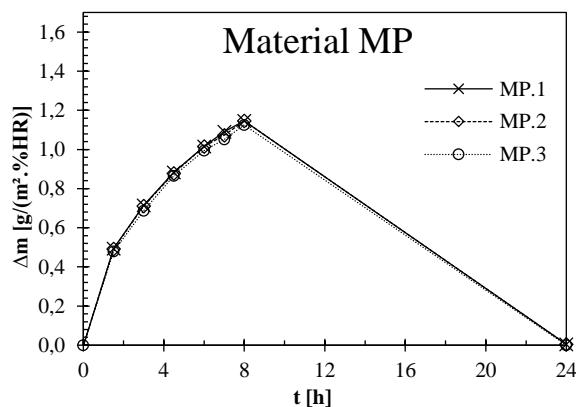
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material MP



**Gráficos do ciclo estável**

Material MP



	MP1	MP2	MP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	1,17	1,14	1,11	1,14	0,02

**Ficha ensaio MBV 2.15**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” dos painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (O)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais

**Método de Preparação dos Provete:**

Fornecimento e corte pela empresa comercializante;

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 x 0,1) m<sup>3</sup>

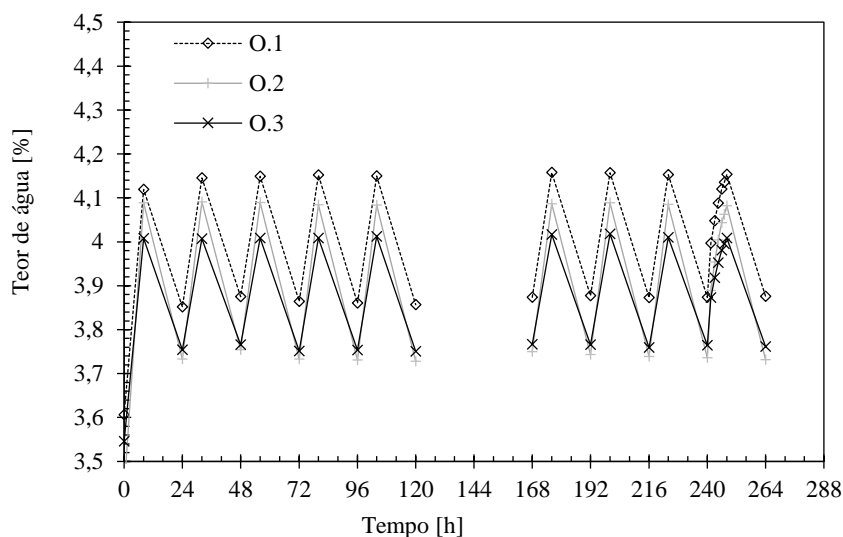
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,030) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 879 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

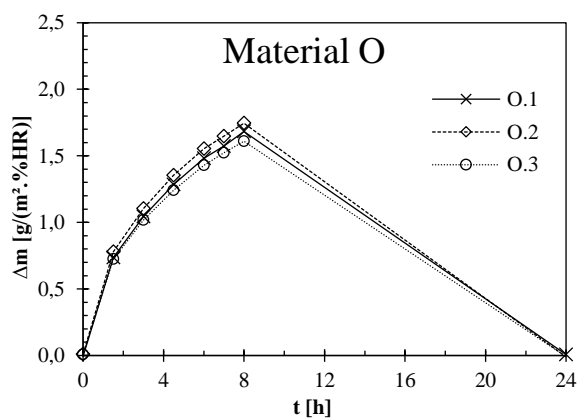
**Gráficos dos ciclos MBV 2**

Material O



**Gráficos do ciclo estável**

Material O



	O1	O2	O3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	2,83	2,95	2,78	2,85	0,07

**Ficha de ensaio MBV 3.0 – Dados gerais****REFERÊNCIAS NORMATIVAS**

Protocolo de Ensaio: “Nordtest Method: Measuring Moisture Buffer Value for Homogeneous Materials or Composite Systems Exposed to Indoor Air”

**EQUIPAMENTO UTILIZADO****Câmara climática:**

- Marca/modelo: Aralab Fitoclima 300 EDTU
- Controle de temperatura:  $-20\text{ °C} \leq T \leq 180\text{ °C}$  – flutuação no tempo  $< \pm 0,5\text{ °C}$
- Controle de humidade:  $10\% \leq HR \leq 98\%$  – flutuação no tempo  $< \pm 1\%$

**Balança:**

- Marca/modelo: Adam APF 720L
- Precisão: 0,001 g

**PROCESSO DE ENSAIO**

**Período de ensaio:** 02/05/2016 -16/05/2016

**Execução do ensaio:**

O ensaio é realizado na câmara climática programada para realizar transição de humidade relativa dos ciclos a temperatura constante.

Os provetes previamente impermeabilizados são colocados no interior da câmara climática, em suportes metálicos e pré-condicionados até estabilizarem a uma temperatura constante de 23°C e HR de 50 %

Os ciclos iniciam após o pré-condicionamento;

A pesagem dos provetes é realizada de forma individual, é realizada uma pesagem na transição da HR e cinco pesagem durante a fase de adsorção.

A exposição aos ciclos mantém-se até que a diferença de massa entre os últimos três ciclos seja inferior a 5% e também que se verifique que a diferença entre o ganho e perda de massa em cada ciclo é inferior a 5%.

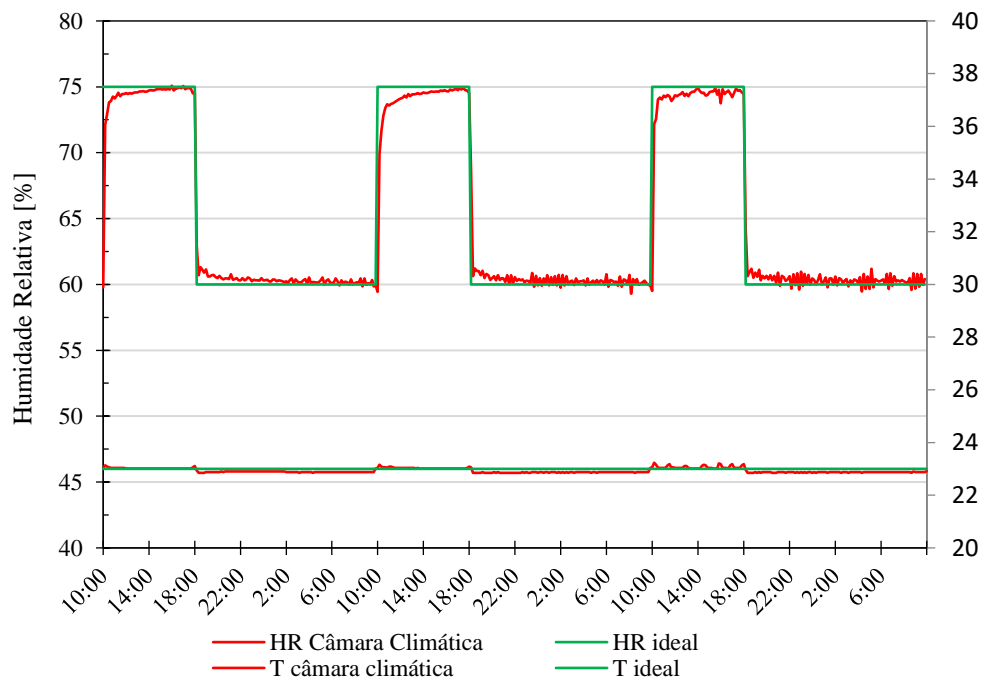
### Condições do ensaio:

Temperatura:  $23 \pm 0,5$  °C

Velocidade média do ar: 0,5 m/s

HR pretendida (%)	75	60
HR média (%)	74,5	60,3
Tempo (h)	8	16

### Varição real da humidade relativa



**Ficha ensaio MBV 3.1**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas bastarda (B)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

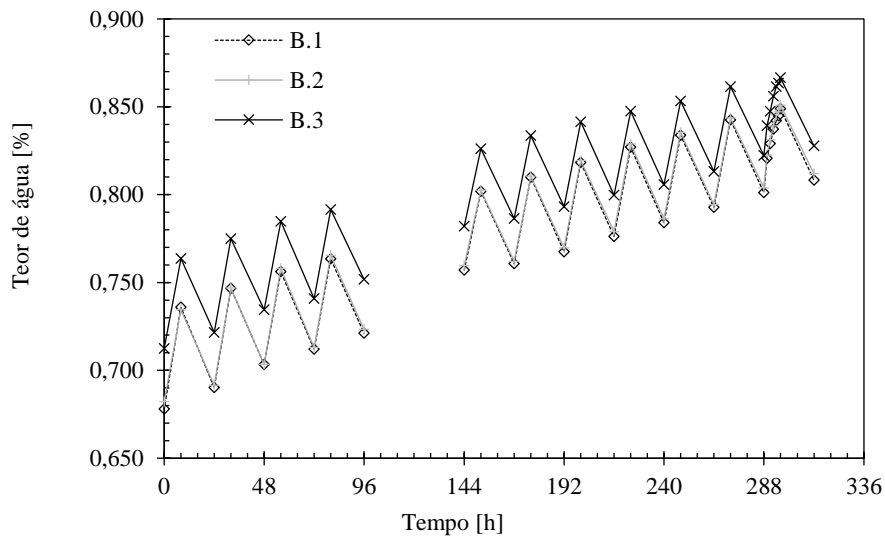
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

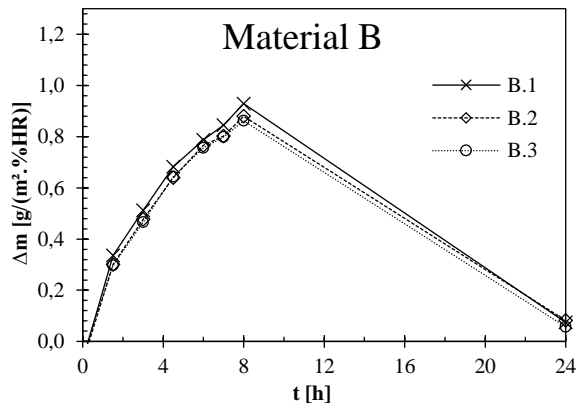
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material B**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material B**



	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,93	0,88	0,86	0,89	0,03

**Ficha ensaio MBV 3.2**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas bastarda pintada (BP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

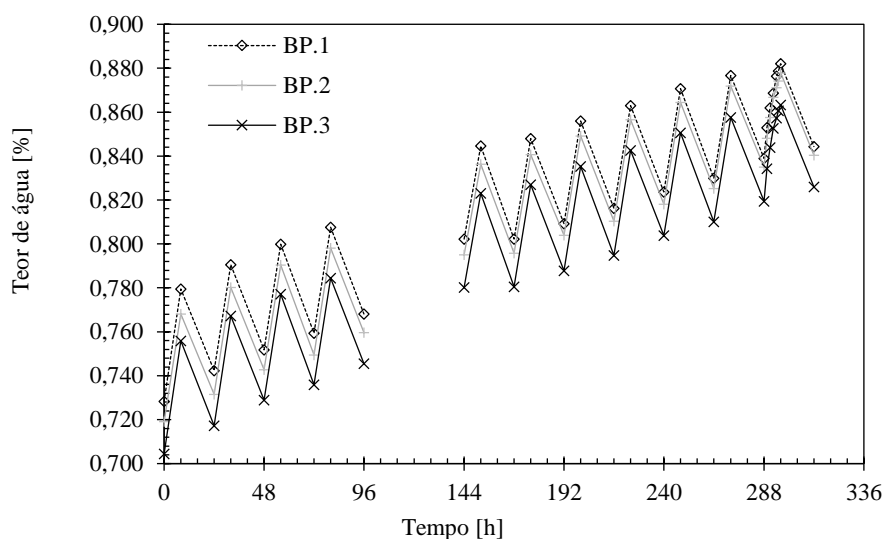
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

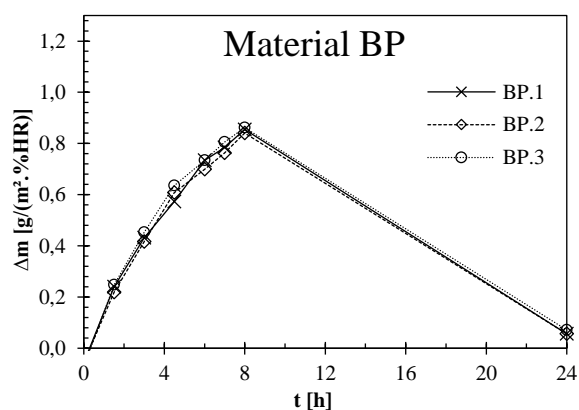
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material BP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material BP**



	<b>BP1</b>	<b>BP2</b>	<b>BP3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,85	0,84	0,86	0,85	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.3**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cimento (C)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cimento Portland II.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

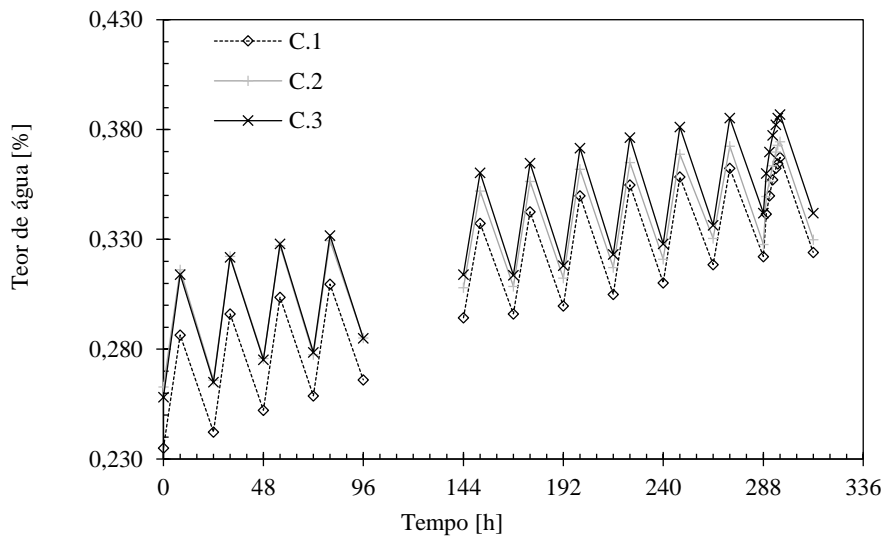
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

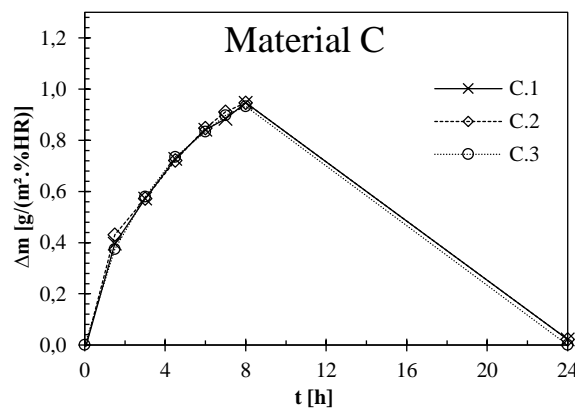
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material C**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material C**



	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,95	0,95	0,93	0,94	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.4**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cimento pintada (CP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cimento Portland II pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

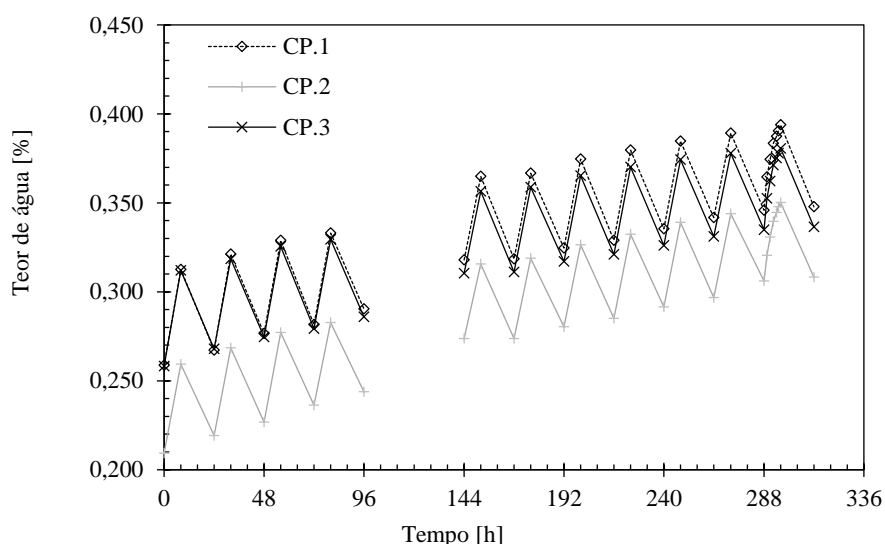
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

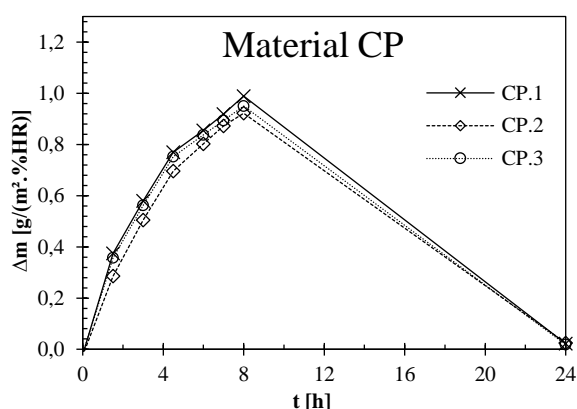
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material CP



**Gráficos do ciclo estável**

Material CP



	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,99	0,92	0,95	0,95	0,03

**Ficha ensaio MBV 3.5**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cal hidráulica natural (NHL)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cal hidráulica natural.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

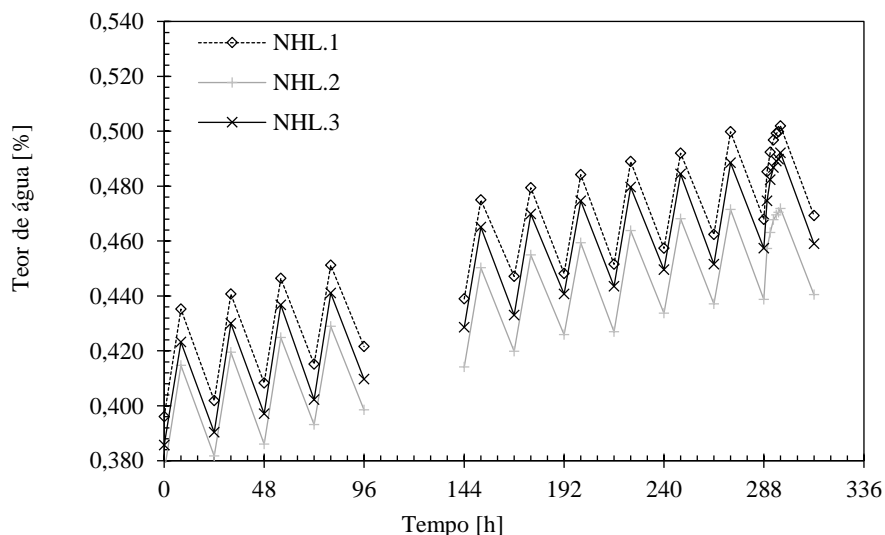
**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

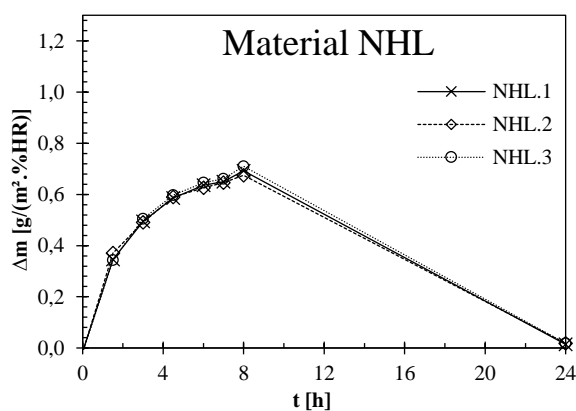
**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

**Gráficos dos ciclos MBV 3**  
Material NHL



**Gráficos do ciclo estável**



	NHL1	NHL2	NHL3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,69	0,67	0,71	0,69	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.6**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de cal hidráulica natural pintada (NHLP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** argamassa de cal hidráulica natural pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

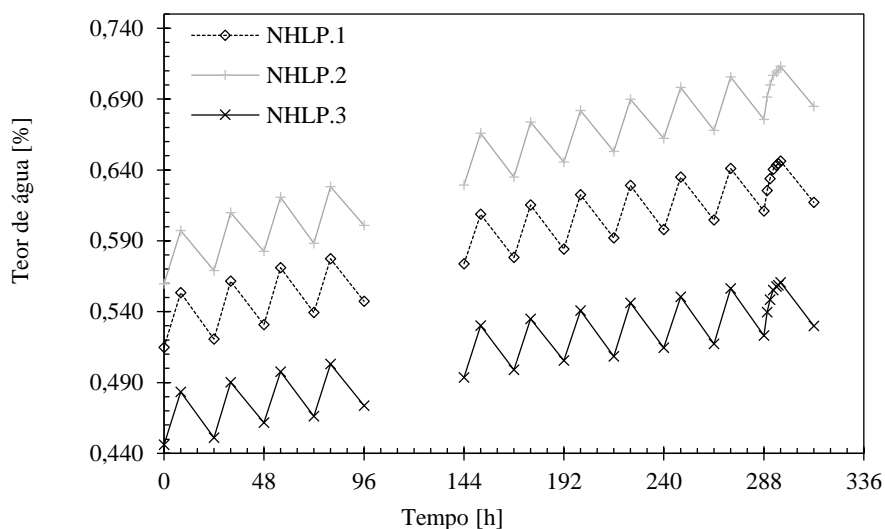
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

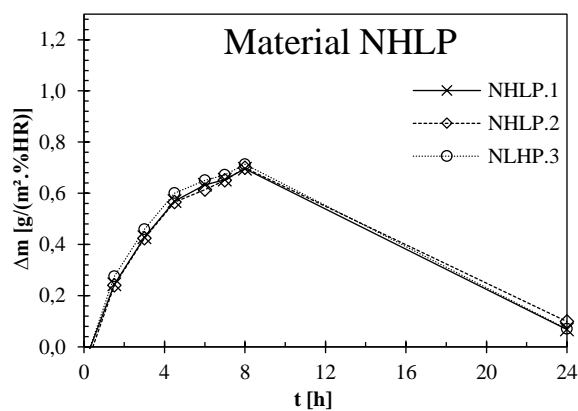
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material NHLP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material NHLP**



	NHLP1	NHLP2	NHLP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,70	0,70	0,71	0,70	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.7**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das argamassas de terra (S)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** argamassa de terra.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

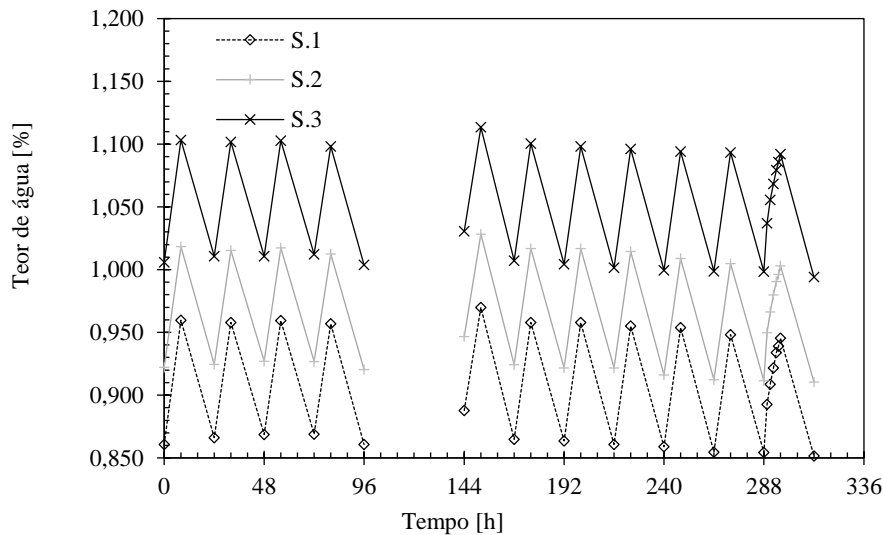
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 2 106 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

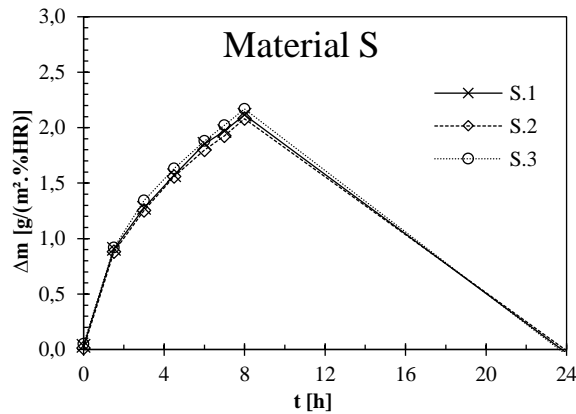
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material S



**Gráficos do ciclo estável**

Material S



	S1	S2	S3	Média	Desvio
MBV	2,12	2,08	2,17	2,12	0,04

**Ficha ensaio MBV 3.8**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” estuque projectado (E)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

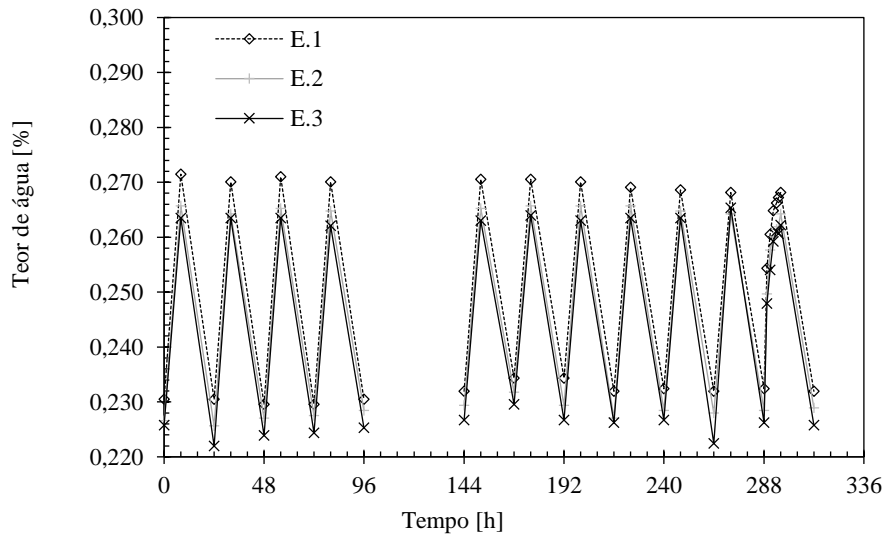
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

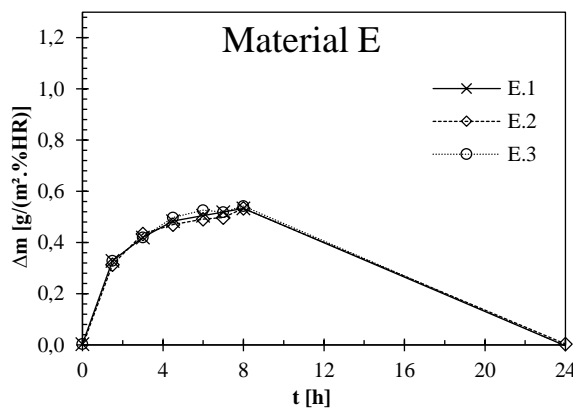
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material E**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material E**



	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,53	0,53	0,54	0,54	0,00

**Ficha ensaio MBV 3.9**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” das estuque projectado pintado(EP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** estuque projectado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

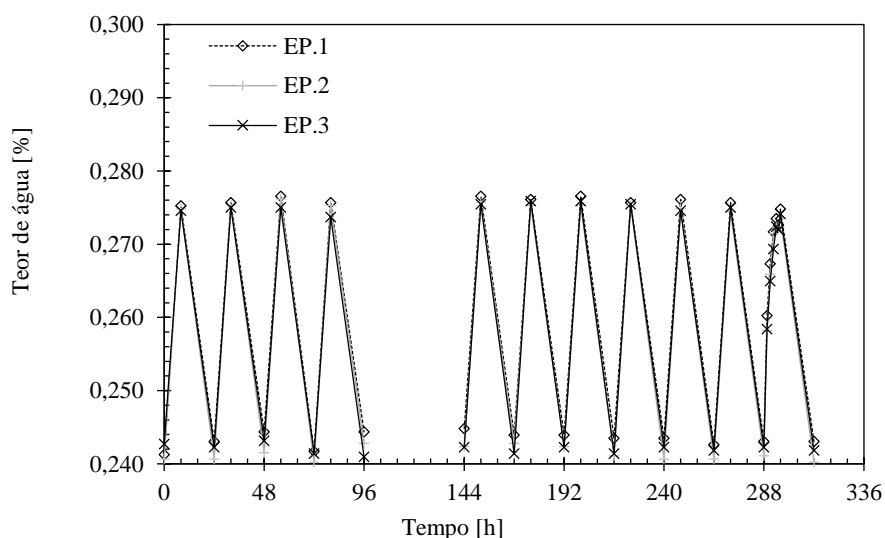
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

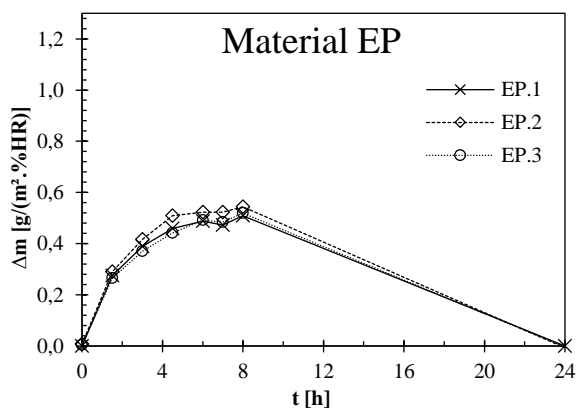
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material EP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material EP**



	EP1	EP2	EP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,51	0,54	0,52	0,52	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.10**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de revestimento de celulose projectada (N)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** revestimento de celulose projectada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Revestimento pré doseado misturado em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

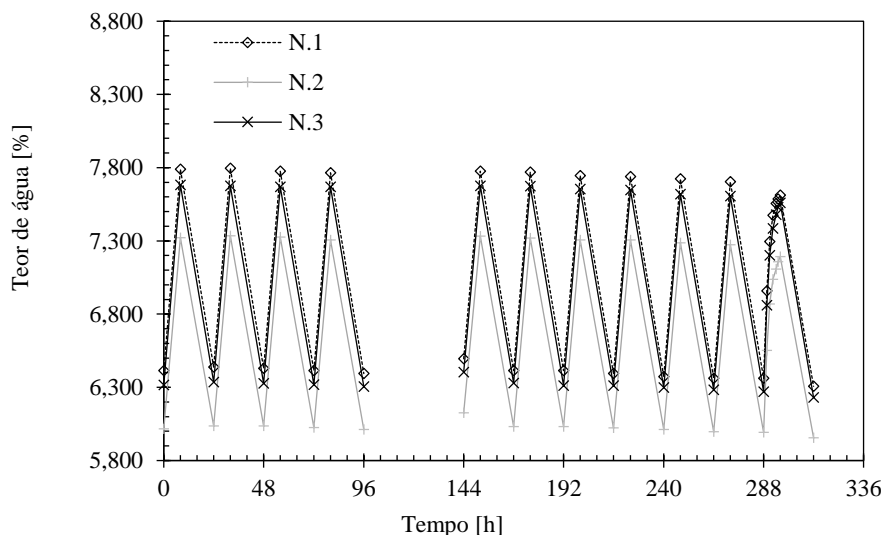
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,013) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 183 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

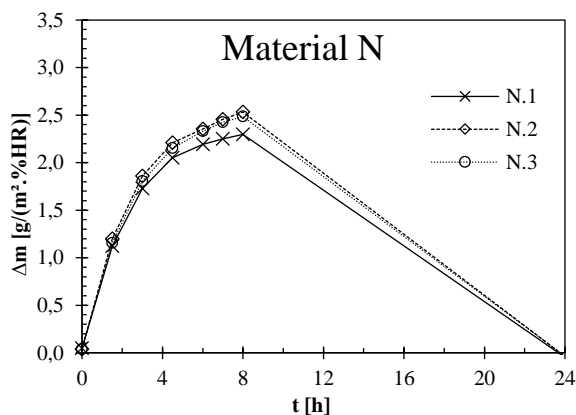
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material N



**Gráficos do ciclo estável**

Material N



	N1	N2	N3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	2,30	2,53	2,48	2,44	0,10

**Ficha ensaio MBV 3.11**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de gesso cartonado (G)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placas de gesso cartonado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

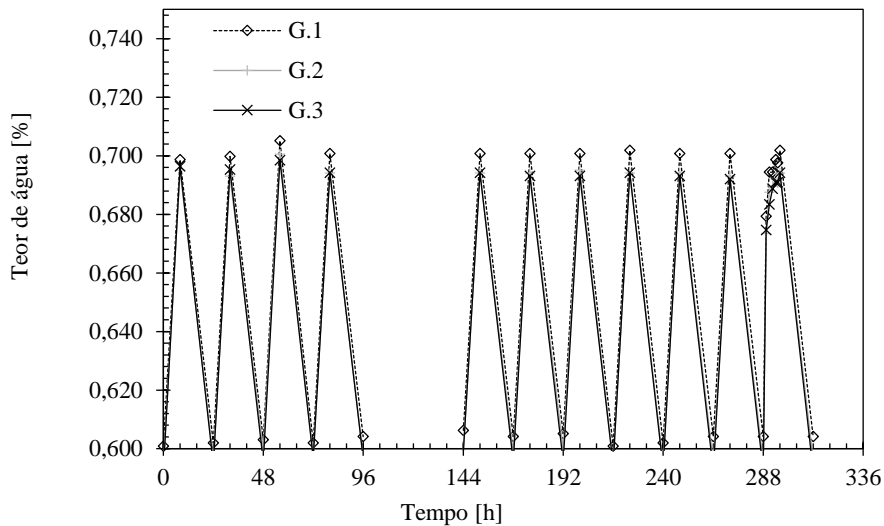
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

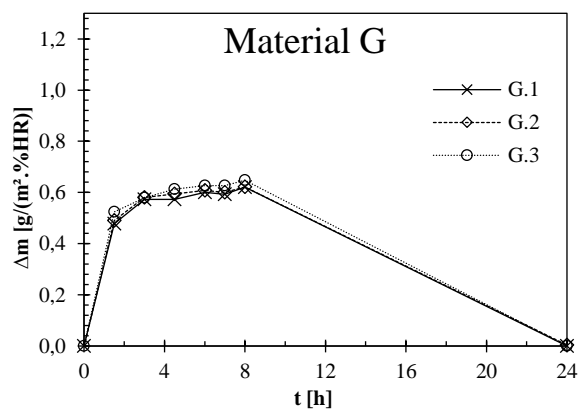
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material G



**Gráficos do ciclo estável**

Material G



	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>
<b>MBV</b>	0,62	0,62	0,65	0,63	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.12**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de gesso cartonado pintada (GP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placas de gesso cartonado pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

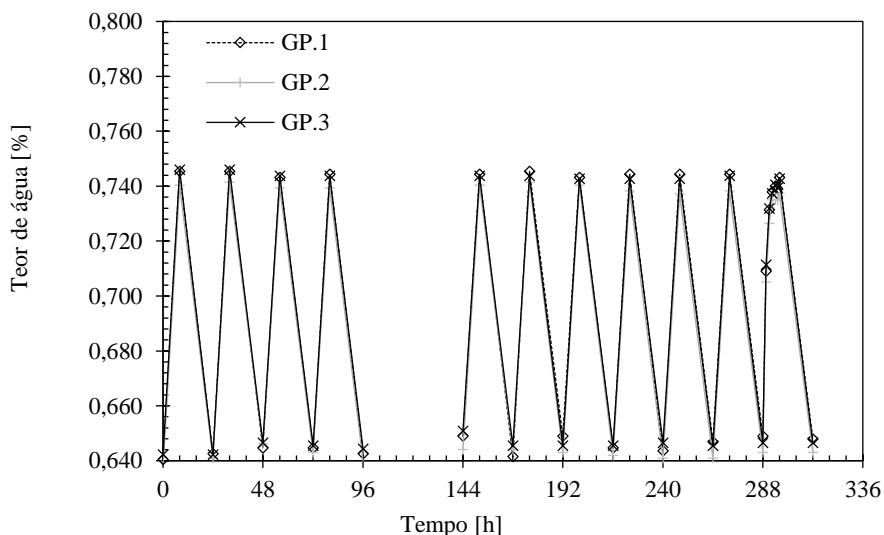
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

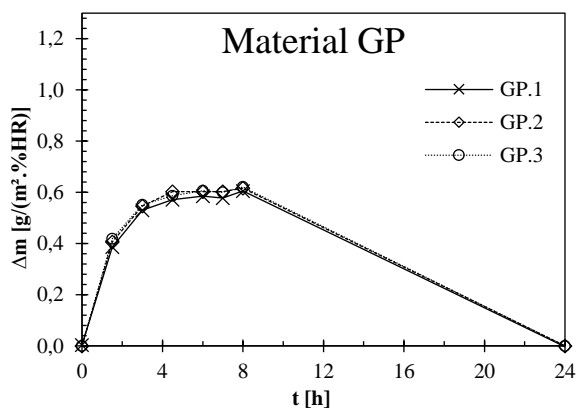
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material GP



**Gráficos do ciclo estável**

Material GP



	GP1	GP2	GP3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	0,61	0,62	0,62	0,61	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.13**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de celulose reciclada (M)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placa de celulose reciclada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

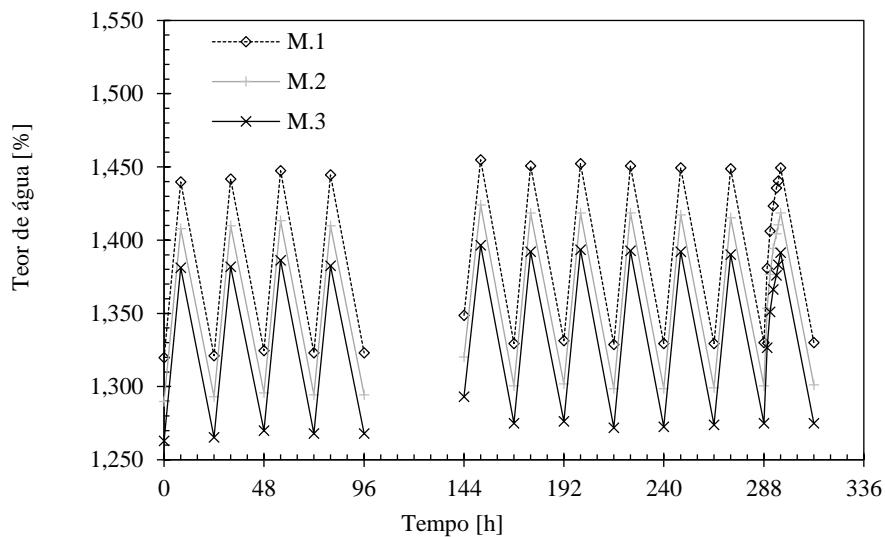
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

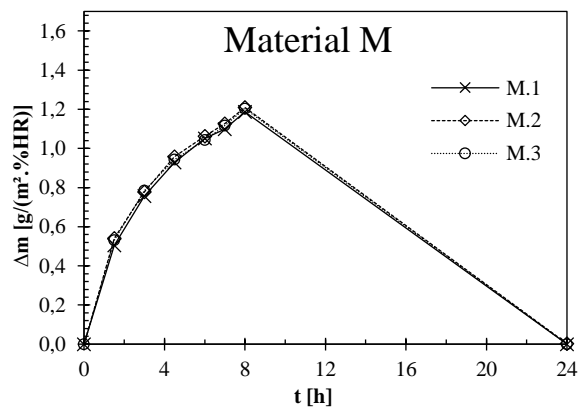
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material M



**Gráficos do ciclo estável**

Material M



	M1	M2	M3	Média	Desvio
MBV	1,19	1,21	1,20	1,20	0,01

**Ficha ensaio MBV 3.14**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” de placas de celulose reciclada pintada (MP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** placa de celulose reciclada pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces.

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

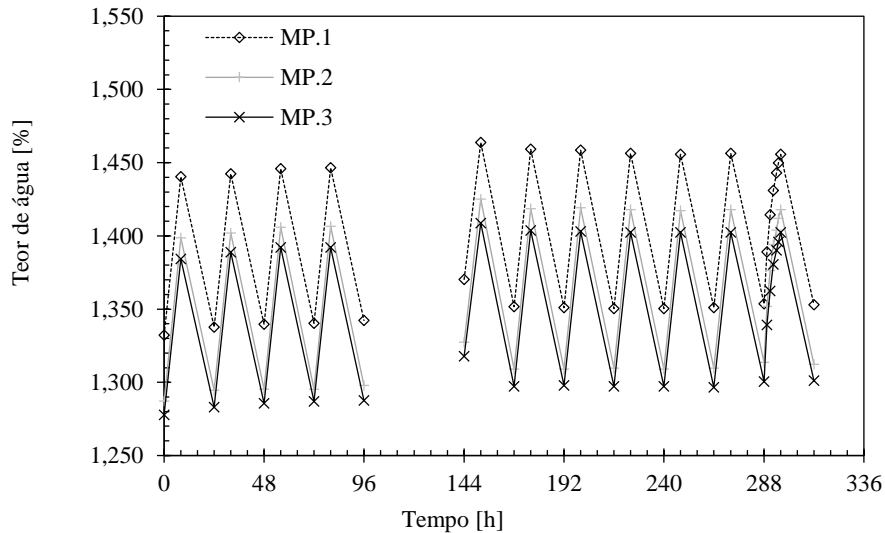
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

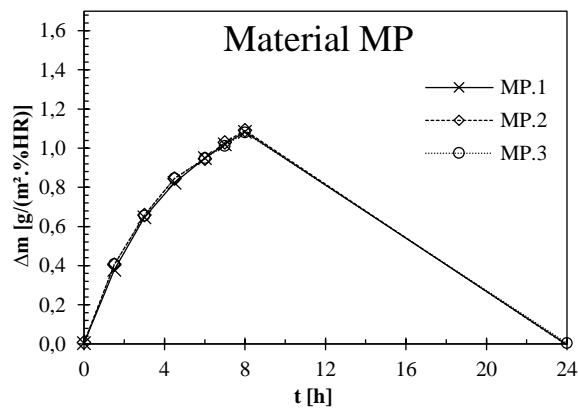
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

**Material MP**



**Gráficos do ciclo estável**

**Material MP**



	MP1	MP2	MP3	Média	Desvio
MBV	1,08	1,09	1,08	1,08	0,00

**Ficha ensaio MBV 3.15**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do MBV – “Moisture Buffer Value” dos painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (O)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais

**Método de Preparação dos Provete:**

Fornecimento e corte pela empresa comercializante;

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 x 0,1) m<sup>3</sup>

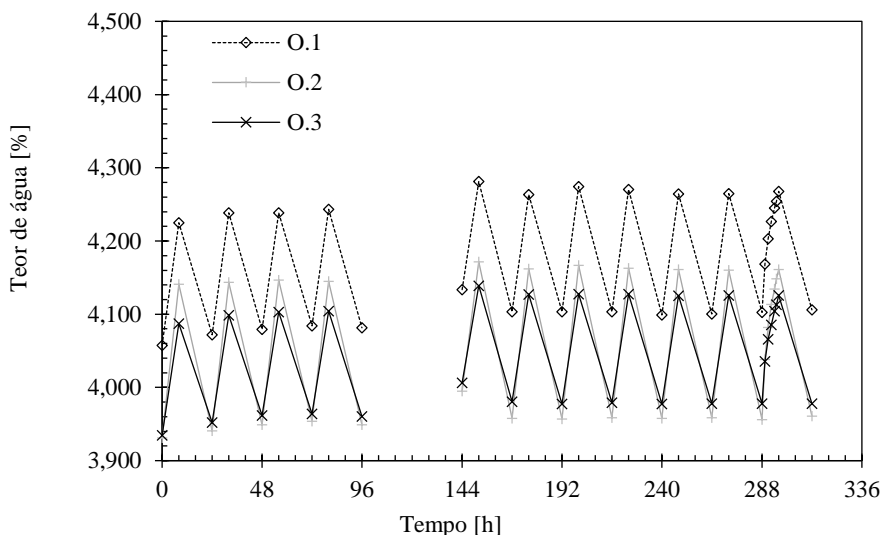
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,030) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 879 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

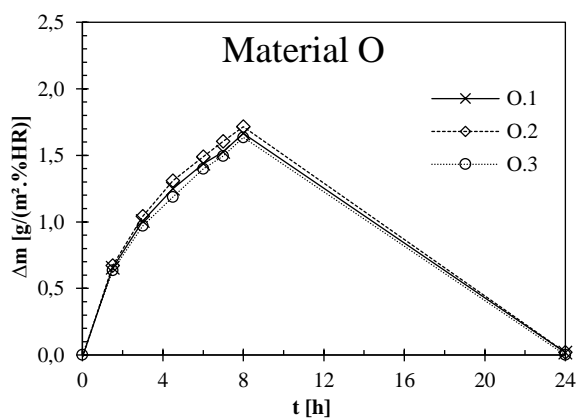
**Gráficos dos ciclos MBV 3**

Material O



**Gráficos do ciclo estável**

Material O



	O1	O2	O3	Média	Desvio
<b>MBV</b>	1,66	1,72	1,63	1,67	0,03

# **Anexo C**

## **Tempo de resposta**

**Ficha de ensaio tempo de resposta 1.0 – Dados gerais****REFERÊNCIAS NORMATIVAS**

Protocolo de ensaio: Ensaio proposto no âmbito da dissertação – Tempo de resposta DEC-FCT

**EQUIPAMENTO UTILIZADO****Câmara climática:**

- Marca/modelo: Aralab Fitoclima 300 EDTU
- Controle de temperatura:  $-20\text{ °C} \leq T \leq 180\text{ °C}$  – flutuação no tempo  $< \pm 0,5\text{ °C}$
- Controle de humidade:  $10\% \leq HR \leq 98\%$  – flutuação no tempo  $< \pm 1\%$

**Balança:**

- Marca/modelo: Adam APF 720L
- Precisão: 0,001 g

**PROCESSO DE ENSAIO**

**Período de ensaio:** 16/05/2016 - 22/06/2016

**Execução do ensaio:**

O pré-condicionamento corresponde em expor os provetes a patamares de humidade relativa e temperatura constante até ser atingido variações de massa em duas pesagens espaçadas de 24 horas é inferior 0,01 % da massa do provete.

Após o pré-condicionamento os provetes são expostos a variação instantânea (<30 min) do patamar de humidade relativa.

São efectuadas pesagens espaçadas de 1 hora até se completarem 10 horas de ensaio e até ser atingida a estabilidade são efectuadas pesagens diárias.

Condições de ensaio:

Ensaio	T (°C)	Pré-condicionamento (%)	HR (%)
33 - 75	23	33	75
		75	33
50 - 75	23	50	75
		75	50
60 - 75	23	60	75
		75	60

## Ficha ensaio tempo de respostas 1.1

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Argamassas bastardas (B)

### DADOS DO PRODUTO

**Provetes:** Argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

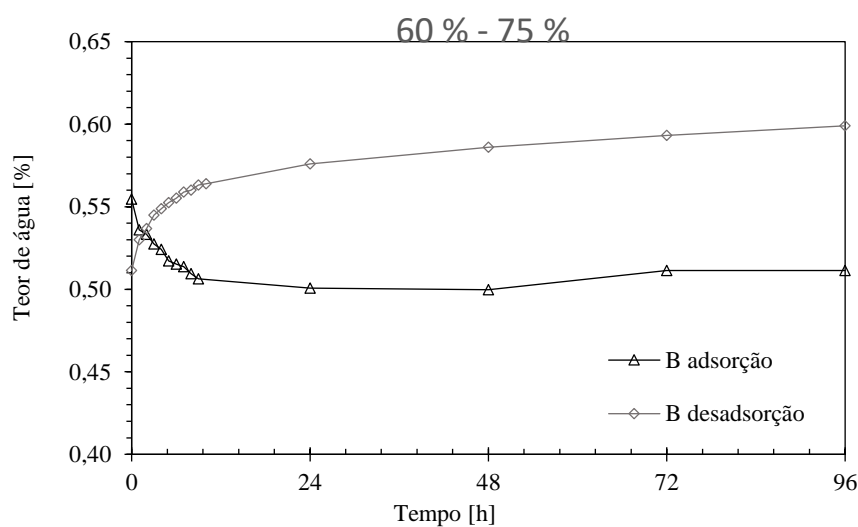
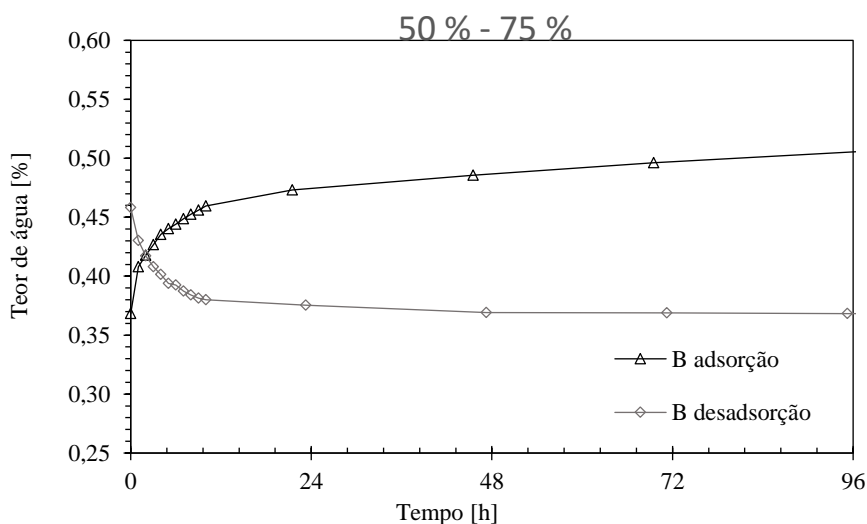
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,3712	0,1913	0,4581	0,3682	0,5545	0,5113
final	0,1913	0,4581	0,3682	0,5545	0,5113	0,5990

### Gráficos tempo de resposta



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.2

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Argamassas bastardas pintadas (BP)

### DADOS DO PRODUTO

**Provete:** Argamassa bastarda de cimento Portland II e cal aérea pintada com tinta plástica.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

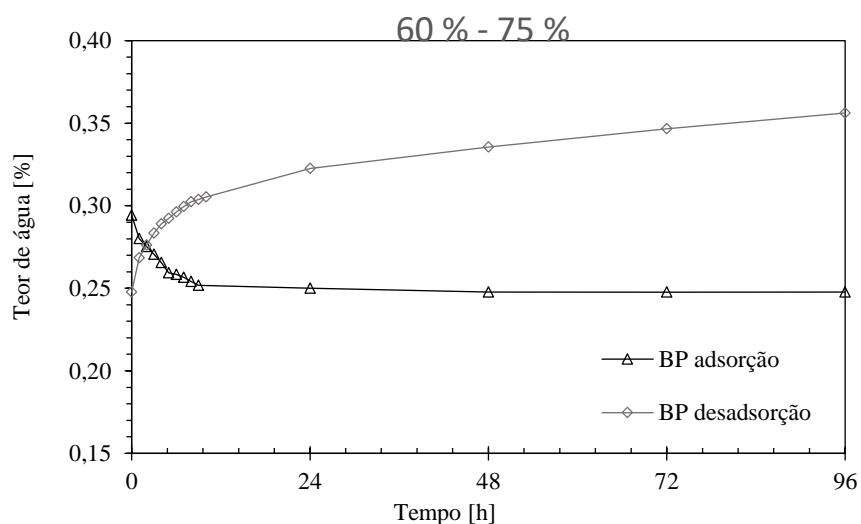
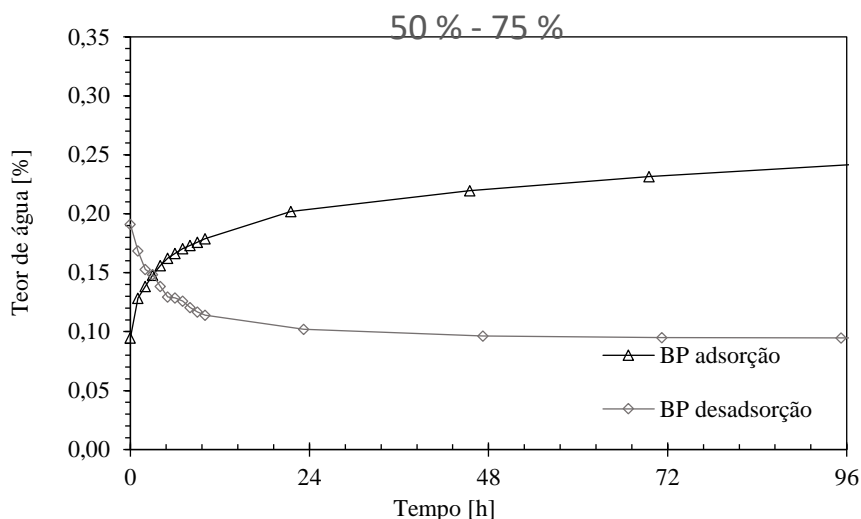
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 810 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,5661	0,3902	0,1910	0,0947	0,2943	0,2477
final	0,3902	0,6555	0,0947	0,2943	0,2477	0,3562

### Gráficos tempo de resposta



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.3**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Argamassas de cimento (C)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa de cimento Portland II.

**Método de Preparação dos Provete:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

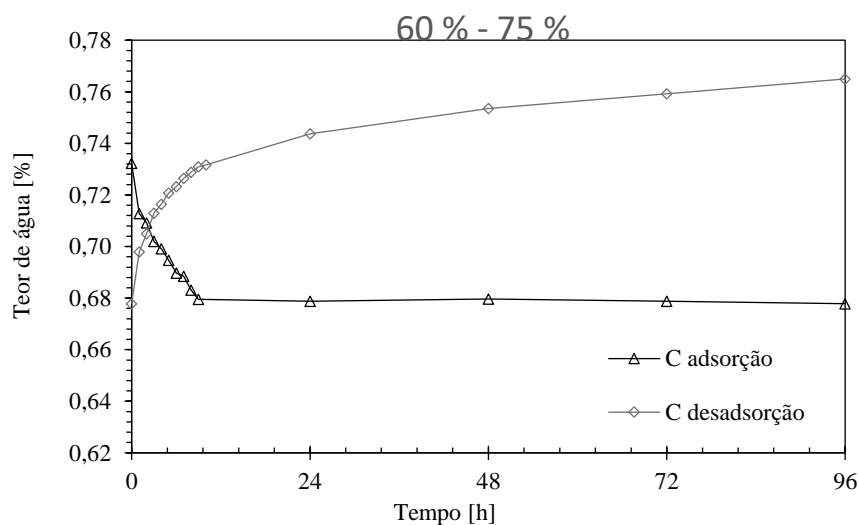
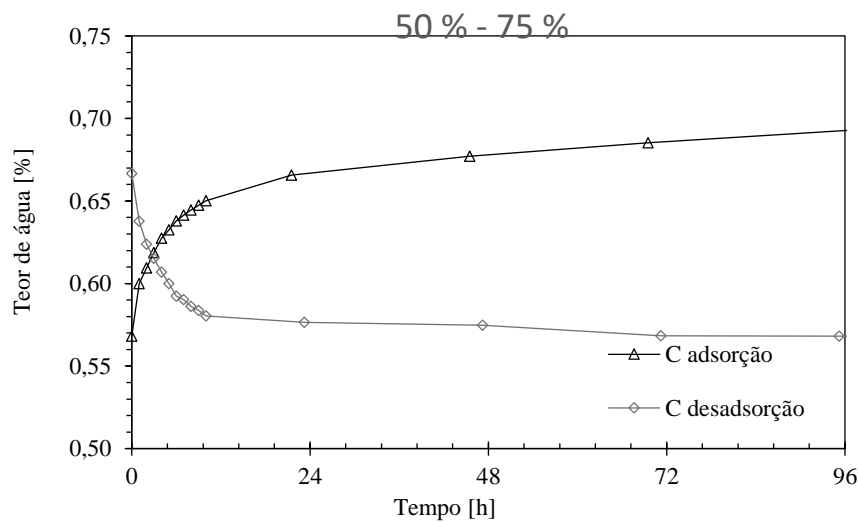
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,6082	0,4025	0,6666	0,5681	0,7322	0,6778
final	0,4025	0,6666	0,5681	0,7322	0,6778	0,7650

**Gráficos tempo de resposta**



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.4**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Argamassas de cimento pintadas (CP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Argamassa de cimento Portland II pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

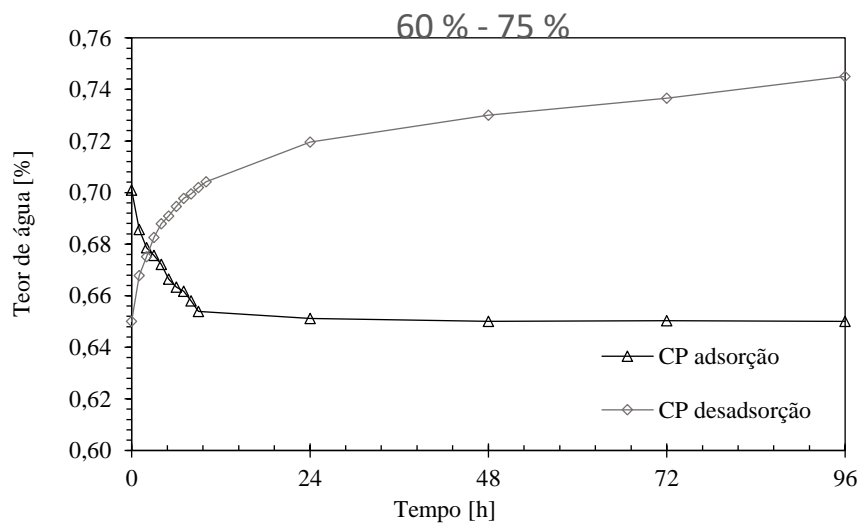
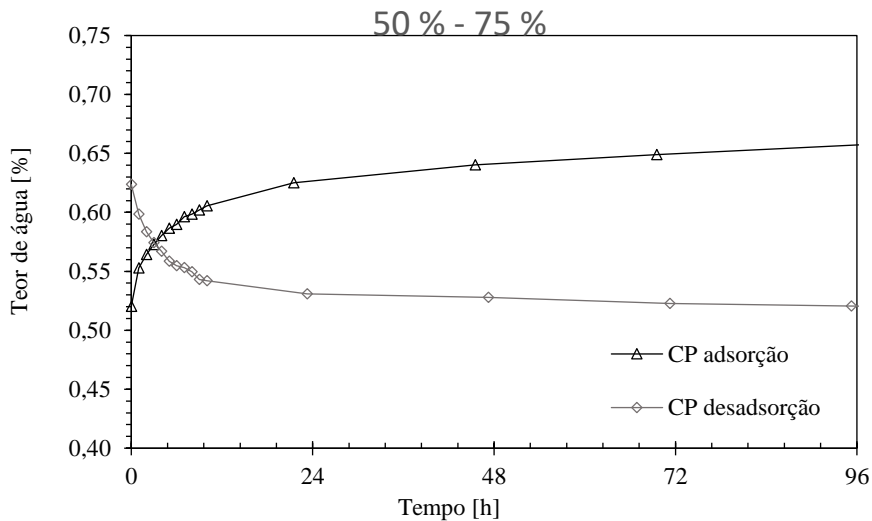
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 877 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,5567	0,3687	0,6236	0,5203	0,7010	0,6501
final	0,3687	0,6236	0,5203	0,7010	0,6501	0,7450

**Gráficos tempo de resposta**



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.5

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Argamassas de cal hidráulica natural (NHL)

### DADOS DO PRODUTO

**Provete:** Argamassa de cal hidráulica natural.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

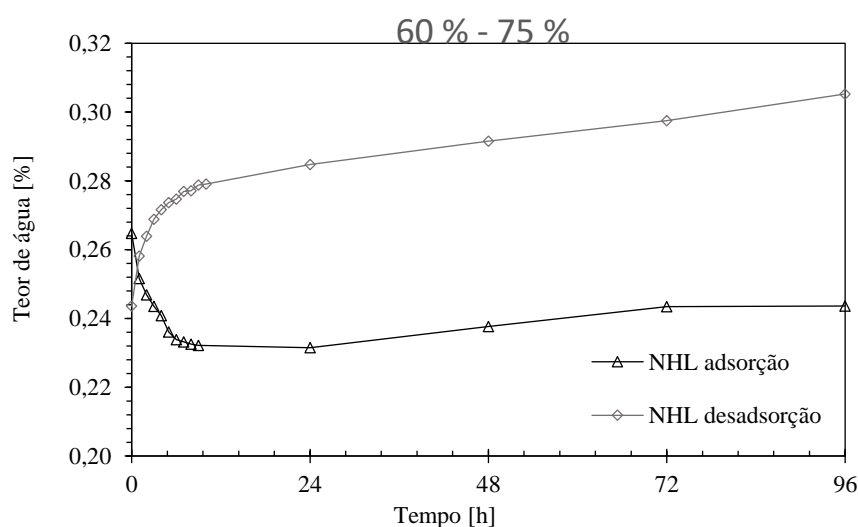
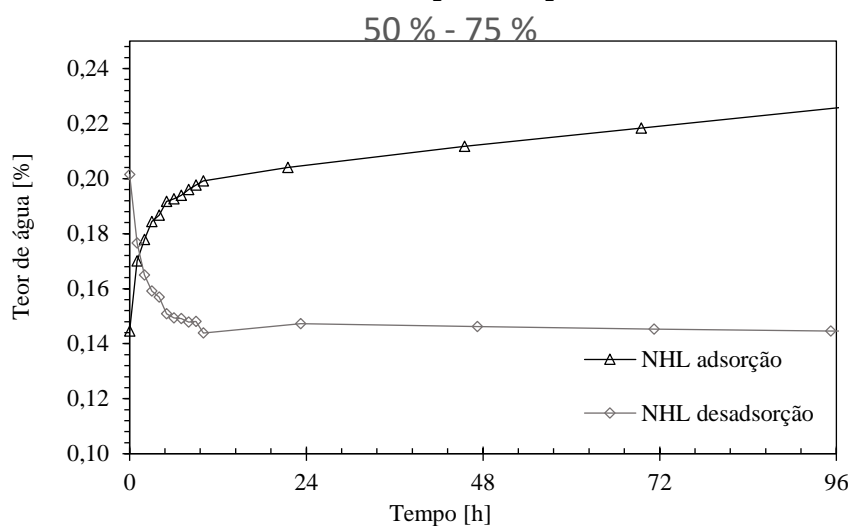
**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,1453	0,0246	0,2014	0,1446	0,2648	0,2436
final	0,0246	0,2014	0,1446	0,2648	0,2436	0,3053

### Gráficos tempo de resposta



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.6

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Argamassas de cal hidráulica natural pintadas (NHLP)

### DADOS DO PRODUTO

**Provete:** Argamassa de cal hidráulica natural pintada com tinta plástica.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira;  
Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

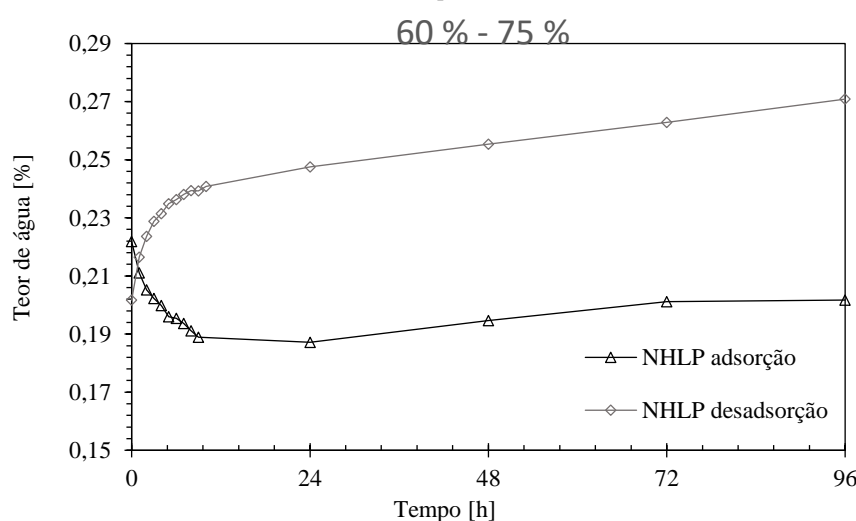
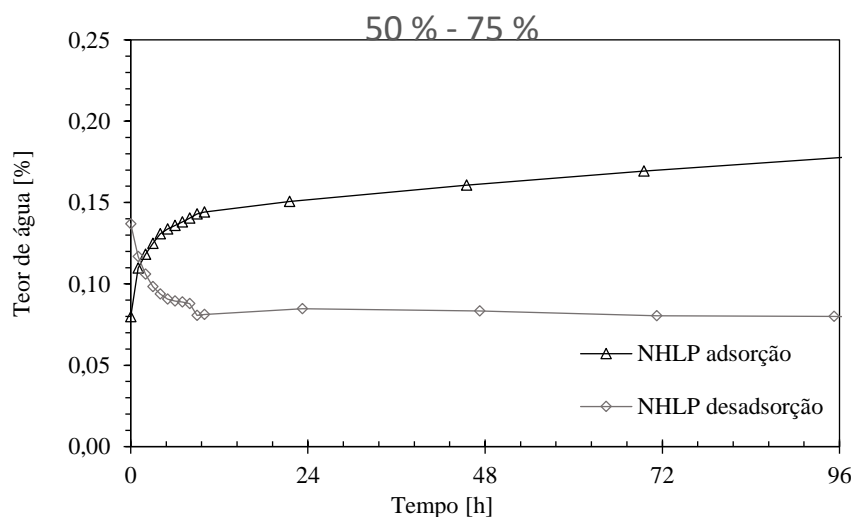
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 876 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,1380	0,0235	0,214	0,0798	0,2219	0,2017
final	0,0235	0,214	0,0798	0,2219	0,2017	0,2709

### Gráficos tempo de resposta



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.7

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Argamassas de terra (S)

### DADOS DO PRODUTO

**Provetes:** Argamassa de terra.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa realizada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

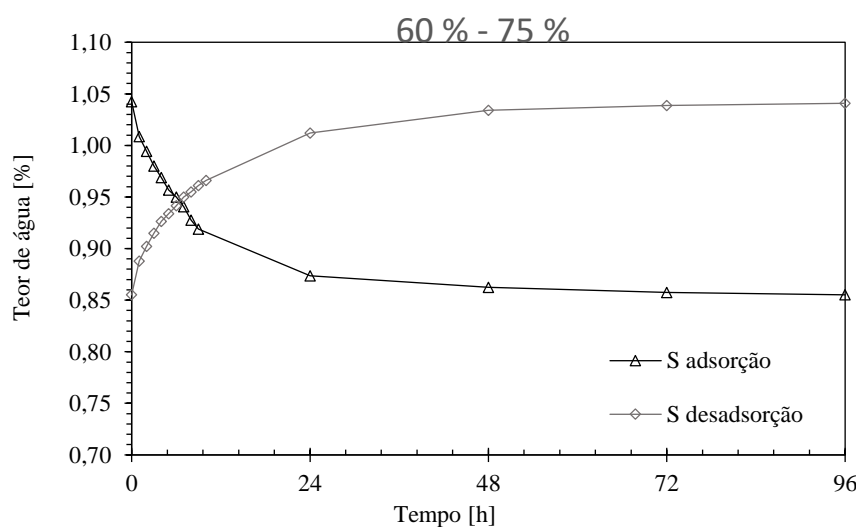
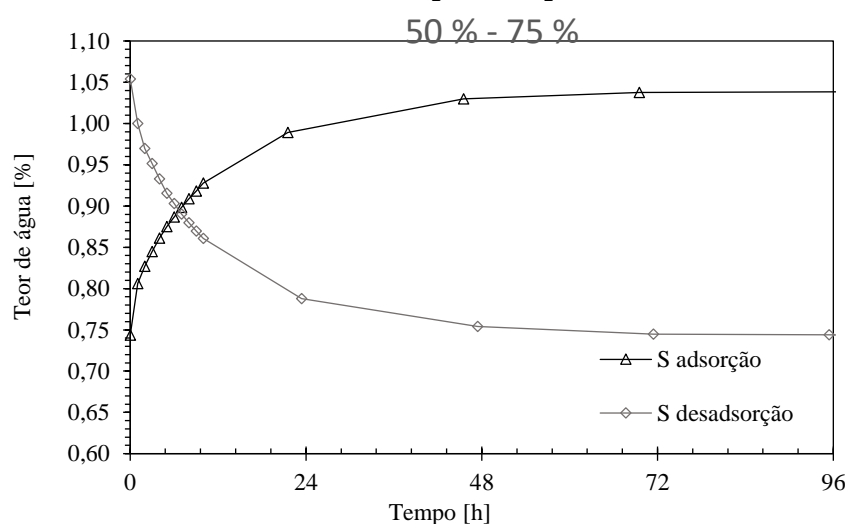
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 2 106 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	1,0873	0,5671	1,0541	0,7435	1,0424	0,8552
final	0,5671	1,0541	0,7435	1,0424	0,8552	1,0408

### Gráficos tempo de resposta



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.8

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Estuque (E)

### DADOS DO PRODUTO

**Provetes:** Estuque projectado.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

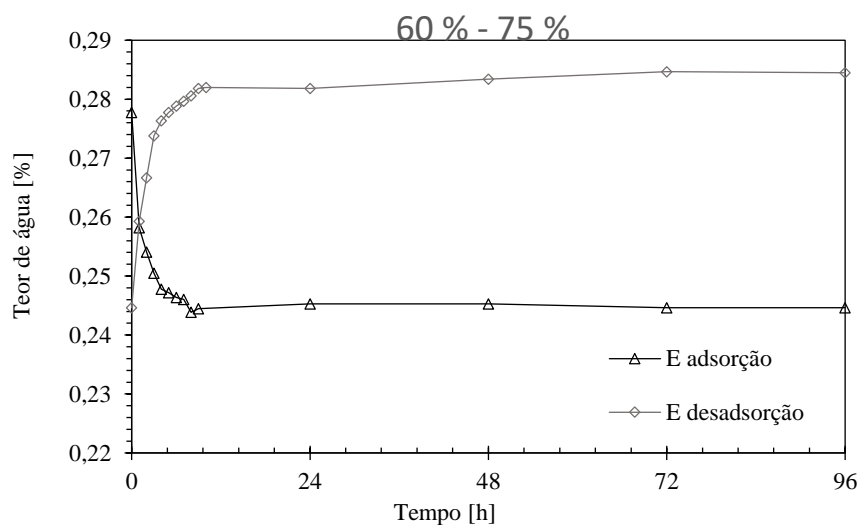
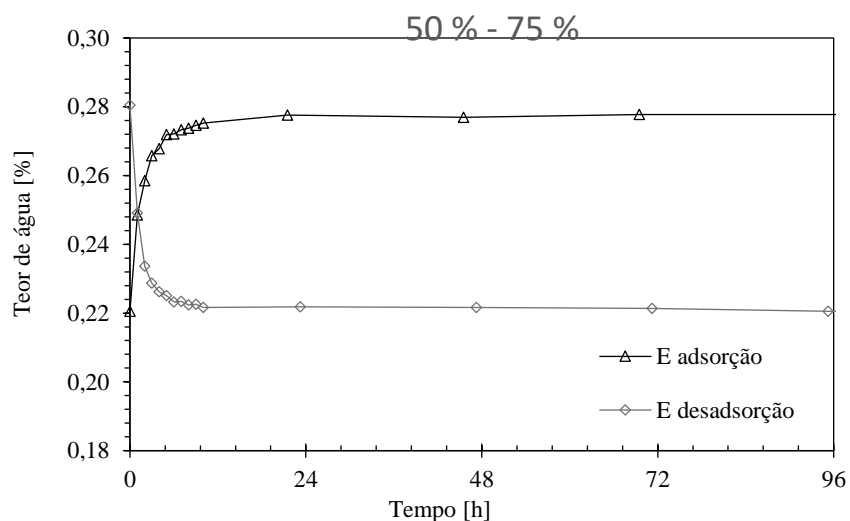
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,2727	0,1480	0,2804	0,2205	0,2777	0,2446
final	0,1480	0,2804	0,2205	0,2777	0,2446	0,2845

### Gráficos tempo de resposta



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.9

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Estuque pintado (EP)

### DADOS DO PRODUTO

**Provetes:** Estuque projectado.

### Método de Preparação dos Provetes:

Argamassa pré-doseada misturada em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

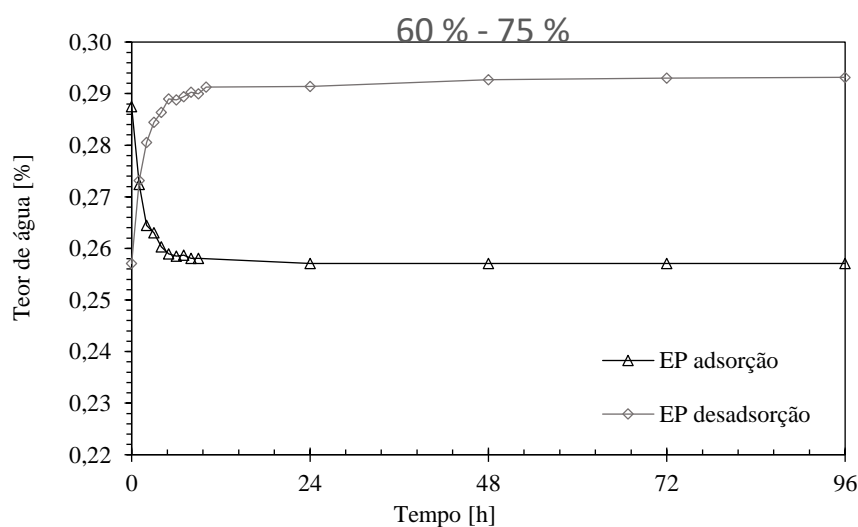
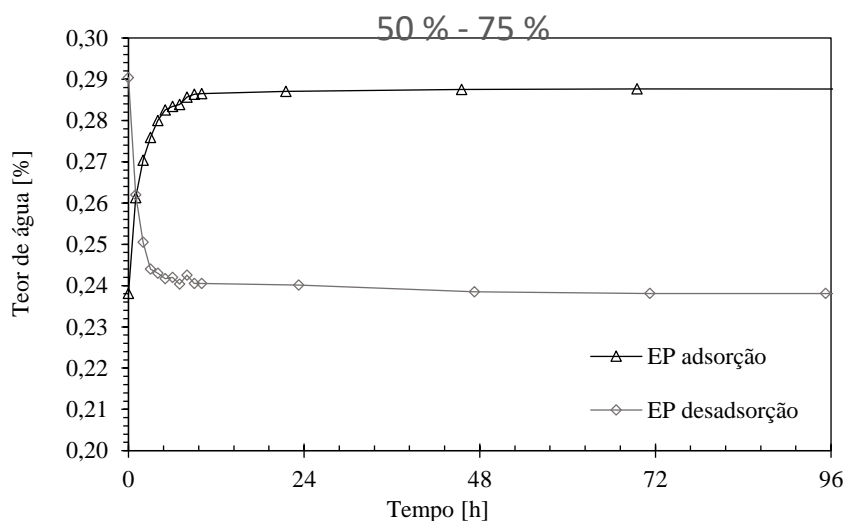
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,015) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 137 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,2803	0,1676	0,2904	0,2381	0,2875	0,2571
final	0,1676	0,2904	0,2381	0,2875	0,2571	0,2932

### Gráficos tempo de resposta



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.10**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Revestimento celulose projectada (N)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Revestimento de celulose projectada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Revestimento pré doseado misturado em laboratório e colocação em moldes de madeira.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

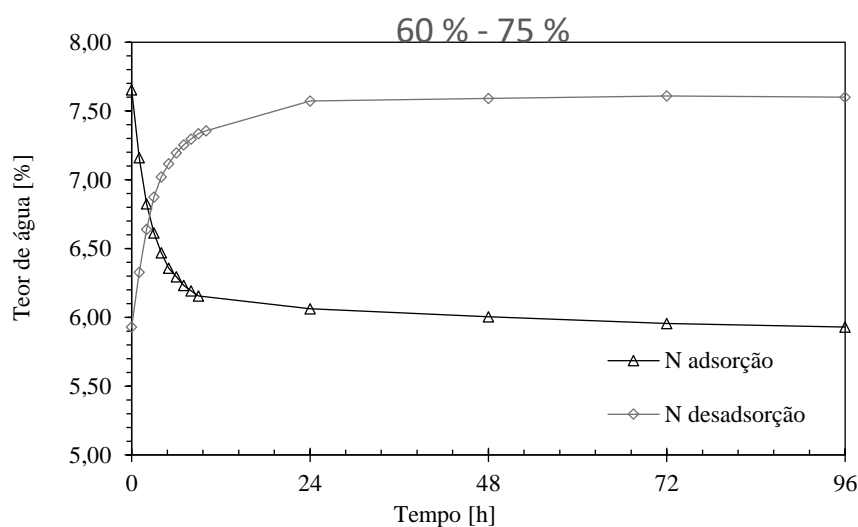
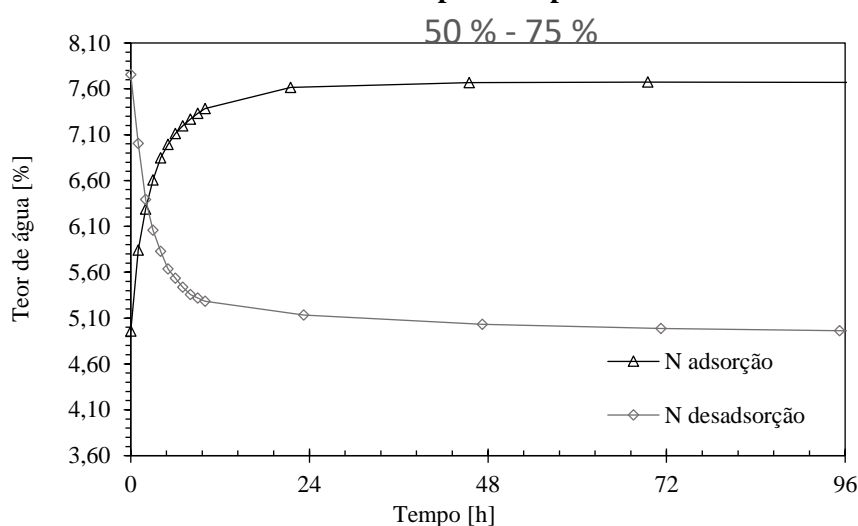
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,013) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 183 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	7,7922	3,5852	7,7533	4,9604	7,6549	5,9296
final	3,5852	7,7533	4,9604	7,6549	5,9296	7,6095

**Gráficos tempo de resposta**



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.11**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Placas de gesso cartonado (G)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de gesso cartonado.

**Método de Preparação dos Provetes:**

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

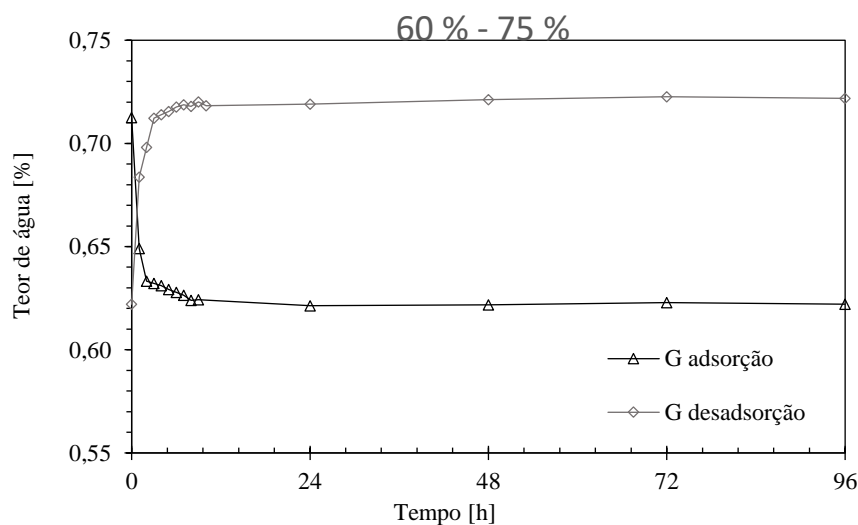
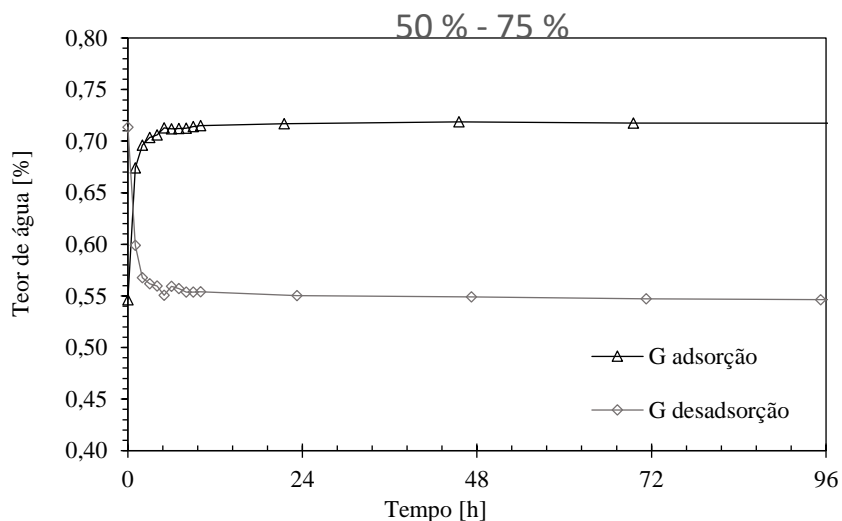
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,7050	0,4083	0,7179	0,5464	0,7169	0,6221
final	0,4083	0,7179	0,5464	0,7169	0,6221	0,7219

**Gráficos tempo de resposta**



## Ficha ensaio tempo de resposta 1.12

### IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

Determinação do tempo de resposta – Placas de gesso cartonado pintadas (GP)

### DADOS DO PRODUTO

**Provetes:** Placa de gesso cartonado pintada com tinta plástica.

### Método de Preparação dos Provetes:

Placas pré-fabricadas e cortados em laboratório;

Pintura da face exposta com duas demãos de tinta plástica.

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

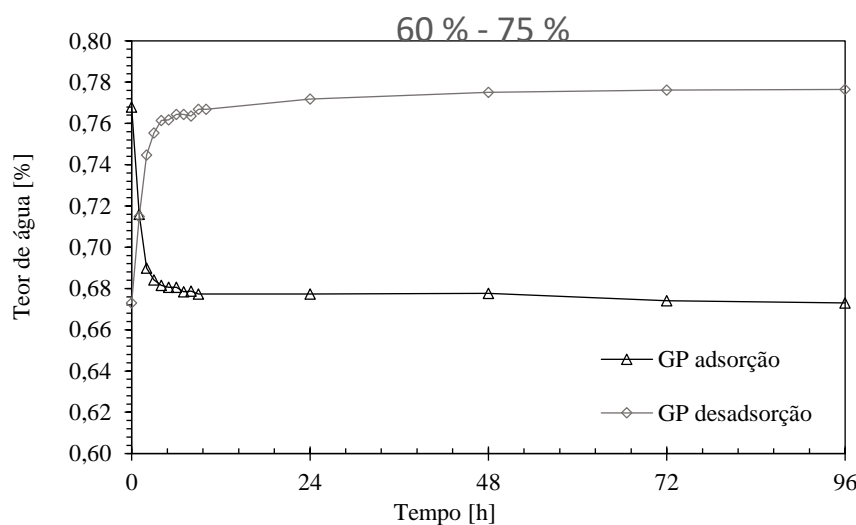
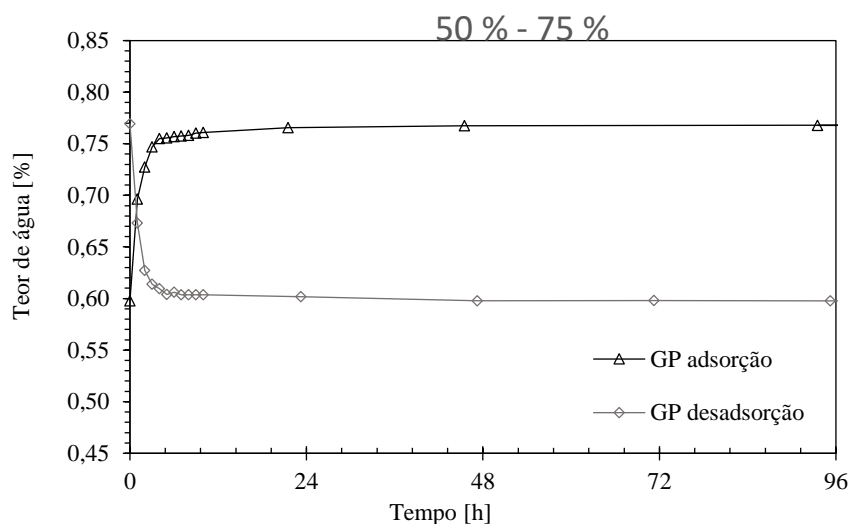
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 711 kg/m<sup>3</sup>

### RESULTADOS:

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	0,7560	0,4507	0,7693	0,5978	0,7679	0,6730
final	0,4507	0,7693	0,5978	0,7679	0,6730	0,7765

### Gráficos tempo de resposta



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.13**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Placas de celulose reciclada (M)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de celulose reciclada.

**Método de Preparação dos Provetes:**

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>3</sup>

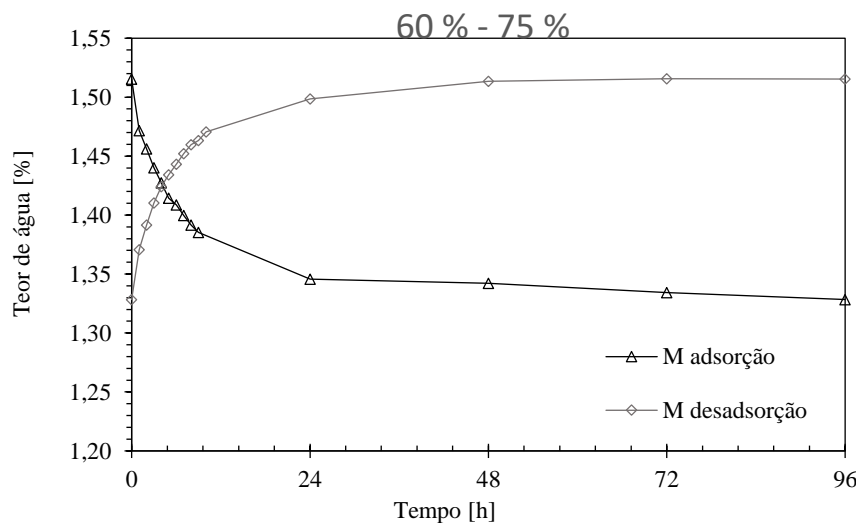
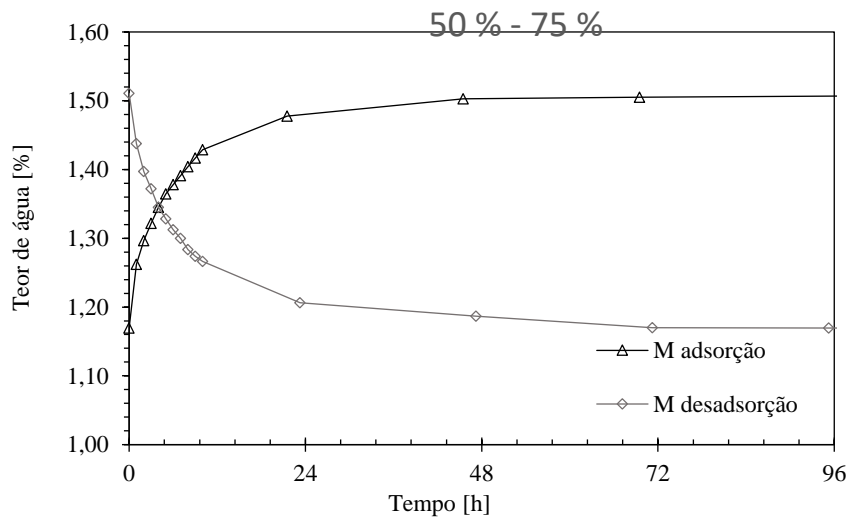
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	1,4827	0,8745	1,5107	1,1696	1,5154	1,3284
final	0,8745	1,5107	1,1696	1,5154	1,3284	1,5152

**Gráficos tempo de resposta**



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.14**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Placas de celulose reciclada pintadas (MP)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provetes:** Placa de celulose reciclada pintada com tinta plástica.

**Método de Preparação dos Provetes:**

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 X 0,1) m<sup>2</sup>

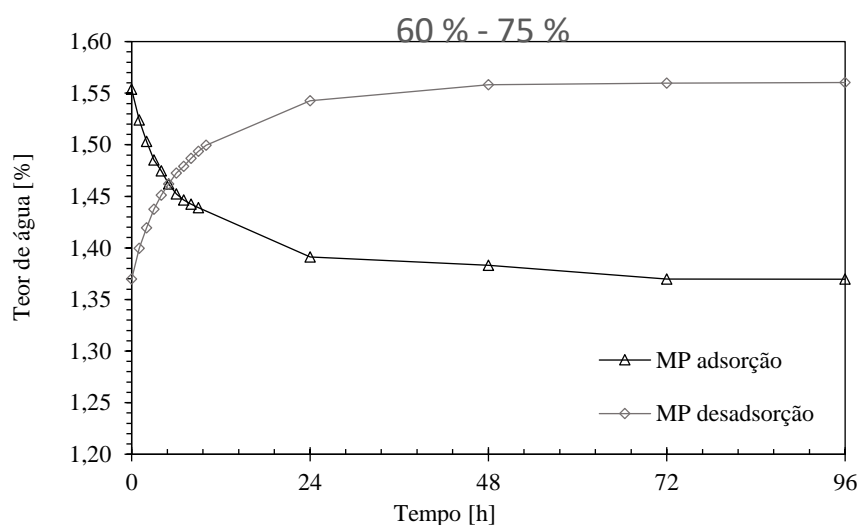
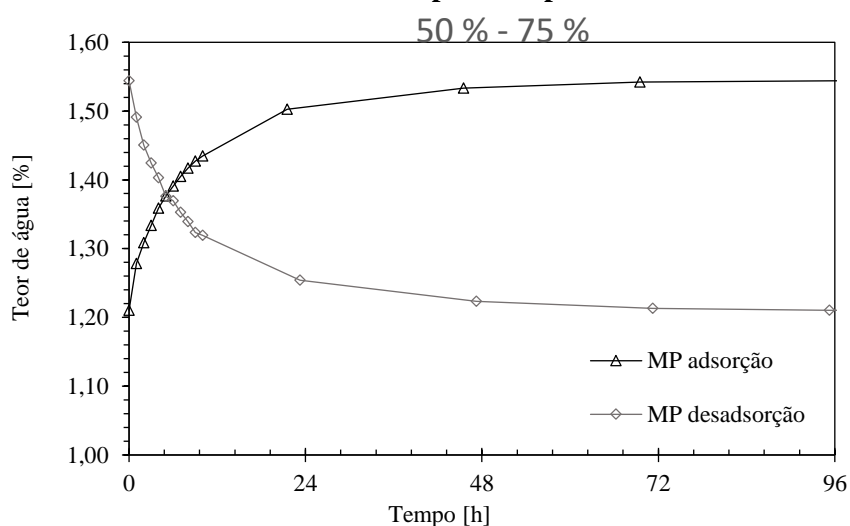
**Dimensões dos Provetes:** (0,1 X 0,1 X 0,0126) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 1 039 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	1,5079	0,9176	1,5439	1,2103	1,5537	1,3697
final	0,9176	1,5439	1,2103	1,5537	1,3697	1,5603

**Gráficos tempo de resposta**



**Ficha ensaio tempo de resposta 1.15**

**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Determinação do tempo de resposta – Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais (O)

**DADOS DO PRODUTO**

**Provete:** Painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais

**Método de Preparação dos Provete:**

Fornecimento e corte pela empresa comercializante;

**Método de Selagem:** Selagem com fita de alumínio cinco das seis faces;

**Área de Exposição:** (0,1 x 0,1) m<sup>3</sup>

**Dimensões dos Provete:** (0,1 X 0,1 X 0,030) m<sup>3</sup>

**Massa volúmica seca:** 879 kg/m<sup>3</sup>

**RESULTADOS:**

	Teor de água médio [kg/kg] x 100					
	75 - 33	33 - 75	75 - 50	50 - 75	75 - 60	60 - 75
inicial	4,3533	3,1818	4,4154	3,7964	4,4556	4,1080
final	3,1818	4,4154	3,7964	4,4556	4,1080	4,4604

**Gráficos tempo de resposta**

