

ANÁLISE COMPARATIVA DE PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E HUMIDADE — WUFI E DELPHIN

BEATRIZ REGO MOREIRA DA SILVA COSTA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos Guimarães
Teixeira

Coorientador: Mestre Teresa Manuel Stingl Leal Araújo de Freitas

JUNHO DE 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



mipec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.*

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

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

Aos meus Pais e Irmão

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho apenas foi possível devido à contribuição e ao apoio prestados por um conjunto de pessoas, às quais quero manifestar o meu sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, destaco a Professora Doutora Ana Sofia Guimarães, orientadora desta dissertação, pela disponibilidade e apoio incondicional prestado ao longo de todo o semestre. Importante frisar o impacto que tanto os conhecimentos científicos e técnicos, como as palavras de incentivo e confiança tiveram para a conclusão desta dissertação durante todo o tempo, sem exceções.

Agradeço à Mestre Teresa Freitas, cujo conhecimento, metodologia, organização e disponibilidade se tornaram uma enorme fonte de inspiração e motivação pessoal, bem como o auxílio constante ao longo do semestre.

Agradeço à minha família por serem a base de todo o meu percurso escolar e académico e por me possibilitarem a serenidade necessária à execução deste trabalho.

Saliento os meus amigos, pelo entusiasmo demonstrado e críticas construtivas prestadas.

Enfatizo o impacto que os docentes do curso Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto tiveram no meu percurso académico, pelos conhecimentos ensinados nestes últimos cinco anos.

RESUMO

A simulação numérica do desempenho higrotérmico de elementos da envolvente dos edifícios tem assumido um papel de maior destaque nos dias de hoje, exigindo o conhecimento de programas avançados de simulação higrotérmica em regime dinâmico, das propriedades dos materiais e das condições fronteira, mas também das limitações dos próprios programas.

Considerou-se que seria relevante, na presente dissertação, efetuar uma análise de perfis de humidade relativa e de teor de humidade de dois diferentes programas de simulação – WUFI e Delphin, a fim de avaliar a forma como cada programa executa as simulações para o mesmo período de tempo e para o mesmo material exatamente com as mesmas características e propriedades. A maior dificuldade residiu na manipulação do programa Delphin, uma vez que é pouco conhecido e explorado, e na forma como os dados são interpretados quer pelo WUFI, quer pelo Delphin, de forma a poder comparar resultados.

A abordagem dos programas assenta numa dissertação de investigação, que permite consolidar metodologias úteis para trabalhos futuros nesta área que exijam o manuseamento dos programas. Dá a conhecer a forma como algumas dificuldades foram contornadas para numa próxima vez não serem consideradas obstáculos.

PALAVRAS-CHAVE: simulação numérica, perfis de humidade relativa e teor de humidade, comparar resultados, WUFI, Delphin.

ABSTRACT

Numerical simulation of the hygrothermal performance of building envelope elements has assumed a more prominent role today, requiring the knowledge of advanced hygrothermal simulation programs in a dynamic regime, material properties and boundary conditions, but also limitations of the programs themselves.

It was considered that it would be relevant, in the present dissertation, to perform a relative humidity and moisture content analysis of two different simulation programs - WUFI and Delphin, in order to evaluate how each program executes the simulations for the same period of time and for the same material exactly with the same characteristics and properties. The greatest difficulty lies in the manipulation of the Delphin program, since it is little known and explored, and in the way the data are interpreted by both WUFI and Delphin, in order to compare results.

The programs' approach is based on a research dissertation, which allows the consolidation of useful methodologies for future work in this area that require the handling of the programs. It shows how some difficulties were circumvented so that, next time, they would not be considered obstacles.

KEYWORDS: numerical simulation, relative humidity and moisture content profiles, compare results, WUFI, Delphin.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
2. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E HUMIDADE	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO EXISTENTES	5
2.3. WUFI.....	9
2.3.1. Funcionamento do Programa.....	9
2.3.2. Descrição do Programa.....	10
2.4. DELPHIN.....	17
2.4.1. Funcionamento do Programa.....	17
2.4.2. Descrição do Programa.....	19
2.5. COMPARAÇÃO DOS PROGRAMAS WUFI E DELPHIN.....	25
2.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	25
3. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFETUADAS	27
3.1. INTRODUÇÃO	27
3.2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DE UMA SIMULAÇÃO.....	27
3.3. CONFIGURAÇÕES ADOTADAS	29
3.3.1. Pedra Calcária.....	29
3.3.2. Betão	33
3.3.3. Barro Vermelho	35
3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	37
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EFETUADAS.....	39
4.1. INTRODUÇÃO	39

4.2. ESPECIFICIDADES DOS PROGRAMAS WUFI E DELPHIN.....	39
4.2.1. Dados de Saída	39
4.2.2. Tempo de simulação	40
4.2.3. Grelha utilizada.....	41
4.2.4. Diferença entre “Surface Value” e “Imposed Flux” do programa Delphin	44
4.3. SIMULAÇÃO NUMÉRICA	55
4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO	62
5. CONCLUSÕES.....	63
5.1. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES OBTIDAS	63
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ANEXOS

ANEXO 1 – MATERIAIS DISPONÍVEIS NA BASE DE DADOS DO WUFI

ANEXO 2 – EXEMPLOS DE DADOS DE SAÍDA DO WUFI

ANEXO 3 – PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE CADA CATEGORIA DO DELPHIN

ANEXO 4 – MATERIAIS DISPONÍVEIS NA BASE DE DADOS DO DELPHIN

ANEXO 5 – FICHEIROS DE SAÍDA DISPONÍVEIS NO DELPHIN

ANEXO 6 – EXEMPLOS DE DADOS DE SAÍDA DO DELPHIN

ANEXO 7 – “IMAGE CHARTS”, “PROFILE CHARTS” E “CONTOUR CHARTS” FORNECIDOS PELO DELPHIN PARA OS MATERIAIS EM ESTUDO

ANEXO 8 – DÚVIDAS E RESPOSTAS ACERCA DO PROGRAMA DELPHIN

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ecrã Principal WUFI.....	10
Figura 2 – Menu Principal WUFI.....	11
Figura 3 – Elemento Construtivo/Posições Monitorização (à esquerda) e Orientação/Inclinação/Altura (à direita).....	12
Figura 4 – Coeficiente de Transferência à Superfície (à esquerda) e Condições Iniciais (à direita)	12
Figura 5 – Período de Simulação/Perfis (à esquerda) e Numérico (à direita)	13
Figura 6 – Exterior – lado esquerdo (à esquerda) e Interior – lado direito (à direita).....	13
Figura 7 – Exemplo de um material que se encontra na base de dados do programa WUFI	15
Figura 8 – Tipo de gráficos que se pode obter no programa WUFI após correr a simulação	16
Figura 9 – Opção “Ver Filme” do programa WUFI.....	16
Figura 10 – Ecrã Principal Delphin	19
Figura 11 – Menu Principal Delphin	20
Figura 12 – Materials; Output Files; Output Grids.....	21
Figura 13 – Surfaces/Boundaries; Climate Conditions; Boundary Conditions.....	22
Figura 14 – Initial Conditions; Resistances/Contact; Sources/Sinks; Schedules	22
Figura 15 – Ilustração esquemática das condições iniciais de Temperatura e Humidade Relativa consideradas	29
Figura 16 – Ilustração esquemática das condições de temperatura e humidade relativa para a pedra calcária.....	29
Figura 17 – Propriedades da pedra calcária no programa Delphin.....	31
Figura 18 – Propriedades da pedra calcária no programa WUFI	32
Figura 19 – Ilustração esquemática das condições de temperatura e humidade relativa para o betão	33
Figura 20 – Propriedades do betão no programa Delphin.....	33
Figura 21 – Propriedades do betão no programa WUFI	34
Figura 22 – Ilustração esquemática das condições de temperatura e humidade relativa para o barro vermelho	35
Figura 23 – Propriedades do barro vermelho no programa Delphin.....	35
Figura 24 – Propriedades do barro vermelho no programa WUFI	36
Figura 25 – Dados de saída seleccionados no programa Delphin.....	39
Figura 26 – Opções de dados de saída para análise no programa WUFI	40
Figura 27 – Grelha pré-definida no programa WUFI	42
Figura 28 – Grelha pré-definida no programa Delphin	42
Figura 29 – Gráfico da Humidade Relativa para a pedra calcária, utilizando a grelha pré definida do programa Delphin	43
Figura 30 – Gráfico da Humidade Relativa para o betão, utilizando a grelha pré definida do programa Delphin	43
Figura 31 – Gráfico da Humidade Relativa para o barro vermelho, utilizando a grelha pré definida do programa Delphin	43
Figura 32 – Grelha utilizada no programa Delphin numa 2ª fase.....	44
Figura 33 – Simulações realizadas para a pedra calcária com o ficheiro “Water Contact	45
Figura 34 – Simulações realizadas para o betão com o ficheiro “Water Contact”	45
Figura 35 – Simulações realizadas para o barro vermelho com o ficheiro “Water Contact” ..	46

Figura 36 – “Profile Charts” para a pedra calcária, ao longo de 1 hora e para a Humidade Relativa	47
Figura 37 – “Profile Charts” para a pedra calcária, ao longo de 1 hora e para o Teor de Humidade	48
Figura 38 – “Profile Charts” para o betão, ao longo de 6 meses e para a Humidade Relativa	48
Figura 39 – “Profile Charts” para o betão, ao longo de 6 meses e para o Teor de Humidade	48
Figura 40 – “Profile Charts” para o barro vermelho, ao longo de 1 dia e para a Humidade Relativa	49
Figura 41 – “Profile Charts” para o barro vermelho, ao longo de 1 dia e para o Teor de Humidade	49
Figura 42 – Humidade Relativa para a pedra calcária	50
Figura 43 – Humidade Relativa para o betão.....	51
Figura 44 – Humidade Relativa para o barro vermelho.....	52
Figura 45 – Teor de Humidade para a pedra calcária	53
Figura 46 – Teor de Humidade para o betão	53
Figura 47 – Gráficos de Teor de Humidade para o barro vermelho	54
Figura 48 – Síntese dos passos que levaram à simulação dos gráficos que traduzem os perfis de humidade relativa e teor de humidade do WUFI e Delphin	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades dos materiais do programa WUFI	14
Tabela 2 – Condições climáticas do programa WUFI	15
Tabela 3 – Propriedades dos materiais do programa DELPHIN	22
Tabela 4 – Condições climáticas para o programa DELPHIN	23
Tabela 5 – Propriedades medidas experimentalmente para a pedra calcária	30
Tabela 6 - Curva higroscópica obtida experimentalmente para a pedra calcária	30
Tabela 7 – Valores das propriedades da pedra calcária utilizadas no programa Delphin.....	31
Tabela 8 - Curva higroscópica da pedra calcária introduzida no programa WUFI	31
Tabela 9 – Valores das propriedades do betão utilizadas no programa Delphin.....	33
Tabela 10 - Curva higroscópica do betão introduzida programa WUFI.....	34
Tabela 11 – Valores das propriedades do barro vermelho utilizadas no programa Delphin..	35
Tabela 12 - Curva higroscópica do barro vermelho introduzida no programa WUFI	36
Tabela 13 – Valores das propriedades para os materiais pedra calcária, betão e barro vermelho.....	37
Tabela 14 - Tempo de simulação para cada material	40
Tabela 15 – Unidades de medida	41
Tabela 16 - Código de cores para as opções ""Surface Value" e "Imposed Flux".....	47
Tabela 17 - Gráficos de perfis de humidade relativa da pedra calcária	56
Tabela 18 - Gráficos de perfis de humidade relativa do betão	57
Tabela 19 - Gráficos de perfis de humidade relativa do barro vermelho.....	58
Tabela 20 - Gráficos de perfis de teor de humidade da pedra calcária	59
Tabela 21 - Gráficos de perfis de teor de humidade do betão	60

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

$\frac{dH}{dT}$	J/(m ³ .K)	Capacidade de armazenamento de calor do material húmido
$\frac{dw}{d}$	kg/m ³	Capacidade de armazenamento de umidade do material húmido
λ	W/(m.K)	Condutibilidade térmica do material húmido
h_v	J/kg	Entalpia de evaporação da água
D_ϕ	kg/(m.s)	Coefficiente de condução líquida
δ_p	kg/(m.s.Pa)	Permeabilidade ao vapor de água do material
T	°C	Temperatura
w	kg/m ³	Teor de umidade do material
w_{80}	kg/m ³	Teor de Umidade de Referência
w_{sat}	kg/m ³	Umidade de Saturação Livre
ϕ	%	Umidade relativa
p_{sat}	Pa	Pressão de saturação do vapor de água
ρ	Kg/m ³	Massa volúmica
c_p	J/(kg.K)	Calor específico
$\mathcal{E}$	%, m ³ /m ³	Porosidade
μ	W/(m.K)	Fator de resistência à difusão de calor
D_w	m ² /s	Coefficiente de transporte líquido
A_w	Kg/(m ² .s ^{0.5})	Coefficiente de absorção
w_{sat}	Kg/m ³	Teor de umidade de saturação
DW_s	m ² /s	Coefficiente de transporte líquido para a sucção
DW_w	m ² /s	Coefficiente de transporte líquido para a redistribuição
a		Ar seco
v		Vapor de água
w		Água líquida
s		Sal dissolvido
p		Sal precipitado
g		Fase gasosa

l	Fase líquida
m	Matriz de materiais
θ	Teor de umidade volúmico
ρ	Densidade de massa
u	Densidade de energia
h	Entalpia
j	Fluxo
t	Tempo
v_k	Velocidade de fase
x_k	Coordenada espacial, onde k é o índice direcional; m usado para indicar quantidades de massa
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> – Compostos orgânicos voláteis que possuem alta pressão de vapor à temperatura ambiente e vapor de água

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A simulação numérica do desempenho higrotérmico de elementos da envolvente dos edifícios tem assumido um papel de maior destaque nos dias de hoje, exigindo o conhecimento de programas avançados de simulação higrotérmica em regime dinâmico, das propriedades dos materiais e das condições fronteira, mas também das limitações dos próprios programas.

Considerou-se que seria relevante, na presente dissertação, efetuar uma análise de perfis de umidade relativa e de teor de umidade de dois diferentes programas de simulação – WUFI e Delphin, a fim de avaliar a forma como cada programa executa as simulações para o mesmo período de tempo e para o mesmo material exatamente com as mesmas características e propriedades. A maior dificuldade residuiu na manipulação do programa Delphin, uma vez que é pouco conhecido e explorado, e na forma como os dados são interpretados quer pelo WUFI, quer pelo Delphin, de forma a poder comparar resultados.

Num período de cerca de quatro meses para realização da presente dissertação, é bastante difícil efetuar uma abordagem muito profunda de uma comparação rigorosa, pela necessidade de conhecer os modelos matemáticos dos programas que lhes estão associados, as propriedades indispensáveis ao processo de simulação e ter capacidade de interpretar os resultados obtidos através de perfis de umidade relativa e de teor de umidade. Procurou-se, no entanto, refletir sobre a influência das diferentes características e dados de entrada dos programas e a forma de realizar uma comparação de resultados.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

Este trabalho foca-se na análise de perfis de umidade relativa e de teor de umidade obtidos através dos programas de simulação numérica WUFI e Delphin, para ensaios de absorção capilar. As simulações do ensaio foram realizadas para os mesmos três materiais: uma pedra calcária, um betão e um barro vermelho, que apresentam as mesmas propriedades, simulando as mesmas condições e sendo requeridos os mesmos dados de saída. Com os resultados obtidos pretende-se comparar os dois programas e perceber quais as vantagens associadas a cada um deles e quais as desvantagens identificadas como contornadas.

Desta forma definiram-se objetivos concretos nesta dissertação que poderão dividir-se em objetivos principais e objetivos complementares.

Os objetivos principais são os seguintes:

1. Contribuir para a exploração e estudo do programa Delphin, sendo esta uma ferramenta pouco utilizada;
2. Classificar a influência das especificidades e características do programa nos ensaios realizados e de que forma o seu contributo é aproveitado;
3. Comparar os resultados dos perfis de humidade relativa e de teor de humidade obtidos para os dois programas de simulação estudados.

Para concretizar os objetivos principais, foi necessária a materialização dos seguintes objetivos complementares:

- Interpretar e descrever o programa Delphin e as equações numéricas que estão na sua base;
- Incidir sobre as potencialidades do programa, nomeadamente sobre os possíveis resultados que se poderiam obter;
- Compreender de que forma seria possível uniformizar os valores das propriedades dos materiais pedra calcária, betão e barro vermelho tanto no WUFI como no Delphin para poderem ser passíveis de comparação;
- Perceber como criar condições climáticas que simulassem um ensaio de absorção capilar através de uma frente húmida, como se o bloco monolítico estivesse a ser ensaiado;
- Avaliar de que forma as diferentes opções oferecidas para a simulação do ficheiro de água líquida no programa Delphin influenciam o material e compará-las entre si;
- Calcular os perfis de humidade relativa e de teor de humidade, para um determinado tempo de simulação, para os três materiais em estudo no programa WUFI e no programa Delphin;
- Estudar os resultados provenientes dos programas WUFI e Delphin em situações o mais idênticas possível, com materiais de características iguais, face à complexidade de cada programa.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação divide-se em cinco capítulos:

- O capítulo 1 introduz os restantes capítulos, sintetiza os objetivos do trabalho e apresenta a organização da dissertação;
- O capítulo 2 diz respeito à apresentação e caracterização dos programas WUFI e Delphin, incluindo as equações numéricas pelas quais ambos os programas se regem, exposição do ecrã principal e do menu principal. Contém a descrição dos dados de entrada, das propriedades dos materiais, das condições climáticas e dos dados de saída, que numa primeira instância são apenas exibidos de modo a mostrar todas as potencialidades dos programas e só mais tarde serão aprofundadas e contextualizadas para o estudo em causa. São incluídos exemplos de dados de saída na forma de gráficos com o objetivo de apresentar parte relevante do conteúdo fornecido pelos programas;
- O capítulo 3 sistematiza as características dos materiais que irão ser estudados: pedra calcária, betão e barro vermelho. Dá a conhecer o ensaio que se pretende simular na dissertação para cada um dos elementos monolíticos, e quais as condições que se reúnem para promover uma comparação fiável, mais precisamente condições fronteira e propriedades dos materiais;

- O capítulo 4 sintetiza um conjunto de especificidades relativas aos programas WUFI e Delphin cuja análise permitiu perceber quais as características que mais se adequam ao estudo desenvolvido. Atribuiu-se importância aos dados de saída, ao tempo de simulação, à grelha utilizada e à forma como se simula o contacto com a água líquida. O capítulo termina com uma tabela onde apresentam os gráficos que traduzem os perfis de humidade relativa e de teor de humidade provenientes de cada programa e respetiva comparação. Contém ainda um organograma que resume as decisões tomadas ao longo do capítulo e de que forma se obteve os gráficos utilizados para comparação;
- O capítulo 5 resume as principais conclusões e perspetivas de desenvolvimento de trabalhos futuros.

2

PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E HUMIDADE

2.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo procurou efetuar-se uma enumeração dos diversos programas de simulação existentes acompanhados por uma breve síntese, assim como a descrição pormenorizada dos programas em estudo, WUFI e Delphin que se inicia pelo modelo e sistema de equações que estão na base dos programas até à explicação do seu funcionamento, dos dados de entrada e dos dados de saída. As descrições pretendem ser abrangentes e claras o suficiente para realçar as potencialidades dos programas e ao mesmo tempo estarem de acordo com o contexto e objetivos esperados. Haverá uma caracterização e apresentação de quadros que servirão para melhor ilustrar aquilo que o utilizador poderá encontrar.

2.2. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO EXISTENTES

As simulações numéricas servem para facilmente prever o comportamento real do transporte de água em materiais e componentes de construção, dividindo-se em modelos contínuos ou modelos discretos. A modelagem contínua é uma abordagem clássica de engenharia para descrever um sistema usando equações macroscópicas e propriedades de transporte eficazes adequadas [1]. Em contraste com os modelos contínuos, a estratégia dos modelos discretos é desmontar o espaço dos poros em elementos discretos e remontar esses elementos num modelo que preserva as características geométricas e topológicas básicas do espaço dos poros [2-4]. Portanto, modelos discretos são úteis para entender a física do fluxo de humidade em meios porosos. No entanto, a principal desvantagem dos modelos discretos é que, do ponto de vista prático, são necessários conhecimentos computacionais excessivos para um tratamento discreto realístico de um sistema [5].

Apesar de atualmente existir uma preocupação com os efeitos negativos que a ocorrência de humidade nos edifícios possa provocar, e de já serem aplicadas as respetivas medidas de proteção, ainda há um número elevado de edifícios que experimentam problemas originados pela humidade.

De facto, a presença da humidade em edifícios é uma das mais frequentes patologias, uma vez que afeta a estética e segurança da estrutura construtiva e a saúde dos seus ocupantes. O estudo da humidade no interior dos materiais permite caracterizar o comportamento do edifício, nomeadamente a impermeabilização, o desempenho térmico e a degradação a nível visual.

Assim, a medição do teor de humidade é de significativa importância para a investigação da natureza e causa dos defeitos construtivos nos edifícios e, por isso, é de especial interesse explorar e investigar métodos de medição, determinação ou simulação do teor de humidade. Estes são os programas existentes:

- 1D-HAM - Resolve problemas unidimensionais de transporte de calor, ar e humidade acoplados numa parede porosa constituída por multi-camadas. O 1D-HAM é baseado na técnica de diferenças finitas com diferenças explícitas no tempo. São utilizadas soluções analíticas para o acoplamento entre as células computacionais para um dado fluxo de ar através da construção. A humidade é transferida por difusão e convecção em fase de vapor. Não há transporte de água líquida. O calor é transferido por condução, convecção e calor latente. Os dados climáticos são fornecidos através de um arquivo de dados com uma resolução máxima de valores por hora ao longo do ano. O programa é responsável pela absorção da radiação solar na superfície [6].
- BSim-2000 - um modelo unidimensional para o transporte de calor e humidade em materiais de construção porosos. BSim2000, o sucessor do programa MATCH, é uma ferramenta computacional de projeto para análise de clima interno, consumo de energia e desempenho de luz do dia do edifício. O software pode representar um edifício com ganhos de calor, radiação solar através das janelas, aquecimento, arrefecimento, ventilação e infiltração, equilíbrio de humidade no estado estacionário e riscos de condensação. Um novo modelo de humidade transitório para um edifício inteiro também foi desenvolvido como uma extensão do BSim2000. Uma das limitações é o facto de a transferência de humidade líquida nas construções ainda não estar representada [7].
- EMPTIED - um modelo unidimensional para o transporte de calor, ar e humidade. O software simplifica suposições suficientes para ser prático para os designers usarem, a fim de comparar os efeitos relativos de climas diferentes, condições internas, materiais de parede e estanquidade ao ar no desempenho da parede. EMPTIDA calcula temperaturas, assumindo condições de estado estacionário, negligenciando o calor transportado pelo ar em movimento. O programa usa dados de temperatura e saídas mensais, leituras gráficas da quantidade mensal de condensação, drenagem e evaporação. Sendo assim, é recomendado para análise simples de libertação de ar. O EMPTIED tem limitações que devem ser mencionadas como o facto de o teor inicial de humidade não poder ser especificado; o vento, sol e chuva não serem tidos em conta; o movimento do ar ser considerado o mesmo em todas as camadas; não existir loops de convecção dentro de camadas ou entre as cavidades exterior e ventilada; a quantidade máxima de humidade que um material pode armazenar com segurança ser assumido com a mesma quantidade na qual a condensação começará a ocorrer na superfície [8].
- GLASTA - um modelo unidimensional para transporte de calor e humidade em meios de comunicação. É baseado no método de Glaser, mas inclui um modelo para distribuição capilar dentro das camadas do elemento e podem ser adequadas para avaliar o potencial de secagem. O programa calcula valores médios mensais de temperatura e pressão de vapor ou humidade relativa, e é apresentado um banco de dados climático para mais de 100 locais europeus [9].
- hygIRC-1D - uma ferramenta de simulação unidimensional para modelar calor, ar e movimento de humidade nas paredes externas. Este programa é um modelo higrotérmico

avanzado que é um versão melhorada do modelo LATENITE desenvolvido em conjunto pelo Institute for Research in Construction e o VTT (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) (Finlândia). O programa hygIRC pode ser usado para modelo de sistemas comuns de parede. Retrofits servem para melhorar a tensão do ar e os níveis de isolamento nas paredes foram desenvolvidos e estão a ser aplicados a sistemas de parede básicos. O modelo hygIRC irá simular calor, ar e condições de humidade dentro de paredes adaptadas para determinar como os retrofits afetam a durabilidade do sistema de parede. Esta informação será usada como um meio para confirmar a integridade de várias medições de retrofit desenvolvidas para estruturas de paredes altas [10].

- HAM Lab - um modelo unidimensional de simulação de calor, ar e humidade. Este modelo higrotérmico é uma coleção de quatro ferramentas e funções no MatLab / Simulink / FemLab ambiente que inclui [11]:
 - HAMBASE - usado para projeto de clima interno de edifícios multi-zona, energia e desumidificação simulação; prototipagem rápida; e o componente de modelo de construção HAM a ser usado com o HAMSYS, para projeto de sistemas HVAC,
 - HAMSYS - usado para projeto de equipamentos HVAC e projeto de controlador;
 - HAMDET - usado para simulação HAM até 3D, construções de edifícios, simulação de fluxo de ar em quartos e em torno de edifícios;
 - HAMOP - usado para a otimização de parâmetros de projeto e operação otimizada.
- HAM-Tools - um modelo unidimensional de simulação de transferência de calor, ar e humidade. O principal objetivo desta ferramenta é obter simulações de processos de transferência relacionados com a construção física, isto é, transporte de calor e massa em edifícios e componentes de edifícios em condições operacionais. Usando a linguagem de programação gráfica Simulink e Matlab, o código é desenvolvido como uma biblioteca de procedimentos de cálculo predefinidos (módulos), com cálculo dos processos de transferência HAM numa peça de construção ou num sistema de interação. Simulações em módulos são agrupados de acordo com a sua funcionalidade em cinco sub-sistemas: Construções, Zonas, Sistemas, Ajudantes e Ganhos [12].
- IDA-ICE - uma ferramenta para simulação de consumo de energia, qualidade do ar interior e conforto térmico. Abrange uma grande variedade de fenómenos, como o fluxo de ar integrado, modelos de rede e térmicos, cálculo de CO₂ e humidade, e gradientes verticais de temperatura. Por exemplo, os fluxos de ar impulsionados pelo vento e pela flutuação através de fugas e aberturas são tidos em conta pelo modelo de rede de fluxo de ar totalmente integrado [13].
- MATCH - um modelo unidimensional para o transporte de calor e humidade em estruturas de construção compostas. O programa usa as curvas de absorção, adsorção e sucção para definir a função de armazenamento de humidade e a isoterma de absorção e adsorção no regime higroscópico. MATCH usa um método de controlo de volume finito para calcular a evolução transitória das variáveis térmicas e relacionadas com a humidade. Além disso, o transporte de humidade é assumido como sendo apenas por fluxo de vapor, definido pela permeabilidade ao vapor do material. No regime capilar, a curva de sucção é delineada com a condutividade hidráulica para transporte da humidade. Algumas aplicações do programa são [7]:
 - Determinar o transporte de humidade, fazendo construções que, até ao momento, foram baseadas em métodos de estado estacionário e não considerar a capacidade higroscópica dos materiais de construção;

- Calcular os perfis de temperatura e de humidade transitórios considerando as capacidades térmicas e higroscópicas. Ao dividir o tempo em pequenos períodos, é possível ter em conta o efeito quando as construções são expostas a gradientes de temperatura, nomeadamente a radiação solar. MATCH, sendo semelhante a MOIST, pode ser usado com sucesso para a análise aproximada e design da membrana protegida dos telhados e paredes com revestimento não absorvente. O programa foi validado por comparação com dados experimentais obtidos em laboratório, bem como em estudos de campo.
- MOIST - um modelo unidimensional para transporte de calor e humidade num edifício que modela a transferência de humidade por difusão e fluxo capilar, e a transferência de ar incluindo cavidades que podem ser ligadas ao ar interno e externo. O programa permite que o utilizador defina uma parede, o teto de uma catedral ou a construção de um telhado de baixa inclinação e analisar os efeitos de vários parâmetros na acumulação de humidade dentro de camadas da construção, em função da época do ano para um clima selecionado. Muitos dos dados do material exigidos pelo programa são coeficientes de curvas para equações específicas para cada propriedade. As curvas de humidade de equilíbrio tinham de ser severamente aproximadas, perto do ponto de saturação. Algumas aplicações do programa MOIST são:
 - Prever o teor de humidade do inverno nas camadas externas de construção;
 - Prever a superfície relativa de humidade nas camadas de construção em climas quentes e húmidos, analisando assim o potencial de crescimento de mofo e bolor;
 - Determinar as taxas de secagem para materiais que contenham humidade de construção;
 - Avaliar o desempenho de câmaras frigoríficas refrigeradas
 - Analisar o efeito da humidade na transferência de calor.

Finalmente, as limitações do MOIST são o facto de o modelo ser unidimensional, não incluir a condensação externa de uma construção por efeito da chuva e isolamento, mudança na absorção do telhado de uma carga de neve. Além disso, o modelo não inclui a transferência de calor e humidade pelo movimento do ar (a construção é assumida como sendo estanque ao ar) e os dados meteorológicos das cidades europeias não estão disponíveis e não podem ser gerados. No entanto, tem dados meteorológicos específicos para EUA e Canadá [13].

- MOISTURE-EXPERT – é um modelo unidimensional ou bidimensional de calor, ar e transporte de humidade em sistemas de construção de edifícios. O programa é basicamente um software desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge e Instituto Fraunhofer de Física de Edifícios, para adaptar a versão original europeia do software WUFI para os EUA e Canadá. O modelo trata do transporte de vapor e líquido separadamente. Os potenciais de transporte de humidade são a pressão de vapor e humidade relativa, e o potencial de transporte de energia é a temperatura. O modelo inclui a capacidade de lidar com isotermas de absorção e adsorção, dependentes da temperatura e propriedades de transporte em função dos processos de secagem ou humidificação. É um programa altamente complexo, exigindo tipicamente mais de 1000 entradas para as simulações unidimensionais. As entradas incluem condições climáticas exteriores, interiores, propriedades dos materiais e características do sistema [14].
- UMIDUS – é um modelo unidimensional para o transporte de calor e humidade em meios porosos, a fim de analisar o desempenho higrotérmico dos elementos construtivos quando

sujeitos a qualquer tipo de condições climáticas. São modelados a difusão e os regimes capilares, de modo a que o transporte de umidade ocorra nas fases de vapor e líquida. O modelo prevê a umidade e perfis de temperatura dentro de paredes multi-camada e telhados de baixa inclinação para qualquer período de tempo e calcula a transferência de calor e de massa [15].

- WUFI – é um modelo que será explicado em 2.3.
- Delphin – é um modelo que será explicado em 2.4.

2.3. WUFI

2.3.1. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

WUFI (Warme und Feuchte instationar – Transient Heat and Moisture) é um modelo unidimensional, bidimensional ou 3D para transporte de calor e umidade desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer em Building Physics (IBP), em Holzkirchen, Alemanha. O programa foi validado através de dados *in situ* e dados laboratoriais, permitindo uma simulação realista do comportamento higrotérmico de elementos construtivos, monolíticos ou multi-camadas, expostos a condições climáticas reais. O WUFI é baseado nas mais recentes conclusões relativas à difusão de calor e transporte de líquidos em materiais de construção. Requer apenas as propriedades padrão dos materiais e permite a determinação das funções de armazenamento de umidade e transporte de líquidos. Este programa pode utilizar dados meteorológicos medidos (incluindo a chuva e a radiação solar) como condições fronteira, permitindo assim estudos mais realistas sobre o comportamento de elementos construtivos expostos a condições climáticas reais. Esta ferramenta é adequada para a avaliação de:

- Tempo de secagem de alvenarias com umidade retida na construção;
- Ocorrência de condensações internas;
- Influência da direção da chuva na componente exterior do elemento construtivo;
- Impacto da reparação ou reabilitação;
- Desempenho higrotérmico de telhados e elementos construtivos em utilizações imprevistas e diferentes condições climáticas.

É uma ferramenta para o desenvolvimento e otimização de materiais e elementos construtivos. Por exemplo, foi utilizado como ferramenta no desenvolvimento do retardador de vapor inteligente. É utilizado por consultores, designers, arquitetos, fabricantes de materiais de construção, seguradoras, escritórios de engenharia e peritos no domínio da higrotérmica. Pode ainda ser usado como ferramenta de ensino tendo em conta a fácil e instrutiva visualização dos resultados de cálculo. O WUFI corre em PCs com NT4 (SP6), Windows 2000, Windows XP e Windows Vista. A opção de Ajuda detalhada contém aproximadamente 200 páginas A4. O WUFI pode ser utilizado em dez idiomas (Alemão, Inglês, Finlandês, Polaco, Francês, Norueguês, Sueco, Espanhol, Italiano e Português).

A aplicação correta do WUFI requer experiência no campo da higrotérmica e alguns conhecimentos básicos de utilização de métodos numéricos [16].

Apresentam-se as equações (1) e (2) de transferência de calor e umidade do programa WUFI [17, 18].

$$\frac{dH}{dt} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + h_v \nabla(\delta_p \nabla(\phi p_{sat})) \quad (1)$$

$$\frac{dw}{d\phi} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla(D_{\phi} \nabla \phi + \delta_p \nabla(\phi p_{sat})) \quad (2)$$

Em que,

$\frac{dH}{dT}$ - Capacidade de armazenamento de calor do material húmido (J/(m³.K));

$\frac{dw}{d}$ - Capacidade de armazenamento de humidade do material húmido (kg/m³);

λ - Condutibilidade térmica do material húmido (W/(m.K));

h_v - Entalpia de evaporação da água (J/kg);

D_{ϕ} - Coeficiente de condução líquida (kg/(m.s));

δ_p - Permeabilidade ao vapor de água do material (kg/(m.s.Pa));

T - Temperatura (°C);

w - Teor de humidade do material (kg/m³);

ϕ - Humidade relativa (-);

p_{sat} - Pressão de saturação do vapor de água (Pa).

2.3.2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

Ecrã principal

Quando se abre o programa, este é o panorama geral que se visualiza, estando a janela principal dividida em vários espaços para melhor organização do utilizador, tal como se vê na Figura 1.

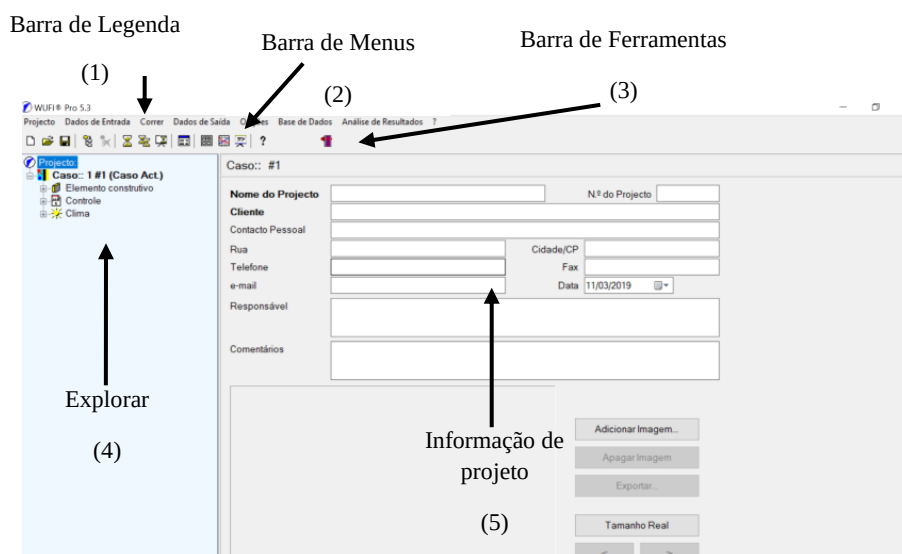


Figura 1 – Ecrã Principal WUFI

- (1) Barra de Legenda: mostra o nome do programa e o nome do projeto atual
- (2) Barra de Menus: mostra os diversos menus principais
- (3) Barra de Ferramentas: ícones com acesso aos comandos mais utilizados que podem ser alcançados de forma imediata
- (4) Explorar: é uma alternativa ao menu “Dados de Entrada” e oferece fácil e rápido acesso às diferentes caixas de texto
- (5) Informação de projeto: são gravados neste espaço as informações do projeto e comentários

Barra de Menus

No menu principal existem sete opções disponíveis de acordo com a Figura 2.

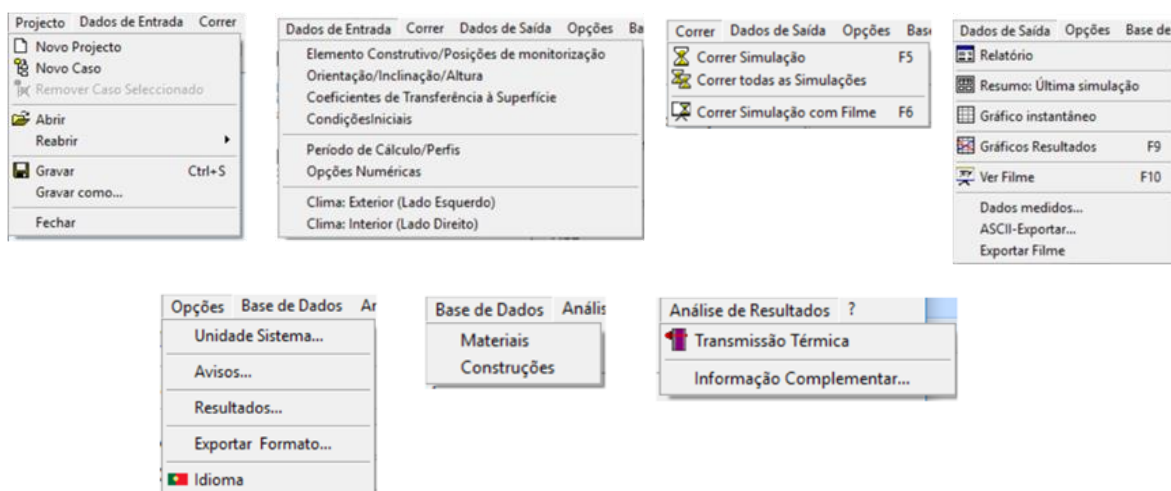


Figura 2 – Menu Principal WUFI

- (1) Projeto: inicia um projeto ou abre um projeto já existente e guarda o trabalho executado.
- (2) Dados de Entrada: cria e/ou altera a geometria dos elementos construtivos, introduz os materiais intervenientes e as condições fronteira e introduz outros elementos.
- (3) Correr: executa a simulação.
- (4) Dados de Saída: visualiza os resultados.
- (5) Opções: outras opções do programa.
- (6) Base de Dados: arquivo de materiais e construções.
- (7) Análise de Resultados.

Dados de Entrada

Para efetuar a simulação do comportamento higrotérmico dos elementos de construção é necessária a seguinte informação [19]:

- Informações acerca do elemento construtivo
 - Elemento construtivo/ Posições de monitorização – Abre o diálogo onde a montagem de construção, parâmetros de materiais e posições de monitorização podem ser definidas, tal como se demonstra na Figura 3.

- Orientação/Inclinação/Altura – Abre o diálogo onde a orientação, inclinação e a altura acima do solo da componente de construção podem ser definidas, como se demonstra na Figura 3.
- Coeficiente de Transferência à Superfície – Abre a caixa de diálogo onde as propriedades de transferência de superfície para a superfície exterior e interior podem ser definidas, como se pode observar na Figura 4.
- Condições Iniciais – Abre o diálogo onde as distribuições iniciais de humidade relativa e temperatura podem ser definidas, como se representa na Figura 4.

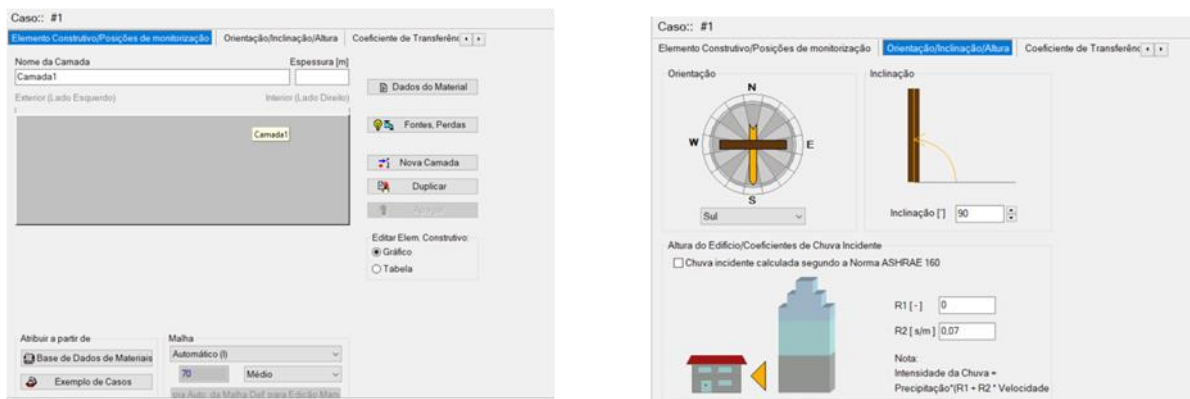


Figura 3 – Elemento Construtivo/Posições Monitorização (à esquerda) e Orientação/Inclinação/Altura (à direita)

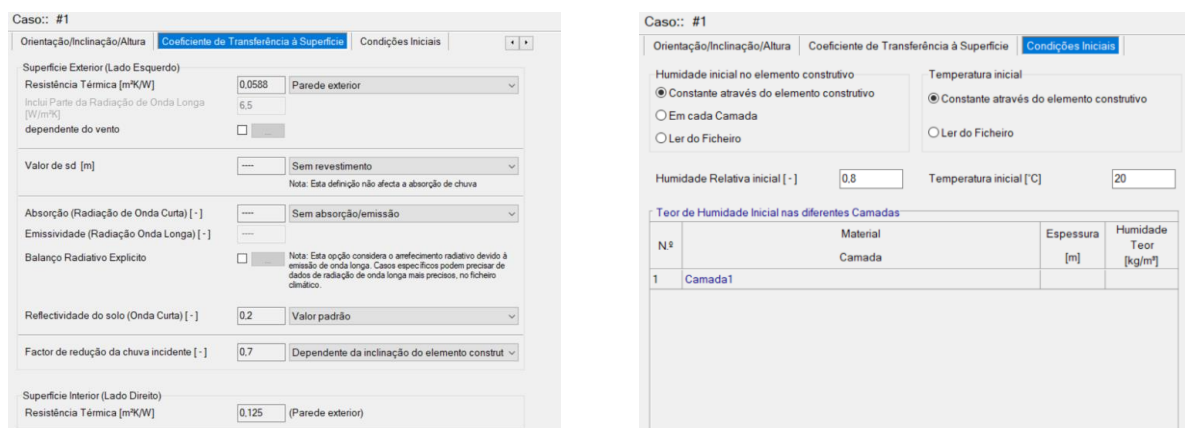


Figura 4 – Coeficiente de Transferência à Superfície (à esquerda) e Condições Iniciais (à direita)

- Controle

- Período de Simulação/Perfis – Nesta caixa de diálogo, a hora de início e a duração do período de cálculo podem ser definidos, como se demonstra na Figura 5.
- Numérico – Definição de modos de cálculo como cálculo da transferência de calor ou cálculo da transferência de humidade, existindo outras opções higrotérmicas especiais, como se mostra na Figura 5.

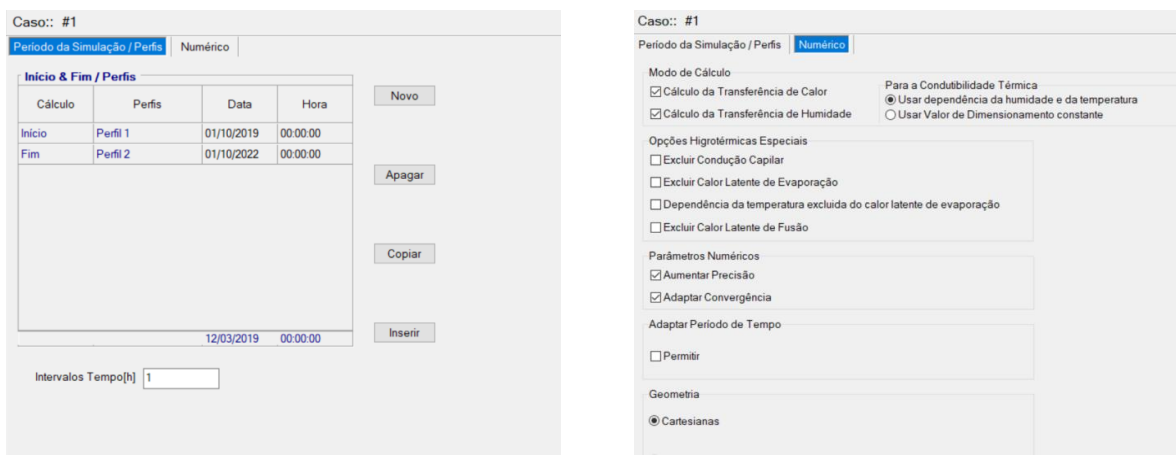


Figura 5 – Período de Simulação/Perfis (à esquerda) e Numérico (à direita)

- Clima

- Exterior (Lado Esquerdo) – Nesta caixa de diálogo definem-se os dados climáticos do lado esquerdo da componente. Ambientes interiores e exteriores podem ser atribuídos ao lado esquerdo, como se vê na Figura 6.
- Interior (Lado Direito) – Nesta caixa de diálogo definem-se os dados climáticos do lado direito da componente. Ambientes interiores e exteriores podem ser atribuídos ao lado direito, tal como se mostra na Figura 6.

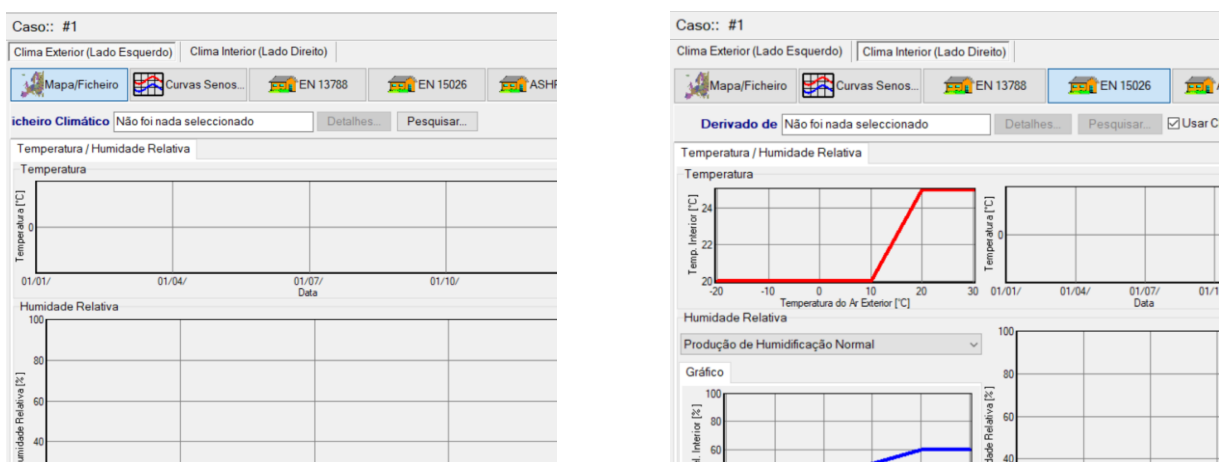


Figura 6 – Exterior – lado esquerdo (à esquerda) e Interior – lado direito (à direita)

Tabela de propriedades dos materiais

No programa WUFI existe um arquivo de materiais, estando subdividido nas seguintes categorias:

- Betão e pavimentos;
- Coberturas Jardim;
- Materiais de isolamento;
- Materiais de madeira; Tábuas;
- Membranas;
- Pedra natural;
- Tijolos de alvenaria.

Os materiais apresentam as propriedades descritas na Tabela 1 [20].

Tabela 1 – Propriedades dos materiais do programa WUFI

Propriedades	Unidades
Massa volúmica - ρ	Kg/m ³
Calor específico - c_p	J/(kg.K)
Porosidade - ε	%, m ³ /m ³
Condutibilidade Térmica - λ	W/(m.K)
Fator de resistência à difusão de calor - μ	-
Curvas higroscópicas	
Coeficiente de transporte líquido - D_w	m ² /s
Coeficiente de absorção - A_w	Kg/(m ² .s ^{0,5})
Teor de umidade de saturação - w_{sat}	Kg/m ³

No Anexo 1 – Materiais disponíveis na base de dados do WUFI - encontram-se as tabelas dos vários materiais disponíveis, estando organizado por categorias. Selecionando o material pretendido, aparece ao lado as suas propriedades e a curva que relaciona a umidade relativa com o teor de umidade tal como se observa na Figura 7, representativa disso mesmo.

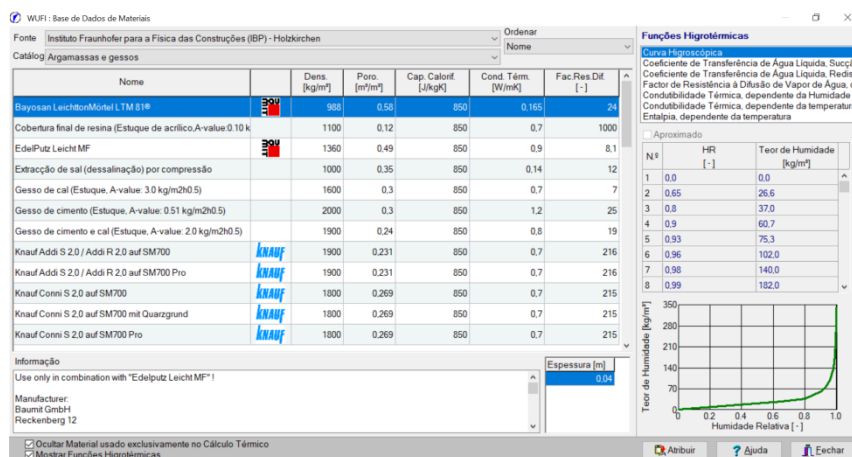


Figura 7 – Exemplo de um material que se encontra na base de dados do programa WUFI

Condições climáticas

Para cada intervalo de tempo, é necessário conhecer os valores dos dados climáticos [21] enunciados na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições climáticas do programa WUFI

Dados climáticos	Unidades
Chuva incidente na superfície vertical exterior	$\text{l/m}^2.\text{h}$
Radiação solar incidente na superfície vertical	W/m^2
Temperatura do ar exterior	$^{\circ}\text{C}$
Humidade relativa do ar exterior	0-1
Temperatura do ar interior	$^{\circ}\text{C}$
Humidade relativa do ar interior	0-1
Pressão atmosférica	Pa

Coeficientes de transferência superficiais

Os coeficientes de transferência superficiais necessários para a execução das simulações são os seguintes [21]:

- Resistências térmicas superficiais interior e exterior;
- Coeficiente de absorção da radiação solar que traduz a fração da radiação total incidente que é absorvida pela superfície do elemento;
- Fator de absorção da chuva, considerando que parte da chuva incidente numa superfície não contribui para a sucção capilar.

Dados de Saída

O WUFI disponibiliza duas maneiras de exibir os resultados [19]:

- Gráficos rápidos: visão geral dos resultados que servem para primeiras avaliações e comparação de diferentes casos, como está representado na Figura 8.
 - Gráfico de Teor Total de água
 - Gráfico de Teor de Água em camadas individuais
 - Gráfico de Temperatura e Ponto de Orvalho nas diferentes posições de monitorização

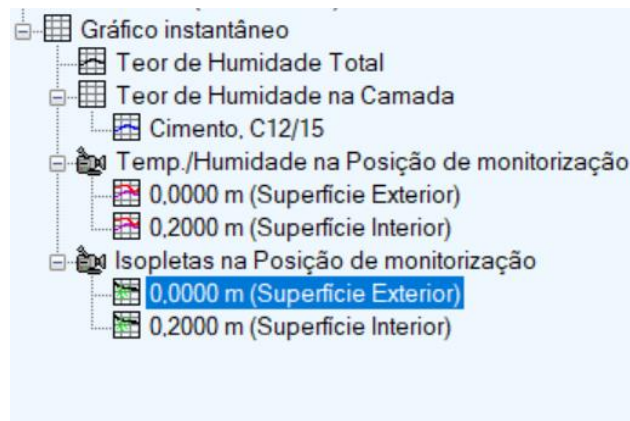


Figura 8 – Tipo de gráficos que se pode obter no programa WUFI após correr a simulação

No Anexo 2 – Exemplos de dados de saída do WUFI - constam alguns exemplos dos gráficos mencionados, após a simulação do exemplo de um material monolítico meramente representativo.

Gráfico “Ver Filme”: mostra a progressão ao longo do tempo do perfil da temperatura, humidade relativa e teor de água. Bastante útil para obter informações sobre os processos higrotérmicos, como se apresenta na Figura 9.

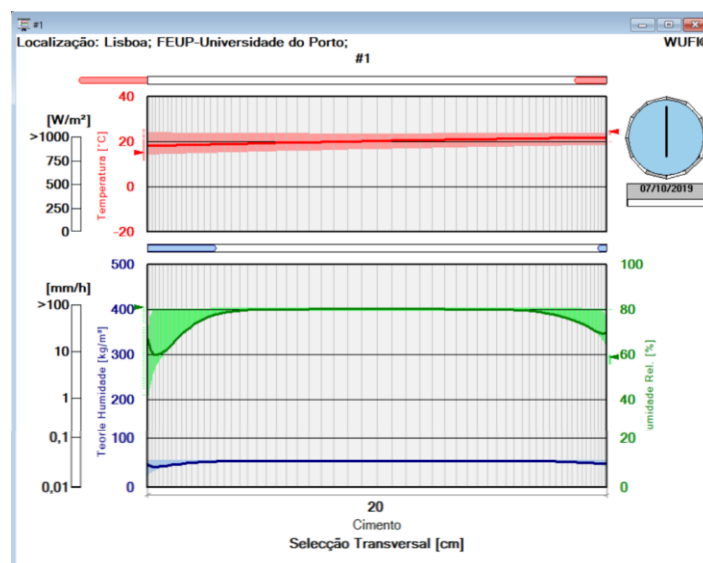


Figura 9 – Opção “Ver Filme” do programa WUFI

2.4. DELPHIN

2.4.1. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

O Delphin é um programa unidimensional ou bidimensional para simulação do transporte de calor, ar, umidade, poluentes e sal em materiais de construção porosos. O programa Delphin pode ser utilizado para simular massa e energia transitória, processos de transporte em condições fronteira, condições padrão e condições naturais (temperatura, umidade relativa, chuva de condução, velocidade do vento, direção do vento, radiação de ondas curtas e longas. Esta ferramenta de simulação é usada para:

- Cálculo de pontes térmicas, incluindo avaliação de áreas problemáticas (condensação superficial, condensação intersticial);
- Projeto e avaliação do interior de sistemas de isolamento;
- Avaliação de sistemas de fachada ventilados, telhados ventilados;
- Cálculo da energia anual de aquecimento (considerando a temperatura térmica condutividade);
- Problemas de secagem (porões, umidade de construção, inundação, etc);
- Cálculo de riscos de crescimento de mofo, bolores e outras aplicações.

Uma vantagem particular do programa de simulação numérica é a possibilidade de avaliar variantes sobre diferentes construções, diferentes materiais e diferentes climas. Detalhes construtivos de edifícios e materiais de construção podem ser otimizados, utilizando a simulação numérica, e podem ser avaliadas as construções para diferentes climas internos e externos. Um grande número de variáveis, como umidade, pressão do ar, concentrações de sal, temperaturas, difusões e fluxos de água líquida, vapor de água, ar, sal, calor e entalpia que caracterizam o estado higrotérmico das construções, podem ser obtidas em função do espaço e do tempo [22].

As equações para o balanço de massa de umidade, balanço de massa de ar, balanço de massa de sal e balanço de energia são, respetivamente [23], (3), (4), (5) e (6).

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_w \theta_l + \rho_v \theta_g] = - \frac{\partial y}{\partial x_k} \left[(\rho_w v_k^{m_l} - j_{k,diff}^{m_s}) \theta_l + (\rho_v v_k^{m_g} + j_{k,diff}^{m_v}) \theta_g \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_a \theta_g] = - \frac{\partial}{\partial x_k} \left[(\rho_v v_k^{m_g} - j_{k,diff}^{m_v}) \theta_g \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [\rho_s \theta_l + \rho_p \theta_p] = - \frac{\partial y}{\partial x_k} \left[(\rho_s v_k^{m_l} - j_{k,diff}^{m_s}) \theta_l \right] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} [\rho_m u_m + \rho_p u_p \theta_p + \rho_l u_l \theta_l + (\rho_v u_v + \rho_a u_a) \theta_g] = & - \frac{\partial}{\partial x_k} [(\rho_l u_l v_k^{m_l} \theta_l + (\rho_v u_v + \rho_a u_a) v_k^{m_g} \theta_g)] - \\ & \frac{\partial}{\partial x_k} [j_{k,diff}^Q + (h_s - h_w) j_{k,diff}^{m_s} \theta_l + (h_v - h_a) j_{k,diff}^{m_v} \theta_g] \end{aligned} \quad (6)$$

Em que,

a – ar seco

v – vapor de água

w – água líquida

s – sal dissolvido

p – sal precipitado

g – fase gasosa

l – fase líquida

m – matriz de materiais

θ – teor de umidade volúmico

ρ – densidade de massa

u – densidade de energia

h – entalpia

j – fluxo

t – tempo

v_k – velocidade de fase

x_k – coordenada espacial, onde k é o índice direcional; m usado para indicar quantidades de massa e Q usado para indicar transferência de calor por condução

De uma forma sucinta, assume-se que as equações de balanço apresentam determinadas características como:

- Equação do Balanço de massa de umidade
 - Sem gelo;
 - Equilíbrio de evaporação (equação de Kelvin);
 - Fluxo de massa de água líquida difusa, água líquida dispersiva e vapor de água dispersivo sendo que o fluxo de massa é insignificante;
 - Equilíbrio de pressão entre todas as fases (isto também leva à pressão capilar) quantidade definida e as características de retenção de água;
 - Distorções da matriz do material sólido são insignificantes.
- Equação do Balanço de massa de ar
 - O ar seco consiste em O₂, N₂ e outros componentes menores, excluindo VOC – *Volatile Organic Compounds*, compostos orgânicos voláteis que possuem alta pressão de vapor à temperatura ambiente e H₂O (vapor de água);
 - A fase gasosa consiste em ar seco, vapor de água e VOC;
 - O fluxo convectivo da fase gasosa é considerado separadamente do calor, umidade e transporte de poluentes, isto é, calor, umidade e transporte de poluentes não tem efeito sobre o fluxo de ar;
 - Apenas o fluxo de gás laminar é considerado;
 - A energia cinética das fases móveis é insignificante;
 - A constante de ar seco pode ser usada para o ar úmido.
- Equação do Balanço de massa VOC
 - A adsorção de VOC ocorre em competição com a adsorção de água. Como a água é sempre, assumimos a adsorção de uma mistura VOC - água fases dissolvidas/adsorvidas);

- Equilíbrio termodinâmico de VOC (temperaturas, pressões, potenciais químicos) entre fase gasosa e fase dissolvida / adsorvida;
- A difusão VOC de fase gasosa pode ser tratada como processo de difusão Fickiana. Inclui efusão em micro poros;
- Fluxos de massa VOC dispersivos são insignificantes;
- Equação de Balanço Energético Interno
 - Equilíbrio de temperatura entre todas as fases;
 - A diferença entre a energia interna U e a entalpia H pode ser negligenciada.

2.4.2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

Ecrã principal

Tal como anteriormente, quando se abre o programa Delphin, o utilizador depara-se com a janela seguinte, apresentada na Figura 10, havendo uma organização da informação e das potencialidades do programa. Cada janela corresponde a diferentes dados de entrada e a diferente informação.

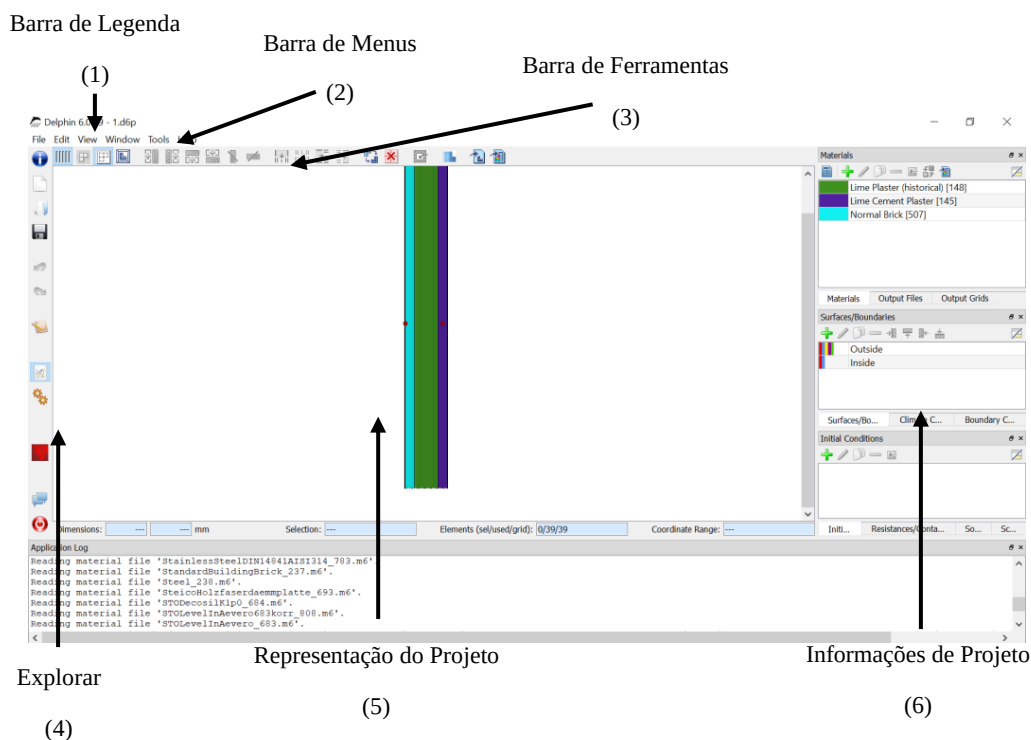


Figura 10 – Ecrã Principal Delphin

- (1) Barra de Legenda: mostra o nome do programa e o nome do projeto atual.
- (2) Barra de Menus: mostra os diversos menus principais.

- (3) Barra de Ferramentas: ícones com acesso aos comandos mais utilizados que podem ser alcançados de forma imediata.
- (4) Explorar: é uma alternativa ao menu “Dados de Entrada” e oferece fácil e rápido acesso às diferentes caixas de texto.
- (5) Representação do Projeto: mostra o elemento construtivo em permanência tal como o utilizador pretende, havendo uma modificação imediata se as características forem alteradas.
- (6) Informação de projeto: são gravados neste espaço as informações do projeto e possíveis comentários.

Barra de Menus

No menu principal existem seis opções disponíveis, tal como mostra a Figura 11.

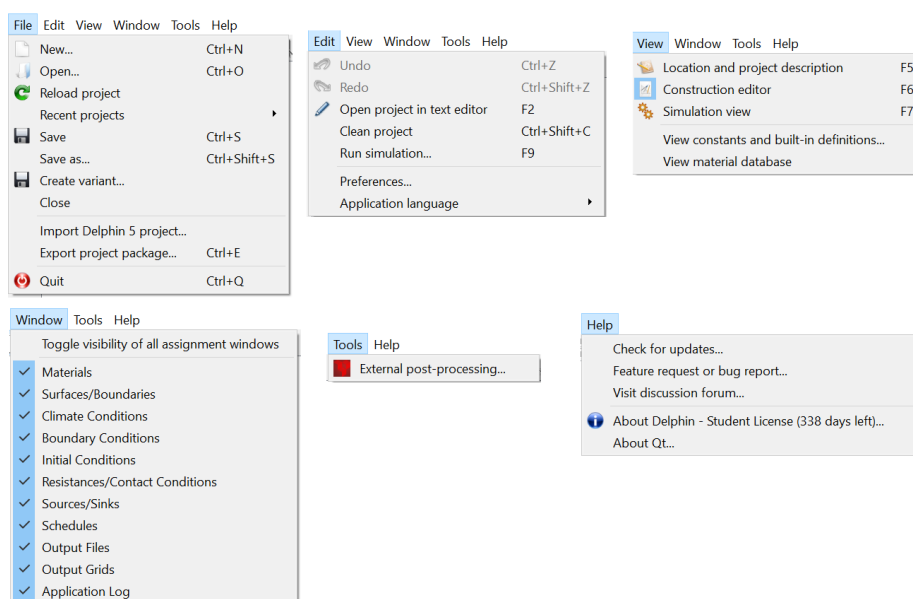


Figura 11 – Menu Principal Delphin

- (1) *File*, “Projeto” – permite iniciar um projeto, ou abrir um projeto já existente e guardar o trabalho executado.
- (2) *Edit*, “Editar” – permite desfazer o último passo, limpar o projeto na totalidade, escolher a língua ou mesmo correr a simulação.
- (3) *View*, “Ver” – permite localizar o projeto, ver a simulação, ver os materiais utilizados ou até mesmo ver as definições.
- (4) *Window*, “Janela” – permite o acesso a todas os dados de entrada como materiais; condições iniciais e fronteira; dados de saída etc.
- (5) *Tools*, “Ferramentas” – permite o acesso ao pós-processamento externo após a simulação.
- (6) *Help*, “Ajuda” – opções acerca da utilização do programa que ajudem o utilizador em caso de dúvida

Dados de Entrada

Para efetuar a simulação do comportamento higrotérmico dos elementos de construção em contacto com o terreno é necessária a seguinte informação [24]:

- Materials View, “Materiais” – Nesta caixa de diálogo selecciona-se e importa-se os materiais necessários para a simulação. Os dados do material estão armazenados em arquivos de material como se demonstra na Figura 12.
- Output files, “Ficheiros de dados de saída” – Seleccionam-se os ficheiros de humidade relativa de superfície, temperatura, etc, para as superfícies e para o elemento construtivo em si, já criado, como se pode ver na Figura 12.
- Output grids, “Representações de dados de saída” – São utilizados para definir períodos de tempo durante a simulação. Pode ter vários intervalos, como está representado na Figura 12.
- Surfaces/Boundaries, “Superfícies/Limites” – Nesta caixa de diálogo preenchem-se especificações como a orientação e inclinação das superfícies (interior e exterior) bem como as condições climáticas (aquecimento, difusão de vapor, onda de radiação curta e longa e direção do vento como se vê na Figura 12
- Climate Conditions, “Condições Climáticas” – Nesta caixa de diálogo pode-se definir os dados climáticos requeridos nas condições fronteira. Escolher o tipo de clima basicamente define o tipo de condições do ambiente, como está representado na Figura 13.
- Boundary Conditions, “Condições Fronteira” – Nesta caixa de diálogo pode-se definir uma condição limite para a estrutura. Condições fronteira definem como um certo clima atua na superfície da estrutura, de acordo com a Figura 13.
- Initial Conditions, “Condições Iniciais” – Nesta caixa de diálogo o utilizador pode definir ou editar uma condição inicial. É possível definir a Temperatura e Humidade Relativa ao mesmo tempo. É necessário especificar as condições para todas as equações de equilíbrio e em todos os elementos, como está representado na Figura 14.
- Resistances/Contact Conditions, “Condições de Contacto” – Nesta caixa de diálogo pode-se adicionar valores de resistência nas interfaces da camada do material, podendo ser usados materiais modelo sem capacidade de armazenamento notável, mas com alta resistência ao transporte sem discretização, ou seja, sem transformar uma distribuição contínua em unidades individuais (por exemplo barreiras de vapor). Desta forma, as condições de contato devem ser atribuídas à configuração e está ilustrado na Figura 14.
- Sources/Sinks, “Fontes” – Neste campo seleccionam-se os tipos de fontes como a energia, fluidez de um líquido, etc como se vê na Figura 14.
- Schedules, “Período” – Selecciona-se o início do ensaio, a duração e o fim do mesmo na caixa de diálogo seleccionada na Figura 14.

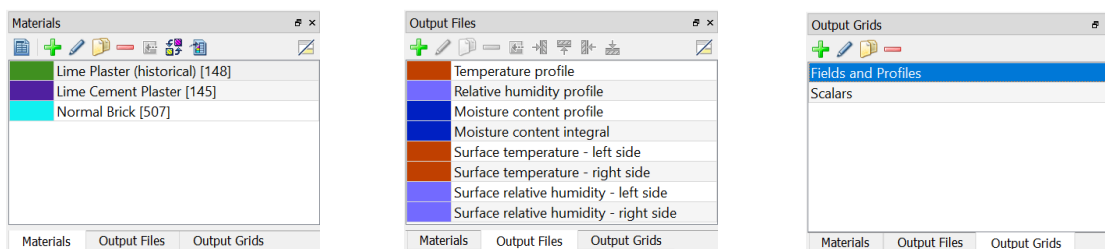


Figura 12 – Materials; Output Files; Output Grids

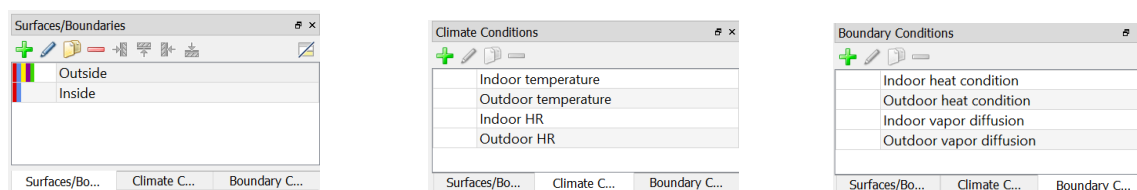


Figura 13 – Surfaces/Boundaries; Climate Conditions; Boundary Conditions

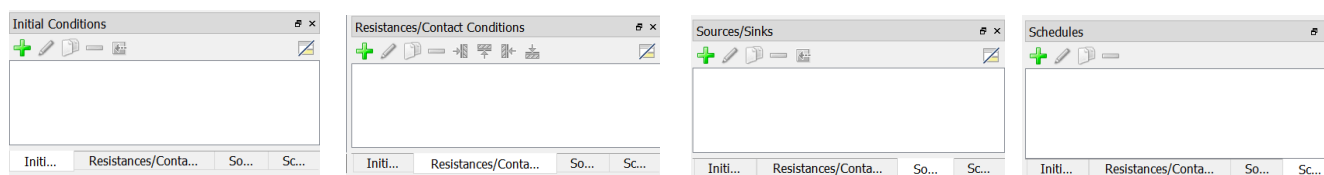


Figura 14 – Initial Conditions; Resistances/Contact; Sources/Sinks; Schedules

Tabela de Propriedades dos Materiais

No programa DELPHIN existe já um arquivo de materiais, estando subdividido nas seguintes categorias, tal como se encontra no Anexo 3 – Materiais disponíveis na base de dados do Delphin:

- Revestimento;
- Gesso e argamassa;
- Tijolo de construção;
- Pedras naturais;
- Betão que contém materiais de construção;
- Materiais de isolamento;
- Placas de construção;
- Madeira;
- Materiais naturais;
- Solo;
- Painéis de revestimento e telhas cerâmicas;
- Folhas e produtos de impermeabilização;
- Diversos.

Todos eles, seja em que categoria estejam incluídos, apresentam as propriedades descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades dos materiais do programa DELPHIN

Propriedades	Unidades
Massa volúmica - ρ	kg/m ³
Porosidade - ϵ	%, m ³ /m ³
Fator de resistência à difusão de calor - μ	-

Permeabilidade ao ar	s
Calor específico - c_p	J/(kg.K)
Condutibilidade Térmica - λ	W/(m.K)
Saturação capilar - θ	m ³ /m ³
Coefficiente de absorção - A_w	Kg/m ² .s ^{0,5}

No Anexo 4 – Propriedades dos materiais de cada categoria do Delphin - encontra-se de uma forma pormenorizada toda a informação disponível acerca de cada categoria de materiais. Os gráficos apresentados são o de isoterma de absorção e adsorção que relaciona a humidade relativa com o teor de humidade; o de permeabilidade ao vapor, que relaciona o teor de humidade com a permeabilidade ao vapor; o gráfico de retenção de humidade, que relaciona o logaritmo de pressão de sucção com o teor de humidade e finalmente o gráfico de condutividade que relaciona o teor de água com a condutividade da água, em segundos.

É possível constatar que alguns materiais não possuem informação sobre os gráficos acima descritos, sendo mais frequente acontecer na categoria do betão que contém materiais de construção e na categoria de diversos.

Para uma análise mais detalhada, encontram-se no Anexo 3 as tabelas de materiais disponíveis pelo programa Delphin para a categoria selecionada. O utilizador apercebe-se assim da quantidade de opções à disposição.

Note-se que não existem materiais nas categorias “revestimento” e “materiais naturais”.

Condições Climáticas

É necessário definir condições climáticas para cada intervalo de tempo, tal como é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Condições climáticas para o programa DELPHIN

Dados climáticos	Unidades
Chuva incidente na superfície vertical exterior	l/m ² .h
Chuva incidente num plano horizontal	l/m ² .h
Radiação solar de onda curta	W/m ²
Radiação solar de onda longa	W/m ²
Radiação solar direta (componente da radiação de onda curta)	W/m ²
Radiação solar difusa (componente da radiação de onda curta)	W/m ²

Emissão de calor do solo circundante (componente da radiação de onda longa)	W/m ²
Radiação atmosférica contrária (componente da radiação de onda longa)	W/m ²
Temperatura do ar exterior	°C
Humidade relativa do ar exterior	0-1
Temperatura do ar interior	°C
Humidade relativa do ar interior	0-1
Pressão atmosférica	Pa
Pressão de vapor de água	Pa
Solução salina	mol/kg
Velocidade do vento	m/s
Direção do vento	Graus

Coefficientes de Transferência Superficiais

Os coeficientes de transferência superficiais necessários para a execução das simulações são os mesmos do WUFI.

Dados de Saída

CHAMPS, acrónimo inglês para “Coupled Heat, Air, Moisture, Pollutant Simulation”, o que significa “Calor Acoplado, Ar, Humidade, Simulação de Poluentes” é um acrónimo para o calor, o ar, a humidade, os poluentes e o transporte de sal sendo este o modelo físico do código do programa Delphin.

Para resolver o problema, é necessária a definição de algumas condições e no fim a solução numérica é aplicada para resolver o sistema de equações [24].

Após correr a simulação, na opção “External post-processing”, há um acesso direto à pasta onde os resultados foram gravados. Há a possibilidade de, dentro de cada output escolhido previamente, selecionar quatro tipos de gráficos: *Surface Chart*, *Contour Chart*, *Image Chart* e *Profile Chart*. Em cada um existe uma Tabela Excel para melhor organização e perceção dos valores.

No Anexo 5 – Ficheiros de saída disponíveis no Delphin - encontram-se os diferentes dados de saída que o utilizador pode selecionar, por exemplo gráfico de Temperatura, Humidade Relativa, Condensação, e muitos outros.

No Anexo 6 - Exemplos de dados de saída do Delphin - encontram-se exemplos meramente ilustrativos dos quatro tipos de gráficos possíveis na recolha dos dados de saída.

2.5. COMPARAÇÃO DOS PROGRAMAS WUFI E DELPHIN

De uma forma sucinta, quer o programa WUFI quer o Delphin são utilizados para o transporte de água líquida, que constitui parte do objetivo deste estudo. O propósito dos modelos higrotérmicos é fornecer informações necessárias para a tomada de decisões futuras. Sendo assim, consegue constatar-se que o programa Delphin disponibiliza mais hipóteses de estudo do que o programa WUFI, a nível de propriedades dos materiais (consultar Tabela 1 e Tabela 3), a nível de quantidade de materiais disponíveis, e essencialmente a nível de ficheiros de resultados de saída.

2.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo apresentou-se e sintetizou-se a seguinte informação:

- Breve descrição dos vários programas numéricos existentes;
- Apresentação dos dois programas em estudo, WUFI e Delphin de uma forma mais aprofundada, mostrando a resolução numérica do sistema de equações diferenciais de cada um;
- Descrição pormenorizada de cada programa, apresentando-se imagens ilustrativas dos variados casos;
- Caracterização dos dados de entrada necessários à execução do programa e dos possíveis resultados de saída, apresentando-se simultaneamente em anexo as respetivas tabelas extensas;
- Comparação dos dois programas numa fase muito inicial.

3

DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFETUADAS

3.1. INTRODUÇÃO

Conhecidas as potencialidades e o modo de funcionamento dos programas WUFI e Delphin, neste capítulo procura-se agora analisar o comportamento higrotérmico de três elementos monolíticos de diferentes materiais: pedra calcária, betão e barro vermelho.

O objetivo é comparar duas ferramentas de simulação avançada, WUFI e Delphin, para a transferência de calor e humidade. Pretende-se testar os mesmos modelos com os mesmos materiais e condições fronteira e perceber qual o comportamento dos materiais, simulando uma experiência tal como se estivesse no laboratório, ao colocar uma das frentes do bloco num recipiente com água e estudar a sua progressão ao longo do tempo e ao longo da espessura do próprio material, ou seja, perante um ensaio de absorção capilar. Para isso terão de definir-se as mesmas condições iniciais de temperatura e humidade relativa, em ambos os programas, a fim de se poder comparar a sua eficiência.

3.2. ELEMENTOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DE UMA SIMULAÇÃO

É necessário destacar que durante a definição do(s) material(is) foram identificadas algumas dificuldades na tentativa de ser o próprio utilizador a criar um material não existente na base de dados. No programa WUFI a introdução de um novo material que não exista na respetiva base de dados é possível, sendo imperativo introduzir-se algumas propriedades que serão descritas mais à frente neste capítulo. Já no programa Delphin, para se criar um novo material, teria de se saber algumas funções do material já existente, como a função de armazenamento de humidade, a condutividade de vapor de água e a condutividade da água líquida [25] ou então recorrer-se a uma versão mais antiga do mesmo (Delphin 5), e consequentemente importar o novo material criado para a versão em causa (Delphin 6). Chegou-se à conclusão de que, quer um, quer o outro processo seriam demasiado morosos, não estando disponível o acesso a equipamento de medição destas propriedades e traduzindo-se mesmo em processos desnecessários ao estudo que se pretende realizar com esta dissertação. Sendo assim, e sendo conhecidos os resultados experimentais dos três materiais em estudo, optou-se por procurar na base de dados de materiais do Delphin, materiais que contenham características e propriedades o mais idênticas possível ao experimental e daí utilizar as propriedades do novo material encontrado para a definição desse mesmo material no programa WUFI.

A procura desse material semelhante no programa Delphin nem sempre é simples, uma vez que existem muitos que aparentemente seriam indicados mas que não apresentam a curva higroscópica (relação entre humidade relativa e teor de humidade), o que constitui um grande entrave. Há ainda a

questão da porosidade, uma vez que esta propriedade apresenta valores muito díspares em relação ao valor da porosidade dos resultados experimentais, quando todas as outras propriedades estão inseridas num intervalo bastante razoável, quando comparadas com os mesmos.

Com vista à realização de simulações no programa Delphin, foi necessário introduzir um conjunto de informação, nomeadamente:

- Definição do material;
- Espessura do elemento;
- Definição da geometria do(s) elemento(s) em análise e indicação do número de elementos que compõem a grelha quer na direção x como na direção y ;
- Condições climáticas de temperatura e humidade relativa em todas as superfícies;
- Escolha do tipo de dados de saída;
- Definição do intervalo de tempo para os dados de saída.

Note-se que para simular um elemento com uma das superfícies (exterior) em contacto com água, na janela de “Boundary Conditions” selecionou-se uma condição do tipo “Water Contact” que continha três opções: “Surface Value”; “Imposed Flux” ou “Hydrostatic Imposed Flux”. A última automaticamente é eliminada, uma vez que só se pode aplicar em elementos com duas dimensões, o que não é o caso. A opção “Surface Value” pressupõe [26]:

- Contacto direto com a água;
- Uma pressão:
 - É dada como altura de pressão, chamando-se “Pressure head”;
 - Altura = 0m quando o elemento ficará saturado;
 - Altura positiva (água com pressão), a superfície fronteira ficará saturada, apresentando um fluxo;
 - Altura negativa (água em tensão, por exemplo, tensão superficial) sendo que a superfície fronteira não fica saturada.
- Entalpia que depende das condições climáticas e temperatura da água.

A opção “Imposed Flux” pressupõe [26]:

- Densidade do fluxo de água na superfície fronteira, que poderá conduzir a uma sobressaturação e problemas numéricos;
- Entalpia que depende das condições climáticas e temperatura da água.

Para “Surface Value” foi atribuído à pressão o valor de 0 metros. Para “Imposed Flux” foram atribuídos valores de várias ordens de grandeza, desde 1000 kg/m²s a 0,01 kg/m²s, como se irá mostrar mais à frente no presente capítulo.

Para a realização das simulações no programa WUFI, foi necessário definir determinadas condições, nomeadamente:

- Criação de um material, atribuindo-se os valores retirados do Delphin às seguintes propriedades:
 - Massa volúmica (ρ);
 - Calor específico (c_p);
 - Porosidade (ϵ);
 - Condutibilidade térmica (λ);
 - Fator de resistência à difusão do vapor (μ);
 - Curva Higroscópica (relação entre a humidade relativa e o teor de humidade).
- Coeficiente de transferência da água líquida, sucção (tem de se introduzir os valores de Teor de Humidade de referência, Humidade de saturação livre e Coeficiente de absorção de água)

- Espessura do elemento;
- Definição da geometria do(s) elemento(s) em análise e indicação do número de elementos que compõem a grelha quer na direção x como na direção y;
- Condições climáticas de temperatura e humidade relativa em todas as superfícies;
- Definição do período de tempo de simulação.

É de notar que para simular que um elemento com uma das superfícies (exterior) em contacto com água, importa-se um ficheiro de água líquida para a janela “Clima Exterior” que simula água da chuva a uma temperatura de 20°.

É importante salientar também que para a criação da curva higroscópica e inerente atribuição do teor de humidade a valores de humidade relativa, foi necessário alterar as unidades, uma vez que o Delphin apresenta os resultados de teor de humidade em m^3/m^3 e no WUFI os valores são lidos em kg/m^3 . Assim sendo, para cada valor de teor de humidade retirado do Delphin, teria de se multiplicar pela densidade da água ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$).

O WUFI não utiliza a curva de retenção de humidade, utiliza outra propriedade chamada coeficiente de transporte líquido para a sucção, DW_s (m^2/s) e o coeficiente de transporte líquido para a redistribuição, DW_w (m^2/s). Ou seja, gerar esta curva para o programa correr é fundamental. São assim requeridos os valores de Teor de Humidade de Referência, W_{80} (kg/m^3), Humidade de Saturação Livre, W_{sat} (kg/m^3) e Coeficiente de Absorção de água, A_w ($\text{Kg}/\text{m}^2.\text{s}^{0,5}$).

A Figura 15 ilustra as condições recriadas em ambos os programas.



Figura 15 – Ilustração esquemática das condições iniciais de Temperatura e Humidade Relativa consideradas

3.3. CONFIGURAÇÕES ADOTADAS

3.3.1. PEDRA CALCÁRIA

A Figura 16 representa o material Pedra Calcária onde à esquerda (Exterior) há contacto com água líquida sendo que as condições de temperatura e humidade relativa do ambiente foram consideradas $T=20^\circ\text{C}$ e $HR=50\%$, respetivamente.



Figura 16 – Ilustração esquemática das condições de temperatura e humidade relativa para a pedra calcária

Os valores das propriedades experimentalmente obtidas para a pedra calcária são os apresentados na Tabela 5 [21].

Tabela 5 – Propriedades medidas experimentalmente para a pedra calcária

Propriedades	Resultados
Massa volúmica - ρ	2155±14 kg/m ³
Calor específico - c_p	1000 J/(kg.K)
Porosidade - ϵ	19,7 %
Condutibilidade Térmica - λ	1,33±0,0250 W/(m.K)
Fator de resistência à difusão de calor - μ	41±2,22
	29±3,11

Os valores obtidos para a curva higroscópica [21] são também apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Curva higroscópica obtida experimentalmente para a pedra calcária

Humidade Relativa (%)	Teor de Humidade (W/kg.m ³)
4	0,5214
11,2	0,5925
34,8	0,8725
58,6	1,0427
76,3	1,2366
80,0	1,3336
84,2	1,5835
92,1	2,3809

Conhecendo os valores das propriedades, e após pesquisa na base de dados dos materiais, estes foram os que apresentavam as características mais semelhantes às pretendidas:

- *Granite* [78]
- *Granite (weathered)* [263]
- *Granite boulder* [463]

Após comparação das propriedades dos três materiais, constatou-se que aquele que reúne um conjunto de características mais parecidas com a pedra calcária é o *Granite (weathered)* [263]. No entanto há algumas propriedades com resultados diferentes dos experimentais, tal como a porosidade e mesmo os valores do teor de umidade da curva higroscópica. Estas propriedades são importantes para analisar o comportamento higroscópico do material e limitam assim a possível comparação com os dados

experimentais. De qualquer forma, foi selecionado o material *Granite (weathered)*, tal como mostra a Figura 17.

O material *Granite (weathered)* passará então a ser chamado de Pedra Calcária.

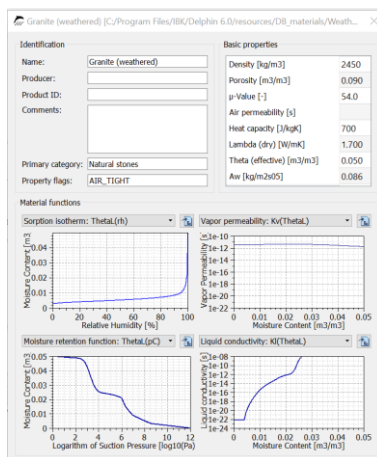


Figura 17 – Propriedades da pedra calcária no programa Delphin

Na Tabela 7 apresentam-se os valores das propriedades do novo material.

Tabela 7 – Valores das propriedades da pedra calcária utilizadas no programa Delphin

Propriedades	Resultados
Densidade - ρ	2450 kg/m ³
Calor específico - c_p	700 J/(kg.K)
Porosidade - ϵ	9 %
Condutibilidade Térmica - λ	1,700 W/(m.K)
Fator de resistência à difusão de calor - μ	54

Tal como foi explicado anteriormente no presente capítulo, os valores do teor de umidade para serem introduzidos no programa WUFI sofrerão uma alteração, tal como se evidencia na Tabela 8.

Tabela 8 - Curva higroscópica da pedra calcária introduzida no programa WUFI

Umidade Relativa (%)	Teor de Umidade (kg/m ³)
0	0
0,1	0,00451065×1000=4,51065
0,2	0,00451608×1000=4,51608

0,3	$0,00452608 \times 1000 = 4,52608$
0,4	$0,0054838 \times 1000 = 5,4838$
0,5	$0,00580637 \times 1000 = 5,80637$
0,6	$0,00645163 \times 1000 = 6,45163$
0,7	$0,00677412 \times 1000 = 6,77412$
0,8	$0,00709669 \times 1000 = 7,09669$
0,9	$0,00935473 \times 1000 = 9,35473$
0,95	$0,0109676 \times 1000 = 10,9676$
1	$0,493878 \times 1000 = 49,3878$

Foram apresentados resultados do teor de humidade do gráfico correspondentes a humidades relativas de 0 a 1, e espaçadas de 0,1 entre si com exceção do valor 0,95, o qual foi acrescentado, uma vez que o gráfico cresce exponencialmente e seria interessante analisar esse valor.

Note-se que, para a curva higroscópica ser válida no WUFI, os valores de teor de humidade têm de ser progressivamente ascendentes.

Na Figura 18 apresenta-se a janela de criação do material e respetivos dados no programa WUFI.

The screenshot shows the 'Camada/Dados do Material' window for 'pedra calcária'. It includes sections for 'Valores Básicos' (Basic Values) and 'Funções Higrotérmicas' (Hygrothermal Functions). The 'Funções Higrotérmicas' section is expanded, showing the 'Curva Higroscópica' (Hygroscopic Curve) table. The table has columns for 'Nº' (Number), 'HR' (Relative Humidity), and 'Teor de Humidade' (Moisture Content). The data points in the table are as follows:

Nº	HR [-]	Teor de Humidade [kg/m³]
1	0	0
2	0.1	4.51065
3	0.2	4.51608
4	0.3	4.52608
5	0.4	5.4838
6	0.5	5.80637
7	0.6	6.45163

Other visible data in the window includes: Density [kg/m³] = 2450, Porosity [m³/m³] = 0.09, Specific Heat [J/kgK] = 700, Thermal Conductivity [W/mK] = 1.70, Vapor Resistance Factor [-] = 54, Reference Moisture Content [kg/m³] = 7.09669, Free Saturation Humidity [kg/m³] = 49.3878, Water Absorption Coefficient [kg/m²s⁰.5] = 0.086, and Layer Thickness [m] = 0.2.

Figura 18 – Propriedades da pedra calcária no programa WUFI

3.3.2. BETÃO

A Figura 19 será representativa do material Betão ao longo do estudo.



Figura 19 – Ilustração esquemática das condições de temperatura e humidade relativa para o betão

Como a comparação dos eventuais resultados obtidos com os dados experimentais se torna algo necessário, uma vez que não é possível utilizar-se um material com exatamente as mesmas propriedades por motivos já mencionados no presente capítulo, no caso do betão, selecionou-se o material *Concrete* [569].

Na Figura 20 encontra-se ilustrado as propriedades deste material no Delphin, que passará a designar-se Betão.

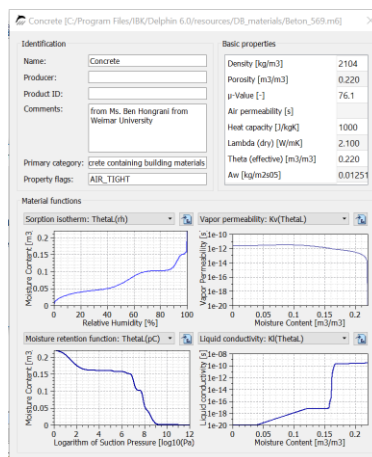


Figura 20 – Propriedades do betão no programa Delphin

Na Tabela 9 apresentam-se os valores das propriedades do novo material.

Tabela 9 – Valores das propriedades do betão utilizadas no programa Delphin

Propriedades	Resultados
Densidade - ρ	2104 kg/m ³
Calor específico - c_p	1000 J/(kg.K)
Porosidade - ϵ	22 %
Condutibilidade Térmica - λ	2,100 W/(m.K)

Fator de resistência à difusão de calor - μ	76,1
---	------

Novamente, os valores do teor de humidade para serem introduzidos no programa WUFI sofrerão uma alteração, tal como se evidencia na Tabela 10:

Tabela 10 - Curva higroscópica do betão introduzida programa WUFI

Humidade Relativa (%)	Teor de Humidade (kg/m ³)
0	0
0,1	$0,0308597 \times 1000 = 30,8597$
0,2	$0,0424321 \times 1000 = 42,4321$
0,3	$0,0462896 \times 1000 = 46,2896$
0,4	$0,0527187 \times 1000 = 52,7187$
0,5	$0,0681485 \times 1000 = 68,1485$
0,6	$0,0887217 \times 1000 = 88,7217$
0,7	$0,104152 \times 1000 = 104,152$
0,8	$0,104252 \times 1000 = 104,252$
0,9	$0,113152 \times 1000 = 113,152$
0,95	$0,153013 \times 1000 = 153,013$
1	$0,209589 \times 1000 = 209,589$

A Figura 21 apresenta o aspeto da janela de criação do material e respetivos dados no programa WUFI para este material.

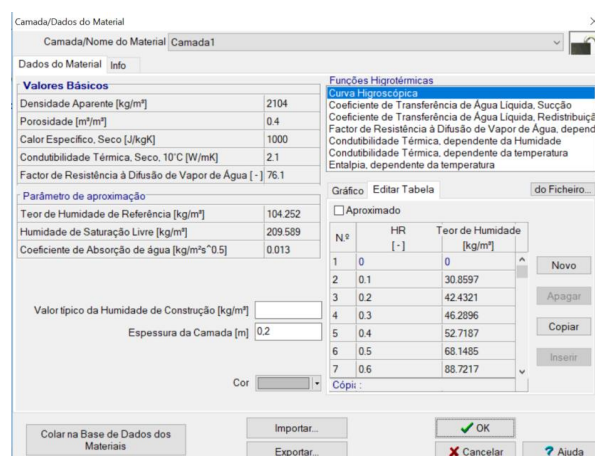


Figura 21 – Propriedades do betão no programa WUFI

3.3.3. BARRO VERMELHO

A Figura 22 será representativa do material Barro Vermelho ao longo do estudo.



Figura 22 – Ilustração esquemática das condições de temperatura e umidade relativa para o barro vermelho

Tal como aconteceu com os materiais anteriores, também o material correspondente ao barro vermelho foi escolhido de uma forma criteriosa tendo em conta a ausência da curva higroscópica na maioria dos materiais da base de dados da categoria “Clay”. Desta maneira, foi selecionado o material *Clay [631]*, que passará a denominar-se então Barro Vermelho.

Na Figura 23 encontra-se ilustrado as propriedades deste material no Delphin.

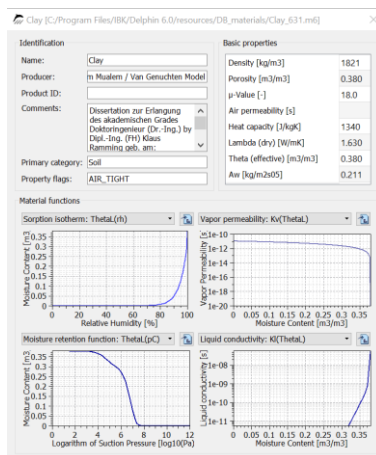


Figura 23 – Propriedades do barro vermelho no programa Delphin

Na Tabela 11 apresentam-se os valores das propriedades do novo material.

Tabela 11 – Valores das propriedades do barro vermelho utilizadas no programa Delphin

Propriedades	Resultados
Densidade - ρ	1821 kg/m ³
Calor específico - c_p	1340 J/(kg.K)
Porosidade - ϵ	38 %
Condutibilidade Térmica - λ	1,630 W/(m.K)
Fator de resistência à difusão de calor - μ	18

Novamente, os valores do teor de humidade para serem introduzidos no programa WUFI sofrerão uma alteração, tal como se evidencia na Tabela 12:

Tabela 12 - Curva higroscópica do barro vermelho introduzida no programa WUFI

Humidade Relativa (%)	Teor de Humidade (kg/m ³)
0	0
0,1	$0,0000001 \times 1000 = 0,0001$
0,2	$0,00000012 \times 1000 = 0,00012$
0,3	$0,00000013 \times 1000 = 0,00013$
0,4	$0,00000014 \times 1000 = 0,00014$
0,5	$0,00000015 \times 1000 = 0,00015$
0,6	$0,00000016 \times 1000 = 0,00016$
0,7	$0,002 \times 1000 = 2,0$
0,8	$0,012 \times 1000 = 12,0$
0,9	$0,0559999 \times 1000 = 55,9999$
0,95	$0,148 \times 1000 = 148,0$
1	$0,358 \times 1000 = 358,0$

Na Figura 24 está representado o aspeto da janela de criação do material e respetivos dados no programa WUFI.

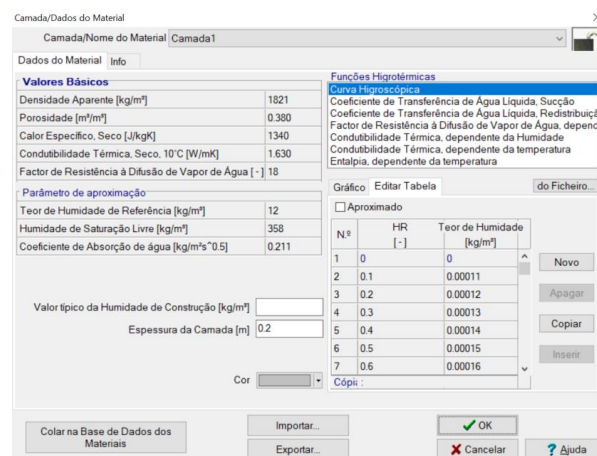


Figura 24 – Propriedades do barro vermelho no programa WUFI

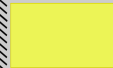
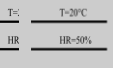
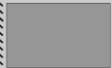
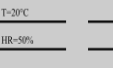
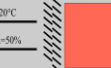
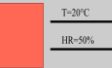
3.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Em síntese o capítulo 3 procurou essencialmente:

- Apresentar os três materiais que serão estudados ao longo da presente dissertação, atribuindo a cada um deles uma figura esquemática de diferente cor para mais facilmente serem identificados;
- Analisar a introdução dos dados de entrada necessários à realização de simulações nos programas WUFI e Delphin, apresentando tabelas e imagens ilustrativas dos mesmos;
- Expor as principais limitações dos programas e de que forma se contornaram as dificuldades encontradas.

A Tabela 13 sintetiza a informação necessária, sendo que as cores    correspondem às propriedades obrigatórias requeridas pelo programa Delphin, pelo programa WUFI, ou por ambos, respetivamente.

Tabela 13 – Valores das propriedades para os materiais pedra calcária, betão e barro vermelho

Propriedades	  	 	
Massa volúmica – ρ (kg/m ³)	2450	2104	1821
Calor específico - c_p (J/(kg.K))	700	1000	1340
Porosidade – ε (%)	9	22	38
Condutibilidade Térmica – λ (W/(m.K))	1,70	2,10	1,63
Fator de resistência à difusão de calor - μ	54,0	76,1	18,0
Curva higroscópica	0 – 0	0 – 0	0 – 0
	0,1 – 4,51065	0,1 – 30,8597	0,1 – 0,0001
	0,2 – 4,51608	0,2 – 42,4321	0,2 – 0,00012
	0,3 – 4,52608	0,3 – 46,2896	0,3 – 0,00013
	0,4 – 5,4839	0,4 – 52,7187	0,4 – 0,00014
	0,5 – 5,8037	0,5 – 68,1485	0,5 – 0,00015
	0,6 – 6,45163	0,6 – 88,7217	0,6 – 0,00016
	0,7 – 6,77412	0,7 – 104,252	0,7 – 2,0
	0,8 – 7,09669	0,8 – 104,252	0,8 – 12,0
	0,9 – 9,35473	0,9 – 113,152	0,9 – 55,999
Teor de Humidade de Referência – W_{80} (kg/ m ³)	0,95 – 10,9676	0,95 – 153,013	0,95 – 148,0
	1 – 49,3878	1 – 209,589	1 – 358,0
Teor de Humidade de Referência – W_{80} (kg/ m ³)	7,09669	104,252	209,589

Umidade de Saturação Livre – W_{sat} (kg/m ³)	49,3837	12	358
Coefficiente de Absorção de água – A_w (Kg/m ² .s ^{0,5})	0,086	0,013	0,211

4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EFETUADAS

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as várias especificidades dos programas WUFI e Delphin, mostrando primeiramente as opções experimentadas a nível de dados de saída, de tempo de simulação, de grelha utilizada e de ficheiros de condições fronteira para os materiais pedra calcária, betão e barro vermelho. Foram realizadas aproximadamente 150 simulações, muitas das quais não serão relevantes para o estudo desenvolvido, mas que apesar disso, contribuem para uma melhor percepção das potencialidades dos programas. Ao longo do capítulo e após análise das simulações, foram-se alterando e ajustando características a fim de tornar os resultados obtidos quer no WUFI quer no Delphin o mais comparáveis possível. Numa fase final, após a obtenção dos gráficos para a Humidade Relativa e Teor de Humidade, foi efetuada uma comparação de resultados e análise crítica.

4.2. ESPECIFICIDADES DOS PROGRAMAS WUFI E DELPHIN

4.2.1. DADOS DE SAÍDA

Os programas serão utilizados com o objetivo de avaliar o comportamento gráfico de três diferentes materiais, usando para tal duas grandezas: Humidade Relativa e Teor de Humidade.

No programa Delphin, de entre os dados de saída disponíveis, apresentados no Anexo 5, selecionaram-se os representados na Figura 25.

State variable or related quantity	RelativeHumidity	%	Relative humidity
State variable or related quantity	MoistureMassDensity	kg/m3	Total mass density of liquid water, water vapor and ice

Figura 25 – Dados de saída selecionados no programa Delphin

No programa WUFI não se selecionam os dados de saída como condição para o programa correr. Decorrido o tempo necessário à simulação, seleciona-se a informação que se pretende exportar para análise, tal como demonstra a Figura 26.

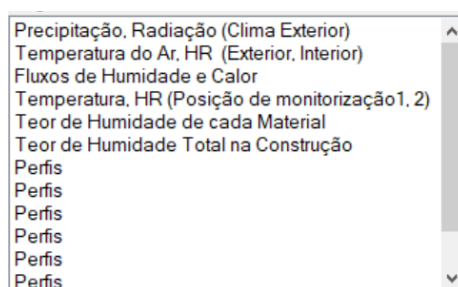


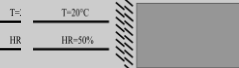
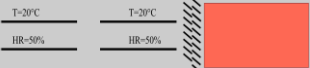
Figura 26 – Opções de dados de saída para análise no programa WUFI

4.2.2. TEMPO DE SIMULAÇÃO

Foi simulado um ensaio de absorção capilar para os três materiais: pedra calcária, betão e barro vermelho, adotando-se tempos diferentes de simulação para cada um deles.

A Tabela 14 apresenta qual o tempo de simulação e quais as unidades escolhidas para os três materiais.

Tabela 14 - Tempo de simulação para cada material

Propriedades			
Tempo total de simulação	1 hora	1 ano	1 dia
Unidades de tempo	minuto	hora	hora
Justificação	a)	b)	c)

- Para a pedra calcária foram realizadas várias simulações ao longo do tempo, nomeadamente, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 5 horas, 1 dia, 2 dias e concluiu-se que o estudo seria mais significativo para 1 hora já que a pedra é um material de rápida absorção. Os gráficos e tabelas provenientes do Delphin para o tempo de simulação requerido dão informação acerca da progressão da água absorvida pela frente húmida e a partir daí fica ao critério do utilizador escolher qual o tempo de simulação que pretende estudar. Neste caso, optou-se pelo estudo da absorção de água ao longo de 1 hora já que, devido às características do material em causa, nomeadamente a baixa porosidade (9%), o elemento satura com alguma velocidade de absorção. Para uma análise com algum pormenor, são estudados o 1º, 2º, 3º, 4º e 5º minutos e a partir daí de 5 em 5 minutos até perfazer 1 hora.
- Para o betão foram igualmente realizadas simulações ao longo do tempo, especificamente 3 horas, 5 horas, 1 dia, 3 dias, 1 mês, 3 meses, 6 meses, 1 ano e 2 anos, concluindo-se que o estudo se iria debruçar sobre 1 ano. Tendo em conta o tempo de simulação escolhido para a pedra calcária, começou por simular-se a absorção para intervalos curtos de tempo mas foi perceptível que o elemento não sofria qualquer alteração num espaço tão curto de tempo. Assim sendo, considerou-se 1 ano o intervalo de tempo para avaliar a absorção de água, neste caso.

Na Tabela 15 apresenta-se as horas simuladas que serão utilizadas nos dados de saída para o betão.

Tabela 15 – Unidades de medida

Meses	Dias	Horas
1	31	744
2	59	1416
3	90	2160
4	120	2880
5	151	3624
6	181	4344
7	212	5088
8	243	5832
9	273	6552
10	304	7296
11	334	8016
12	365	8760

- c) Para o barro vermelho foram igualmente realizadas simulações para diferentes tempos como 3 horas, 5 horas, 10 horas, 12 horas, 1 dia e 2 dias, constatando-se que o intervalo de tempo mais adequado seria de 1 dia. Verifica-se uma progressão da frente húmida relativamente rápida e ao fim de 2 dias percebe-se que o elemento fica sobressaturado, sendo a humidade relativa ao longo da espessura sempre de 100%. Irá analisar-se o comportamento deste material de hora a hora ao longo de 1 dia. Crê-se que este seja o período necessário para analisar o fenómeno de absorção capilar no barro vermelho.

4.2.3. GRELHA UTILIZADA

A grelha definida num programa de simulação numérica influencia a forma como os dados de saída serão traduzidos uma vez que quanto menos espaçada, mais pontos serão lidos ao longo da sua espessura e consequentemente mais precisão o utilizador terá nos resultados.

A Figura 27 mostra que, no programa WUFI, o tipo de grelha utilizado, também denominada como malha, é automático.

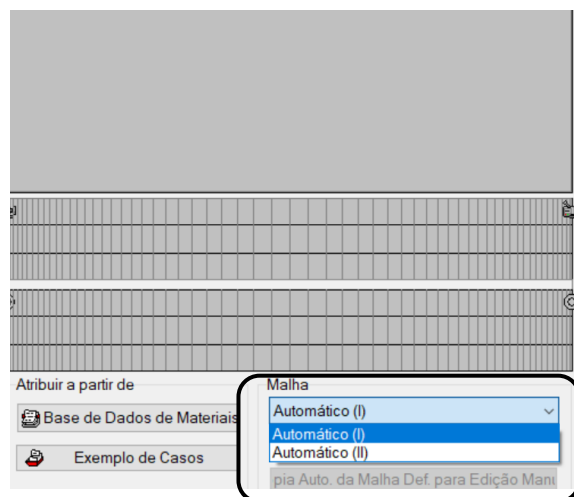


Figura 27 – Grelha pré-definida no programa WUFI

No programa Delphin, é o próprio utilizador que escolhe a grelha que pretende utilizar, no entanto, quando se abre a janela “Automatic grid generation” existe já uma grelha pré-definida. A Figura 28 apresenta a grelha pré-definida pelo programa e ao mesmo tempo, todos os campos que se podem preencher na opção “Automatic grid generation”.

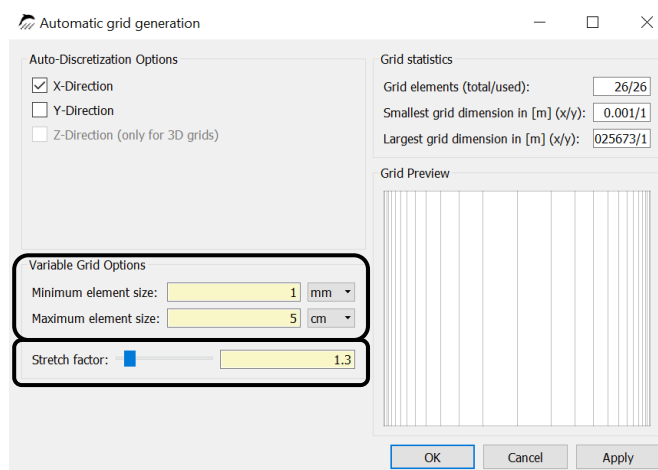


Figura 28 – Grelha pré-definida no programa Delphin

Numa primeira fase, as simulações foram efetuadas com a grelha pré-definida para o programa Delphin, assumindo-se não ser um fator relevante. Contudo, quando a tabela de resultados obtida foi introduzida no Excel a fim de criar gráficos que mostrassem a absorção gradual ao longo do tempo para a pedra calcária, do betão e do barro vermelho, reparou-se na falta de fiabilidade dos mesmos. As curvas desenhadas descrevem uma espécie de parábola que excede os limites de 50% e 100% de Humidade Relativa. Chegou-se à conclusão que a falta de pontos fez com que acontecesse uma interpolação ao longo da espessura, entre certos pontos, criando gráfico que não traduzem o processo correto de absorção de água, admitindo valores de Humidade Relativa que nem sequer constam na Tabela de valores. As Figura 29, Figura 30 e Figura 31 mostram os gráficos que relacionam a espessura do elemento com a humidade relativa para o material pedra calcária, betão e barro vermelho respetivamente.

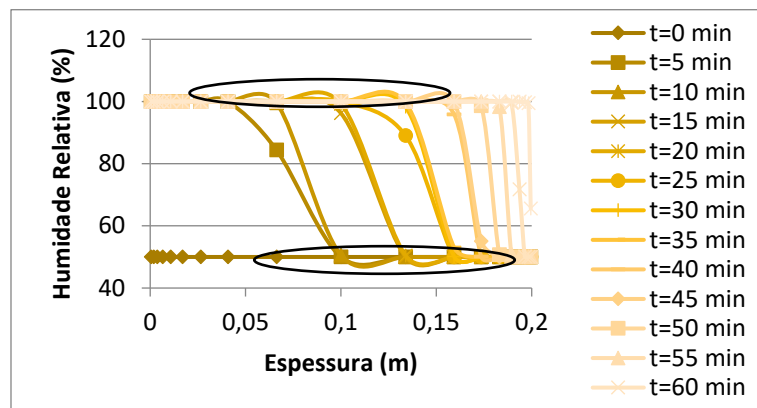


Figura 29 – Gráfico da Humidade Relativa para a pedra calcária, utilizando a grelha pré-definida do programa Delphin

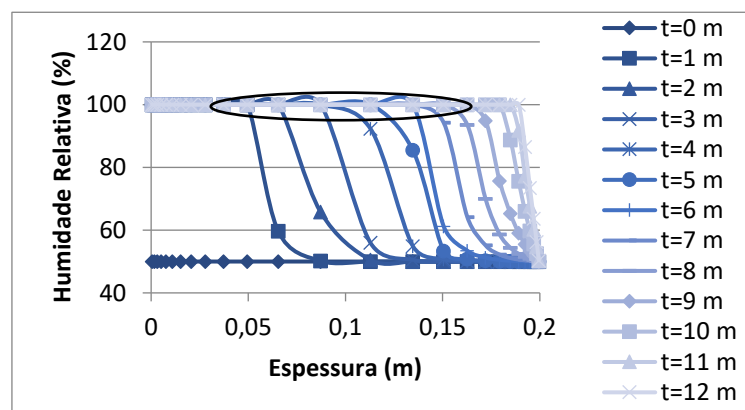


Figura 30 – Gráfico da Humidade Relativa para o betão, utilizando a grelha pré-definida do programa Delphin

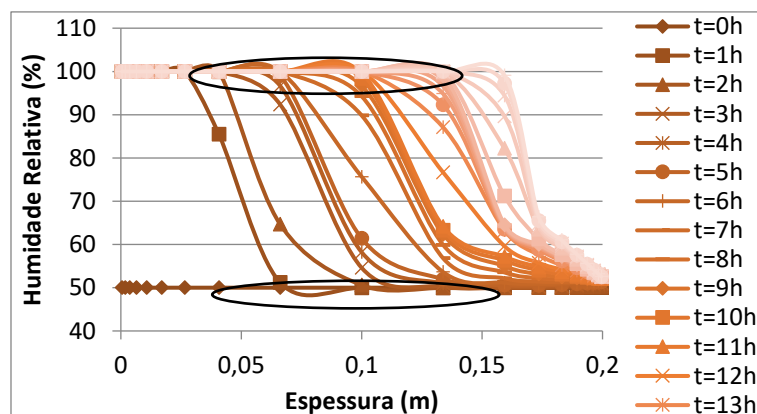


Figura 31 – Gráfico da Humidade Relativa para o barro vermelho, utilizando a grelha pré-definida do programa Delphin

Assim, tornou-se a grelha menos espaçada, como se mostra na Figura 32, fazendo com que fossem analisados mais pontos ao longo da espessura do elemento, sendo atribuídos novos valores de Humidade Relativa. Desta forma reduzem-se interpolações entre pontos.

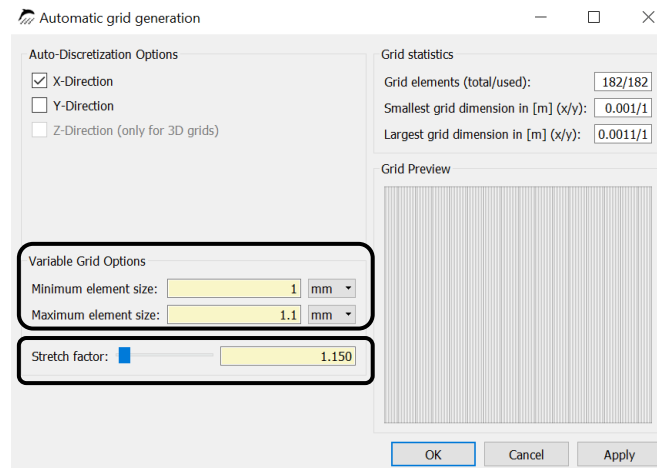


Figura 32 – Grelha utilizada no programa Delphin numa 2ª fase

4.2.4. DIFERENÇA ENTRE “SURFACE VALUE” E “IMPOSED FLUX” DO PROGRAMA DELPHIN

No programa WUFI não existem dúvidas quanto à forma de simulação de água constante numa das frentes do elemento monolítico, já que existe um ficheiro com esses dados que facilmente é importado, tal como foi mencionado no capítulo anterior.

Já no programa Delphin não é algo tão intuitivo. Depois de alguma pesquisa, chegou-se à conclusão que para simular as condições desejadas, teria de se criar um ficheiro chamado “Water Contact”, que se encontra na janela “Boundary Conditions” e seleccioná-lo na janela “Surfaces/Boundaries” como sendo o ficheiro que define as condições do lado exterior. As dúvidas surgem no momento da definição das características deste mesmo ficheiro denominado “Water Contact”, já que existem duas opções que parecem viáveis para o estudo em causa: “Surface Value” e “Imposed Flux”, cuja explicação foi fornecida no capítulo anterior em 3.2. Para que não restassem dúvidas, foram feitas simulações para ambos os casos.

Nas Figura 33, Figura 34 e Figura 35 apresentam-se esquemas de todas as simulações efetuadas para estas hipóteses, para os materiais pedra calcária, betão e barro vermelho respetivamente, sendo que a cor ■ corresponde às simulações que correram e a cor ■ corresponde às simulações que não correram.

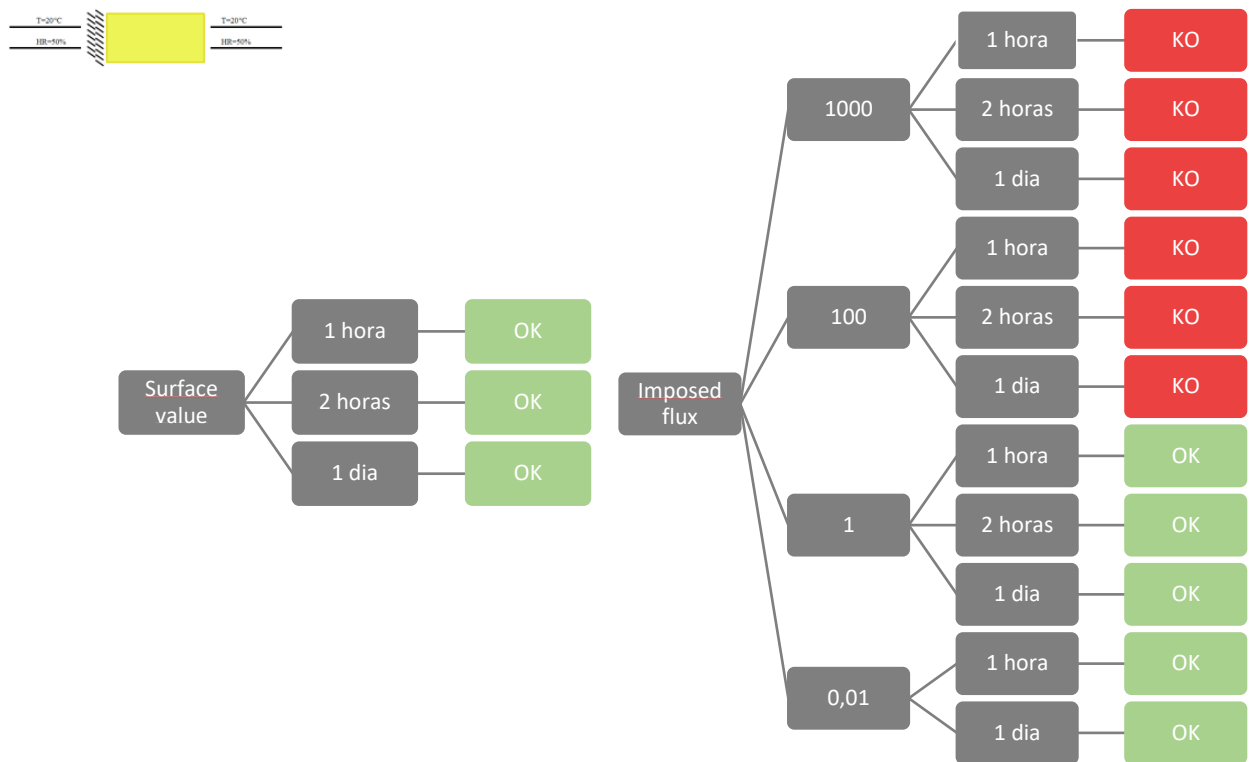


Figura 33 – Simulações realizadas para a pedra calcária com o ficheiro "Water Contact"

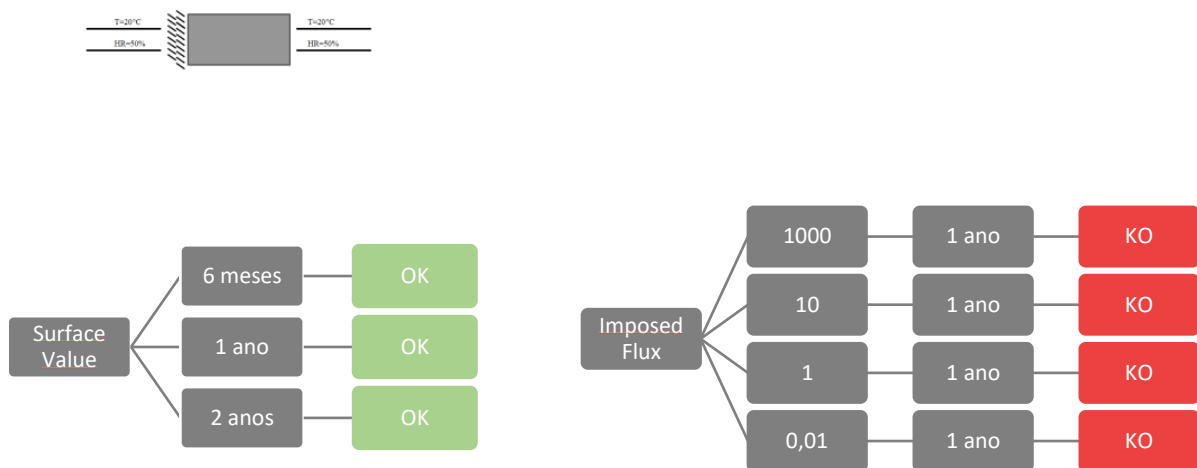


Figura 34 – Simulações realizadas para o betão com o ficheiro "Water Contact"



Figura 35 – Simulações realizadas para o barro vermelho com o ficheiro “Water Contact”

Na Tabela 16 encontra-se um código de cores para uma associação imediata do gráfico ao tipo de ficheiro “Water Contact” utilizado.

Tabela 16 - Código de cores para as opções “Surface Value” e “Imposed Flux”

Variantes		Cor
Surface Value		
Imposed Flux	1	
	0,1	
	0,01	

Seguidamente serão apresentados os gráficos de “Profile Charts” (gráficos apresentados no Anexo 6) de Humidade Relativa e de Teor de Humidade para algumas hipóteses do ficheiro “Water Contact” e serão analisadas as diferenças.

4.2.4.1. Comparação de “Profile Charts”

Na Figura 36 e Figura 37 encontram-se os gráficos “Profile” tanto para a Humidade Relativa, como para o Teor de Humidade, respetivamente para o material Pedra Calcária.

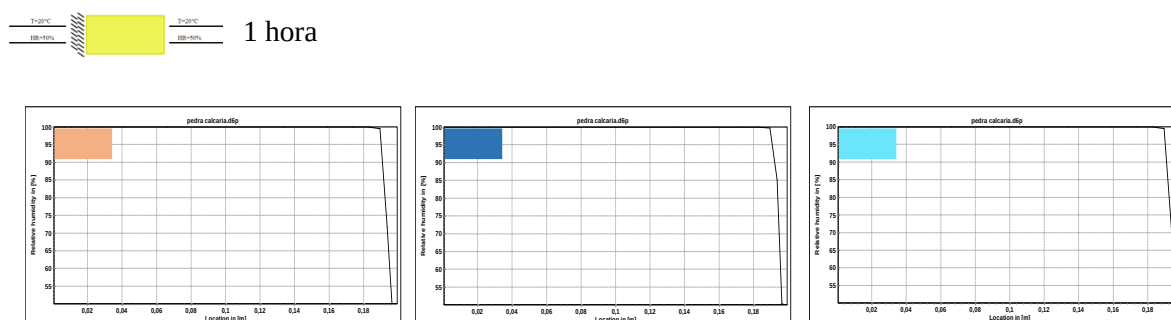


Figura 36 – “Profile Charts” para a pedra calcária, ao longo de 1 hora e para a Humidade Relativa

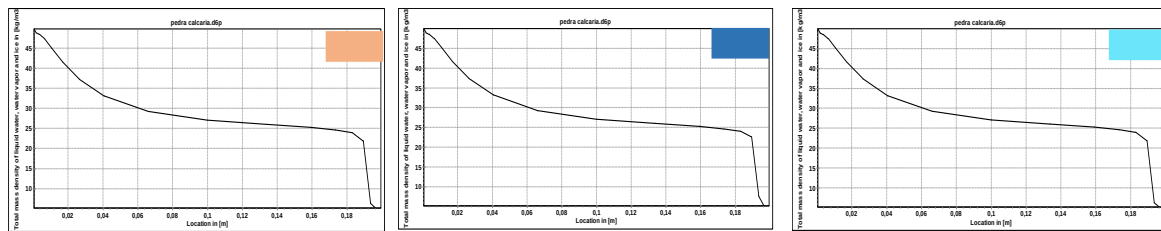


Figura 37 – “Profile Charts” para a pedra calcária, ao longo de 1 hora e para o Teor de Humidade

Na Figura 38 e Figura 39 encontram-se os gráficos “Profile” tanto para a Humidade Relativa, como para o Teor de Humidade, respetivamente para o material Betão.

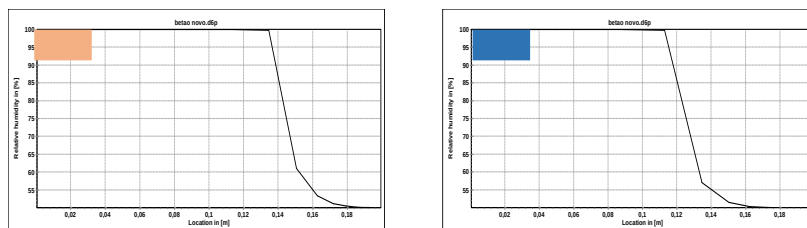
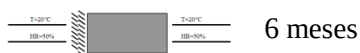


Figura 38 – “Profile Charts” para o betão, ao longo de 6 meses e para a Humidade Relativa

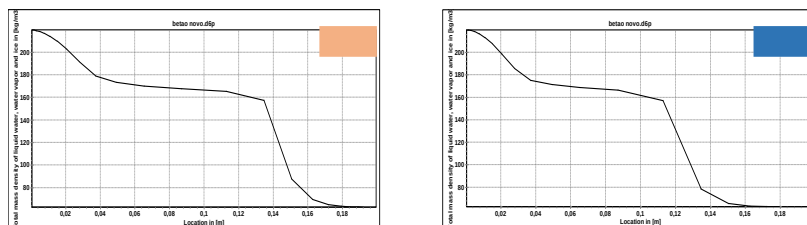


Figura 39 – “Profile Charts” para o betão, ao longo de 6 meses e para o Teor de Humidade

Nas Figura 40 e Figura 41 encontram-se os gráficos “Profile” tanto para a Humidade Relativa, como para o Teor de Humidade, respetivamente para o material Barro Vermelho.

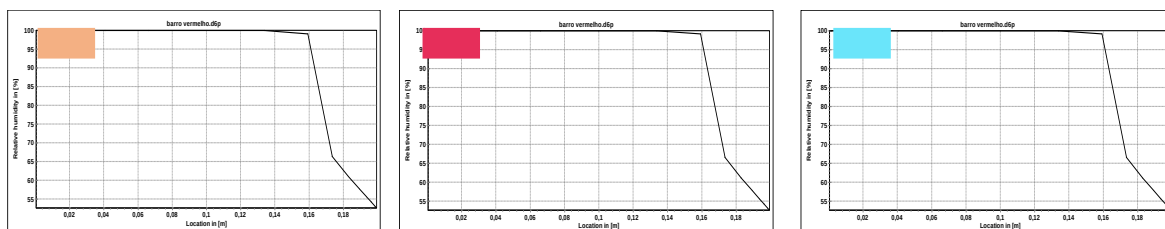


Figura 40 – “Profile Charts” para o barro vermelho, ao longo de 1 dia e para a Humidade Relativa

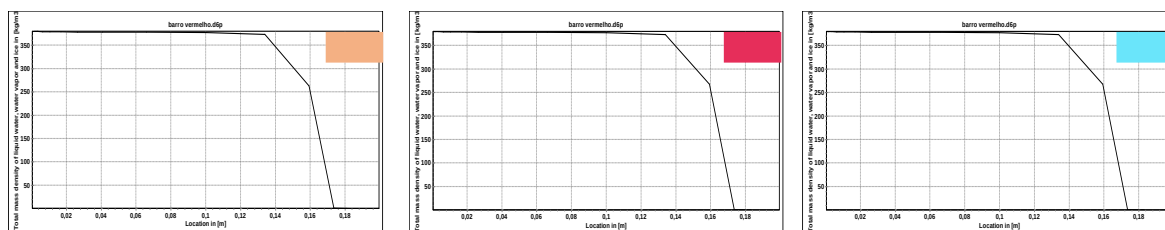


Figura 41 – “Profile Charts” para o barro vermelho, ao longo de 1 dia e para o Teor de Humidade

Verifica-se que não existe praticamente alterações significativas nos gráficos “Profile” para os intervalos de tempo escolhidos: 1 hora; 6 meses e 1 dia respetivamente para os materiais pedra calcária, betão e barro vermelho.

A humidade relativa altera-se quase impercetivelmente, na pedra calcária, descrevendo uma curva com um declive ligeiramente mais acentuado.

Note-se que, embora o programa não tivesse corrido para a hipótese “Imposed Flux” com a nova grelha, os gráficos apresentados para o betão provêm das simulações realizadas com a grelha que inicialmente se utilizou, grelha com a qual o programa correu. Como estes gráficos em questão apenas mostram a progressão da humidade relativa e teor de humidade ao fim de um dado tempo, a grelha não influencia esta análise. Deduz-se assim que o tempo de simulação do betão (1 ano) e a quantidade de pontos requeridos constituam demasiada informação para o programa conseguir correr, uma vez que é possível espaçar mais os pontos, alargando assim a malha.

Assim se conclui que de acordo com este tipo de gráficos, as hipóteses “Surface Value” e “Imposed Flux” acabam por ter características de tal modo semelhantes que em nada alteram o desempenho dos três materiais no processo de absorção capilar, quer para o domínio da humidade relativa, que para o teor de humidade.

4.2.4.2. Humidade Relativa

Seguidamente irá comparar-se os gráficos da humidade relativa em função da espessura do elemento de cada uma das hipóteses estudadas, que resultam dos valores do programa Delphin, para diferentes tempos de simulação.

A Figura 42 mostra os gráficos respetivos à pedra calcária.

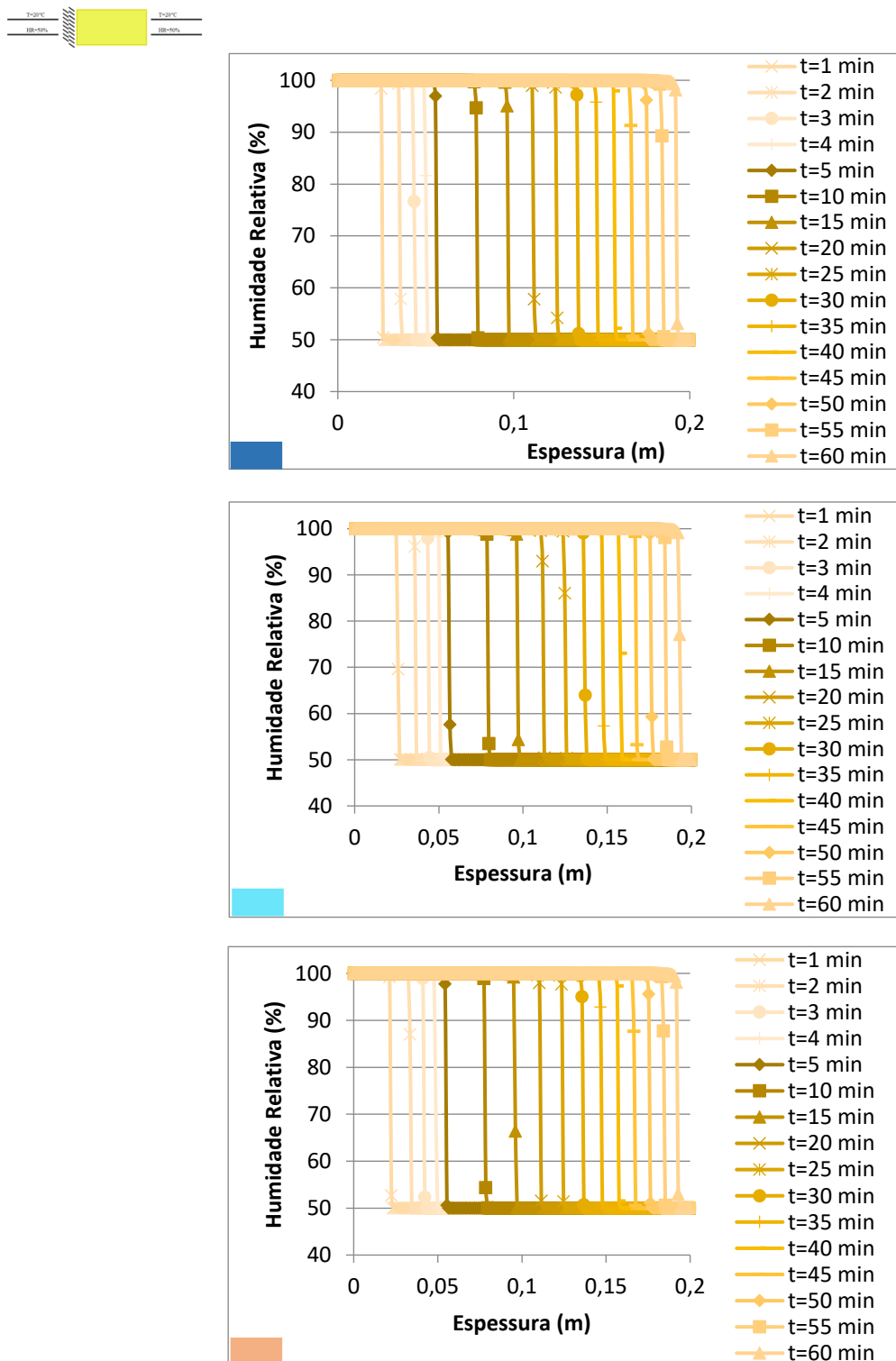
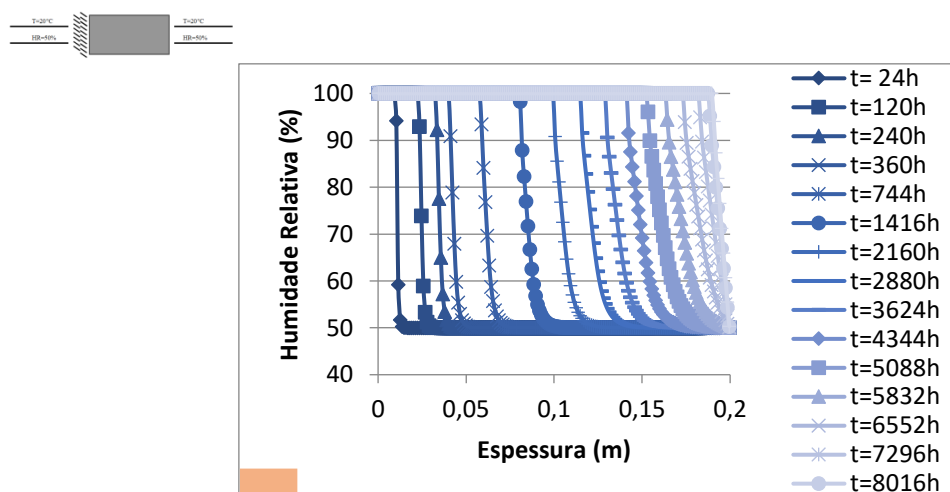


Figura 42 – Humidade Relativa para a pedra calcária

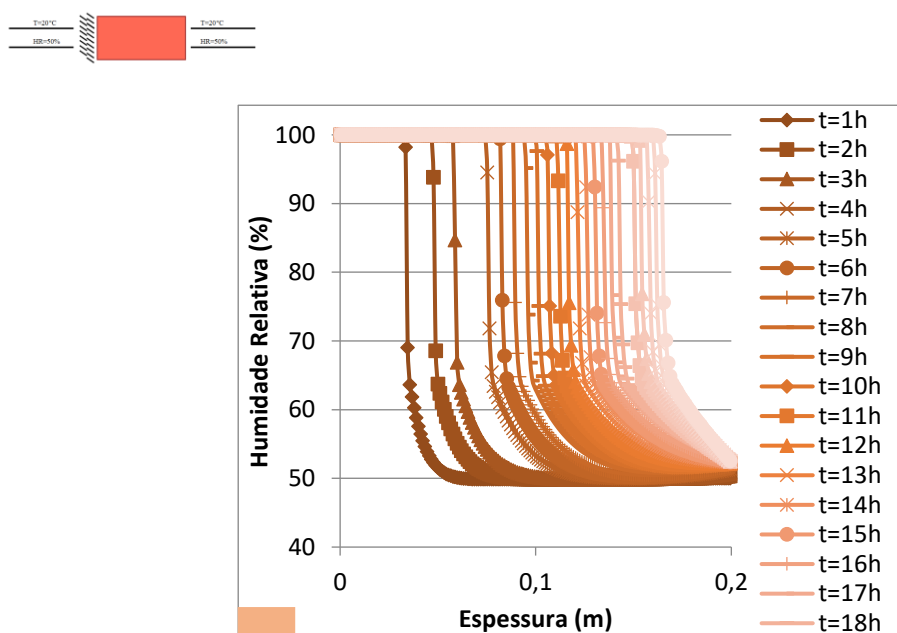
Comparando os gráficos da humidade relativa para a pedra calcária para as hipóteses “Surface Value”, “Imposed Flux = 1 kg/m²s” e “Imposed Flux = 0,01 kg/m²s”, constata-se que de facto, tal como acontecera com os gráficos “Profile”, nenhuma alteração é visível neste domínio. As curvas correspondentes aos diferentes minutos mantêm o seu declive de gráfico para gráfico, o espaçamento entre elas é progressivamente menor, mas constante, entre todos os gráficos.

A Figura 43 mostra o gráfico para a hipótese “Surface Value”, que diz respeito ao betão.



Quanto ao material betão apenas foi possível simular a absorção capilar para a hipótese “Surface Value”, uma vez que qualquer hipótese “Imposed Flux” não corre, como foi explicado anteriormente.

A Figura 44 mostra os gráficos respetivos ao barro vermelho.



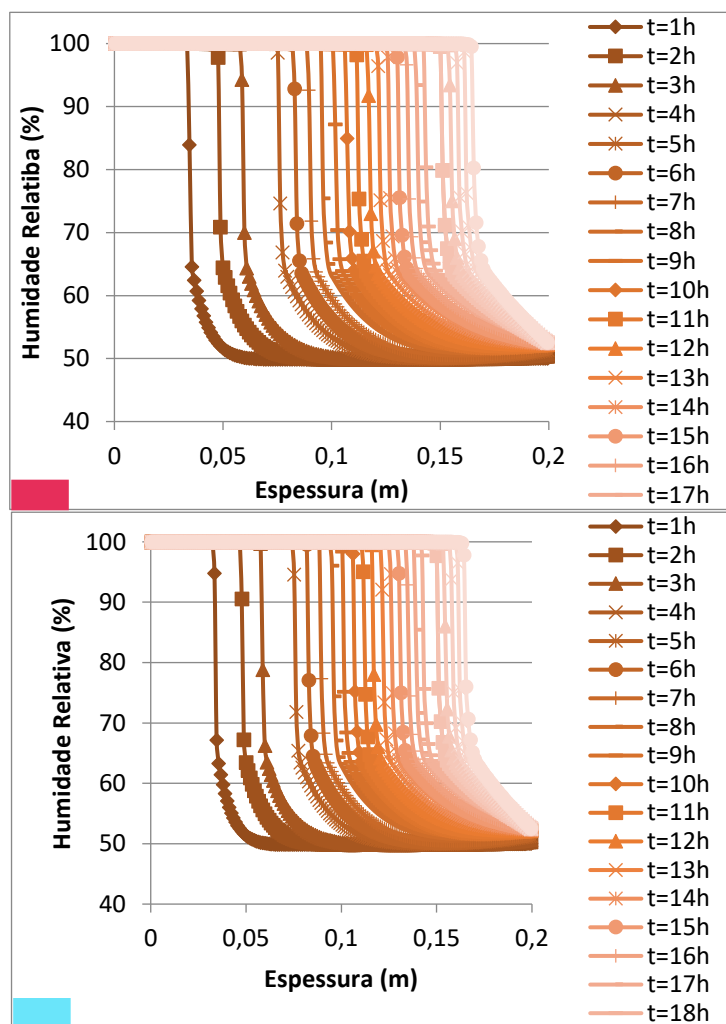


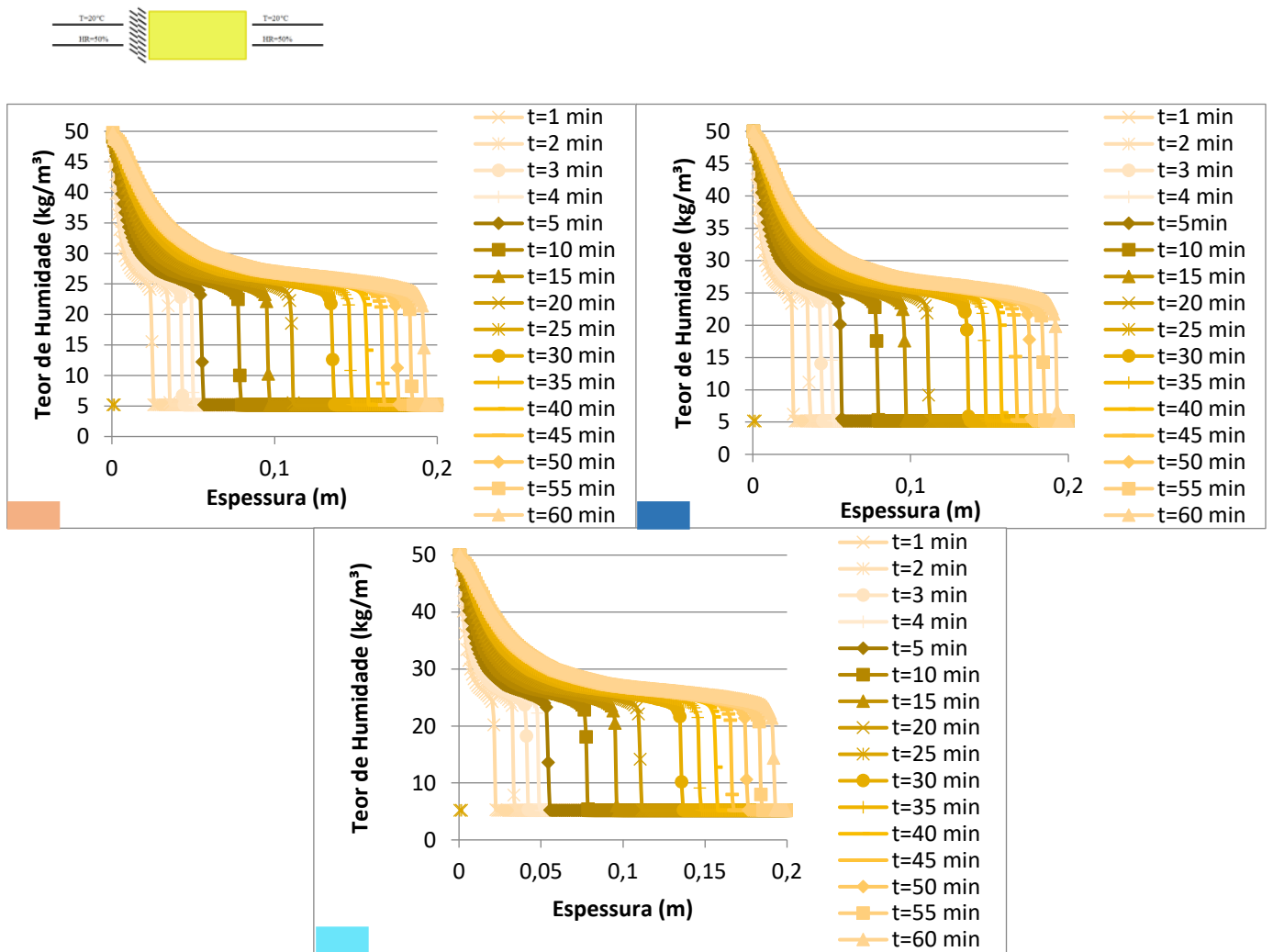
Figura 44 – Humidade Relativa para o barro vermelho

Quanto ao barro vermelho também não se visualizam alterações significantes para as hipóteses “Surface Value”, “Imposed Flux = 0,1 kg/m²s” e “Imposed Flux = 0,01 kg/m²s”.

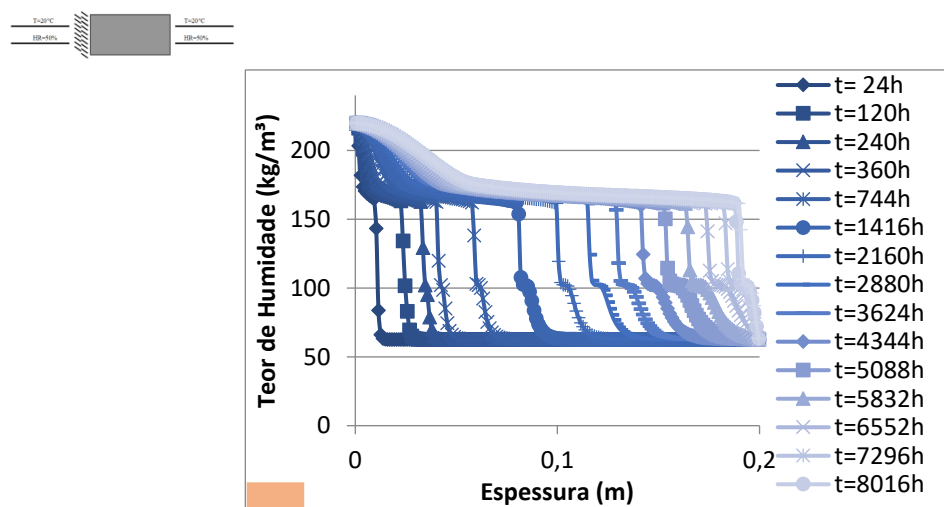
4.2.4.3. Teor de Humidade

Seguidamente irá comparar-se os gráficos de teor de humidade em função da espessura do elemento de cada uma das hipóteses estudadas, que resultam dos valores do programa Delphin, para diferentes tempos de simulação.

A Figura 45 mostra os gráficos respetivos à pedra calcária.



A Figura 46 mostra o gráfico para a hipótese “Surface Value” respetivo ao betão.



A Figura 47 mostra os gráficos respetivos ao barro vermelho.

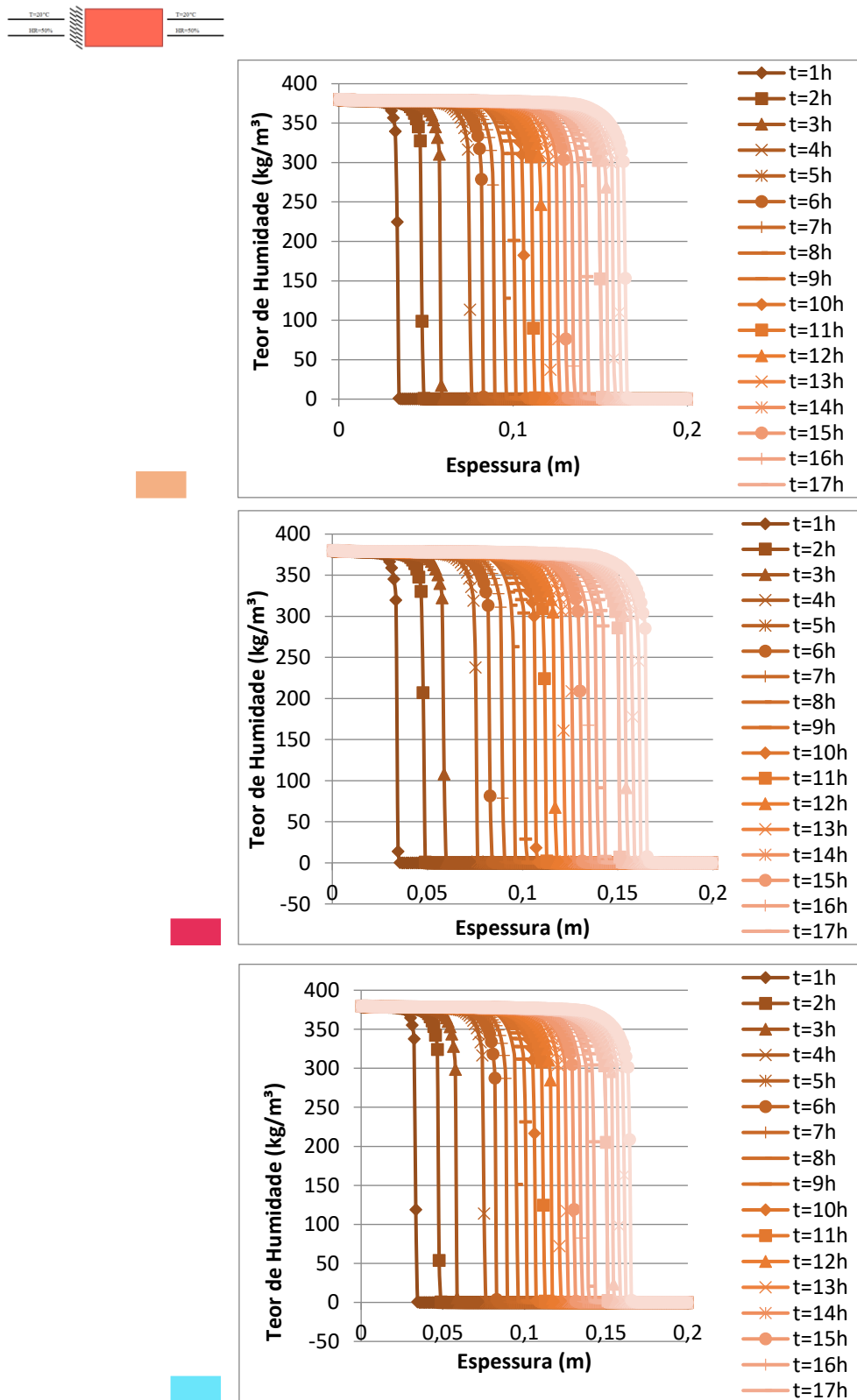


Figura 47 – Gráficos de Teor de Humidade para o barro vermelho

Na sequência da análise dos gráficos de teor de umidade para os materiais pedra calcária, concreto e barro vermelho, constata-se que acontece o mesmo que aconteceu no domínio da umidade relativa.

No Anexo 7 – “Image Charts”, “Profile Charts” e “Contour Charts” fornecidos pelo Delphin para os materiais em estudo – podem encontrar-se gráficos fornecidos pelo programa Delphin para os materiais em estudo: pedra calcária, concreto e barro vermelho. O objetivo é mostrar a progressão da frente úmida para diferentes durações de simulação através de “Image Charts”, “Profile Charts” e “Contour Charts”. Estes gráficos não contribuem para o desenvolvimento do presente estudo, no entanto demonstram as potencialidades do programa Delphin e a variedade de informação disponível para o utilizador.

O Anexo 8 – Dúvidas e respostas acerca do programa Delphin - apresenta as questões levantadas no fórum do programa Delphin.

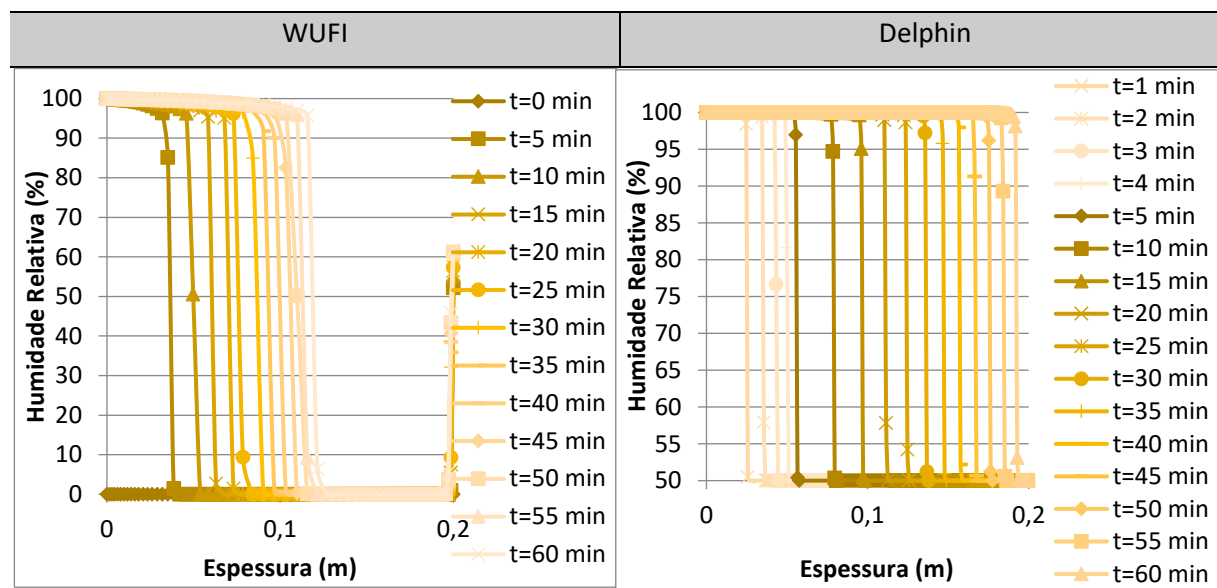
4.3. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

4.3.1. Comparação dos perfis de Umidade Relativa

A partir do que se constatou em 4.2.4. escolheu-se a hipótese “Surface Value” como forma de criar o ficheiro “Water Contact” e portanto condição fronteira para simular um ensaio de absorção capilar através do programa Delphin.

A Tabela 17 mostra os gráficos que dizem respeito aos programas WUFI e Delphin para a Umidade Relativa ao longo do tempo e da espessura do elemento para a pedra calcária.

Tabela 17 - Gráficos de perfis de humidade relativa da pedra calcária

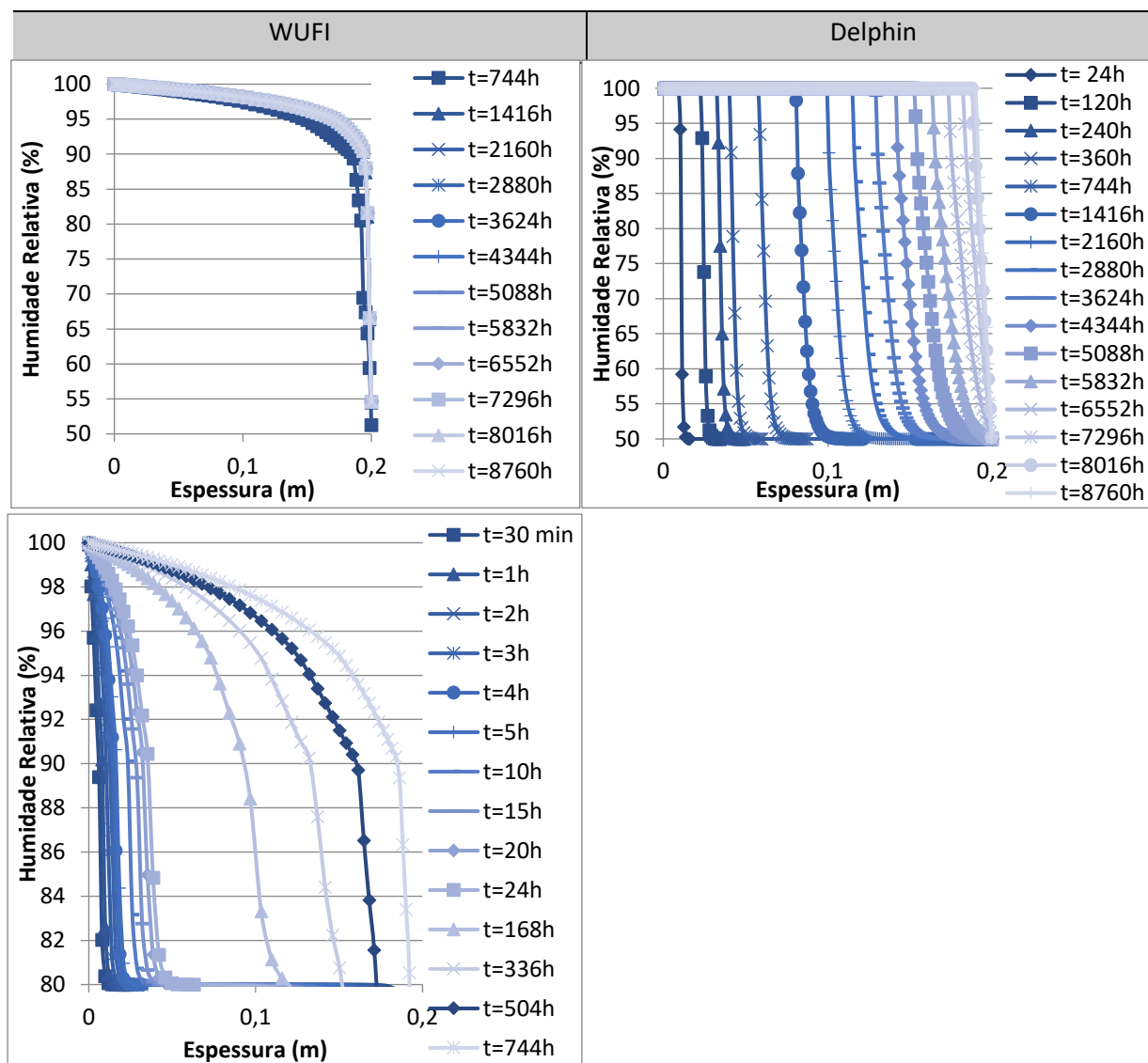


Comparando os gráficos da pedra calcária que traduzem os perfis de humidade relativa durante 1 hora e ao longo da espessura, notam-se diferenças acentuadas. De uma forma geral percebe-se que segundo o programa Delphin o elemento fica saturado em menos tempo do que no programa WUFI, uma vez que, quando o tempo é igual a 60 minutos, ou seja, 1 hora e portanto o tempo total de simulação, o perfil de humidade relativa atingiu a espessura de praticamente 0,2 m (toda a espessura do bloco). Já segundo o WUFI, ao fim do mesmo tempo de simulação, a água absorvida apenas atingiu aproximadamente 0,12 m de espessura. É de lembrar que as características e propriedades do material nos programas estudados são as mesmas, logo as diferenças encontradas devem-se às equações numéricas usadas pelos diferentes programas para simular um ensaio de absorção. Repare-se que no gráfico que traduz os perfis de humidade relativa do Delphin, as curvas representadas são espaçadas, mantendo a verticalidade em todos os perfis e respetivo declive. Nota-se uma progressiva aproximação das curvas no fim do tempo de simulação (a partir de $t = 40$ min). No gráfico gerado através dos valores fornecidos pelo WUFI a verticalidade dos perfis mantém-se semelhante, embora apresente mais diferenças que o Delphin. O espaçamento entre si é visivelmente menor que no Delphin, estando no fim do tempo de simulação mais próximas umas das outras.

Através da leitura dos gráficos, interpreta-se que, segundo o programa WUFI, o material estudado demoraria mais do que 1 hora a saturar visto nenhum perfil estar próximo dos 0,2 m de espessura e segundo o Delphin, 1 hora seria o tempo suficiente para saturação.

A Tabela 18 mostra os gráficos que dizem respeito aos programas WUFI e Delphin para a Umidade Relativa ao longo do tempo e da espessura do elemento para o betão.

Tabela 18 - Gráficos de perfis de umidade relativa do betão

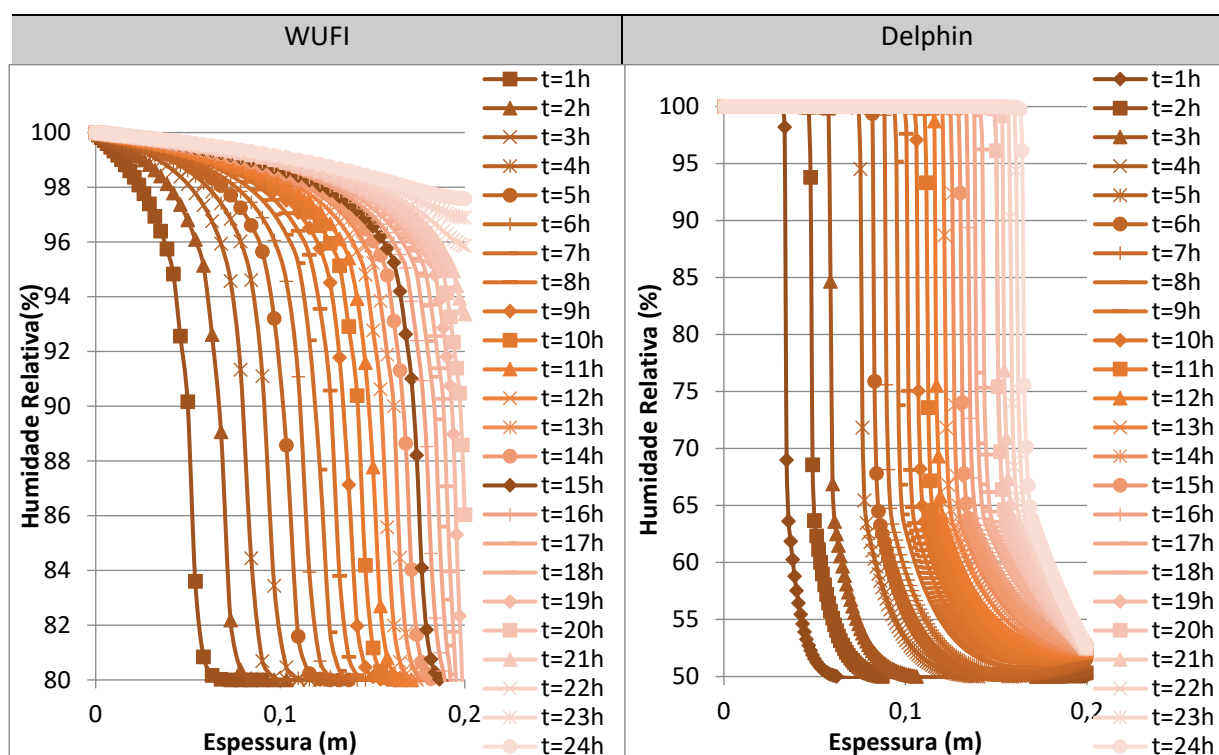


Comparando os gráficos do betão que traduzem os perfis de umidade relativa durante 1 ano e ao longo da espessura, notam-se grandes diferenças uma vez que estes são completamente distintos. Para este material, no programa WUFI, foi necessário criar dois gráficos: primeiramente fez-se um estudo para o período de simulação que já tinha sido estabelecido, 1 ano, havendo um perfil para cada mês (traduzido em horas), numa tentativa de se estudar a progressão da absorção de água ao longo do bloco de betão. No entanto percebe-se pelo primeiro gráfico apresentado que ao fim de 744 horas (1 mês), o material já se encontra praticamente saturado. Daí foi criado um novo gráfico no programa WUFI,

mais pormenorizado, no qual se encurtou os períodos de tempo estudados, passando a analisar-se o comportamento do betão face à absorção capilar para 30 minutos; 1 hora; 2 horas; 3 horas; 4 horas; 5 horas; 10 horas; 15 horas; 20 horas; 1 dia (24 horas); 1 semana (168 horas); 2 semanas (336 horas); 3 semanas (504 horas) e 1 mês (744 horas). Percebe-se que o material demonstra alterações pequenas ao longo das primeiras 24 horas, havendo uma absorção lenta. Os perfis adquirem um declive que vai aumentando com o passar do tempo e a informação que se pode retirar dos gráficos fornecidos pelo WUFI é que o bloco de betão atinge a saturação ao fim de 744 horas. No caso do gráfico proveniente do programa Delphin, existe novamente a verticalidade dos perfis, não havendo uma redistribuição e a grande diferença encontra-se no facto de o bloco de betão saturar ao fim de 8760 horas (1 ano).

A Tabela 19 mostra os gráficos que dizem respeito aos programas WUFI e Delphin para a Humidade Relativa ao longo do tempo e da espessura do elemento para o barro vermelho.

Tabela 19 - Gráficos de perfis de humidade relativa do barro vermelho



Comparando os gráficos do barro vermelho que traduzem os perfis de humidade relativa durante 1 dia e ao longo da espessura, as diferenças são bastante significativas. De um modo geral percebe-se que a forma é muito diferente. No gráfico que diz respeito ao WUFI, todas as curvas iniciam-se no mesmo ponto (quando a espessura é de 0 m e a humidade relativa é de 100%). A partir daí e consoante a hora estudada, as curvas vão avançando gradualmente e cada vez menos espaçadas. A humidade relativa atingida por todas é de 80%. Repara-se que o bloco de barro vermelho fica saturado em menos de 1 dia, ou seja, quanto $t=19h$ aproximadamente, atinge a espessura de 0,2 m. No gráfico que diz respeito ao Delphin os perfis iniciam-se quando a humidade relativa é de 100% e adquirem imediatamente um

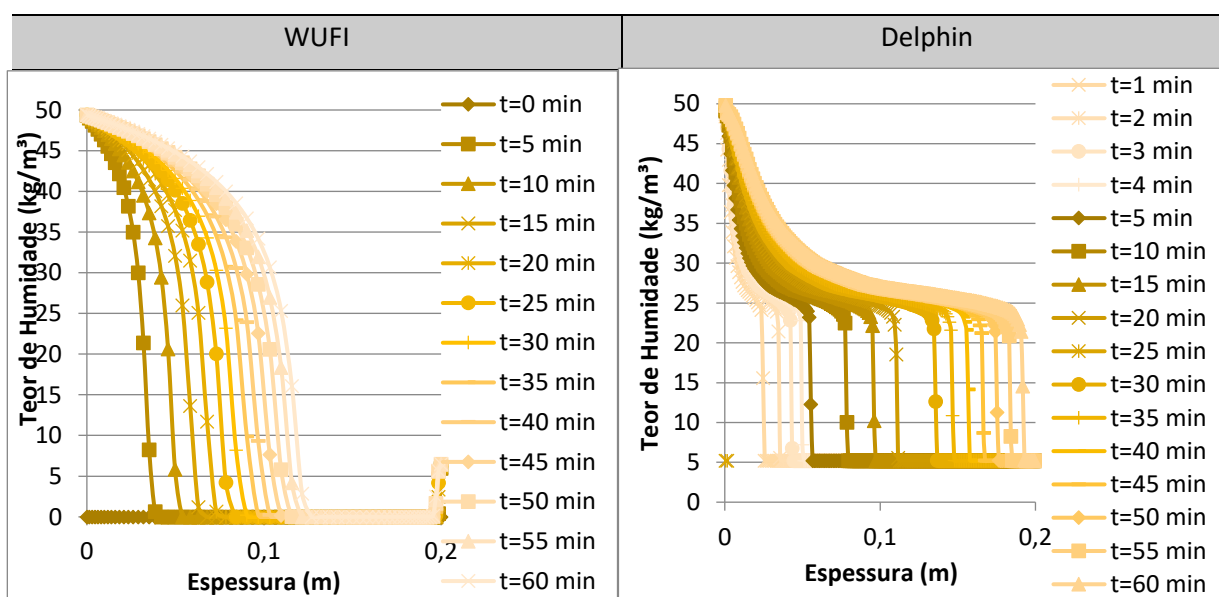
verticalidade para todos os valores de humidade relativa inferiores, acabando por convergir num mesmo ponto quando a espessura é efetivamente de 0,2 metros. A humidade relativa é de 50%, notando-se aqui uma grande diferença. Todos os perfis, desde o seu início, adquirem uma verticalidade e quando a humidade relativa é de aproximadamente 65% tornam-se mais curvas, acabando assim por convergir.

Através da leitura dos gráficos, interpreta-se que, segundo o programa WUFI o material estudado demoraria menos do que 1 dia (aproximadamente 19h) para saturar, enquanto que segundo o programa Delphin 1 dia seria o tempo suficiente para saturar.

4.3.2. Comparação dos perfis de Teor de Humidade

Tal como aconteceu para a humidade relativa, a Tabela 20 mostra os gráficos que dizem respeito aos programas WUFI e Delphin para o Teor de Humidade ao longo do tempo e da espessura do elemento para a pedra calcária.

Tabela 20 - Gráficos de perfis de teor de humidade da pedra calcária



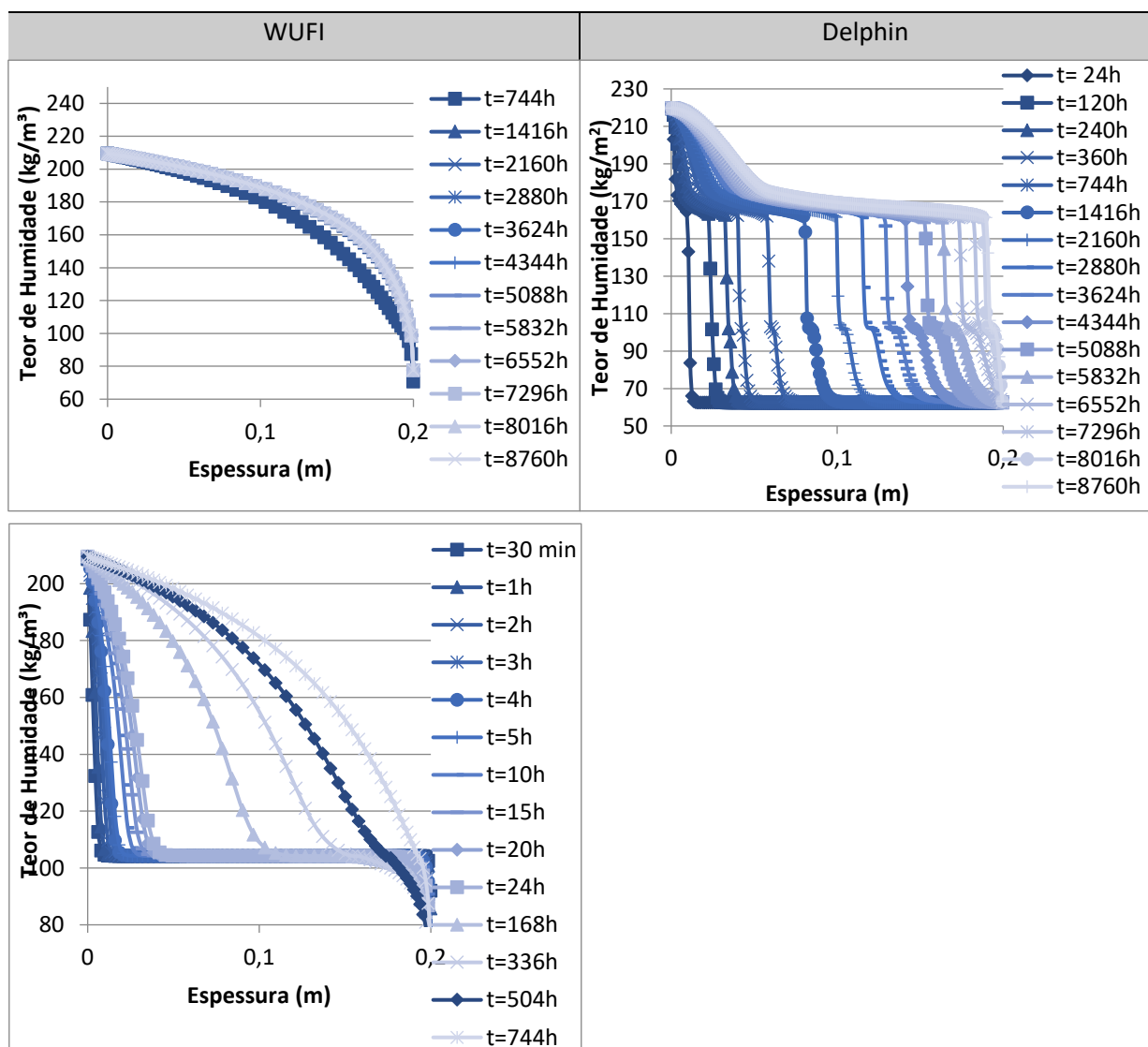
Comparando os gráficos da pedra calcária que traduzem os perfis de teor de humidade durante 1 hora e ao longo da espessura, as diferenças são notórias. Em ambos os gráficos as curvas iniciam-se no mesmo ponto (quando a espessura é 0 m e o teor de humidade de 50 kg/m³) mas terminam quando o teor de humidade é de 0 e 5 kg/m³, respetivamente no WUFI e Delphin. No gráfico que diz respeito ao Delphin existe uma parábola inicial que termina quando o teor de humidade é aproximadamente 20 kg/m³. Este fenómeno pode-se explicar através da sensibilidade deste programa que lê valores de humidade relativa muito próximos (como 99,7%; 99,8%; 99,9%), contabilizando assim o seu contributo, ao passo que no WUFI não existe esta precisão e todos estes valores muito próximos são tidos em conta como se fossem todos correspondentes a 100%. Esta diferença de avaliação de resultados tem impacto na descrição dos perfis de teor de humidade. A partir daí, os perfis adquirem

uma verticalidade maior do que no WUFI, sendo que o espaçamento entre eles vai diminuindo à medida que a espessura aumenta.

Através da leitura dos gráficos, interpreta-se que novamente segundo o programa WUFI, o material estudado demoraria mais do que 1 hora a saturar, visto nenhum perfil estar próximo dos 0,2 m de espessura e segundo o Delphin, 1 hora seria o tempo suficiente para saturação.

A Tabela 21 mostra os gráficos que dizem respeito aos programas WUFI e Delphin para o Teor de Umidade ao longo do tempo e da espessura do elemento para o betão.

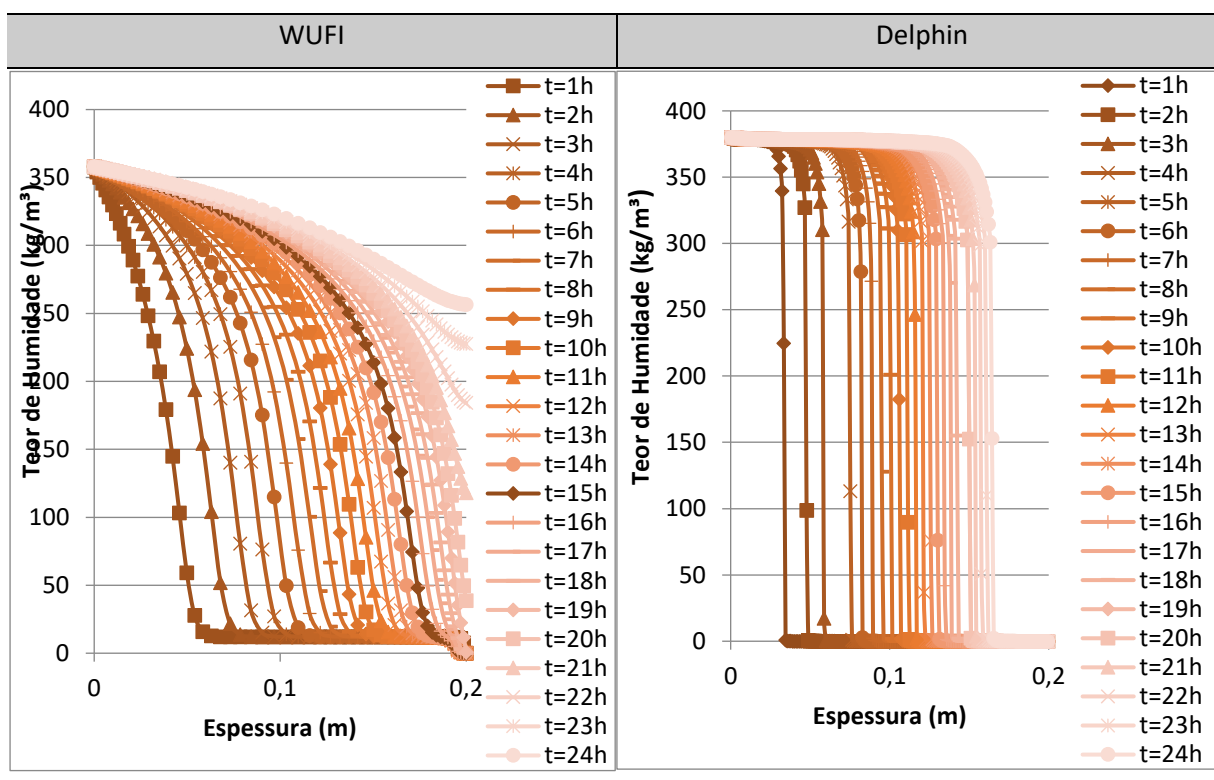
Tabela 21 - Gráficos de perfis de teor de umidade do betão



Comparando os gráficos do betão que traduzem os perfis de teor de humidade durante 1 ano e ao longo da espessura, tal como tinha acontecido para o domínio da humidade relativa. Também foi necessário alterar o período de tempo para se poder analisar uma situação de progressão da frente húmida. Tanto para o WUFI como para o Delphin, o máximo valor de teor de humidade foi de aproximadamente 220 kg/m². O gráfico do Delphin mantém a sua verticalidade.

A Tabela 22 mostra os gráficos que dizem respeito aos programas WUFI e Delphin para o Teor de Humidade ao longo do tempo e da espessura do elemento para o barro vermelho.

Tabela 22 - Gráficos de perfis de teor de humidade do barro vermelha



Comparando os gráficos do barro vermelho que traduzem os perfis de teor de humidade durante 1 dia e ao longo da espessura, as diferenças são notórias. No gráfico que diz respeito ao WUFI, as curvas iniciam-se no mesmo ponto (quando a espessura é 0 m e o teor de humidade é de 350 kg/m²) e terminam quando o teor de humidade é 0 kg/m². Descrevem curvas com um declive cada vez mais acentuado ao longo da espessura e quando o tempo é aproximadamente 19h, atinge a espessura total. O gráfico que diz respeito ao Delphin mostra curvas que partem todas elas de um valor superior a 350 kg/m², aproximadamente 370 kg/m². Mantém a verticalidade que já se tinha constatado para os outros materiais ao longo da espessura.

4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Ao longo deste capítulo foram apresentados resultados e simulações e após a análise dos mesmos, percebeu-se o contributo relevante para o estudo realizado. Nos programas WUFI e Delphin, foram seleccionados inputs que mais se aproximavam entre si para uma comparação mais precisa.

A Figura 48 apresenta um esquema da síntese do capítulo cujos passos levaram à comparação dos gráficos que traduzem os perfis de humidade relativa e teor de humidade para o WUFI e Delphin.

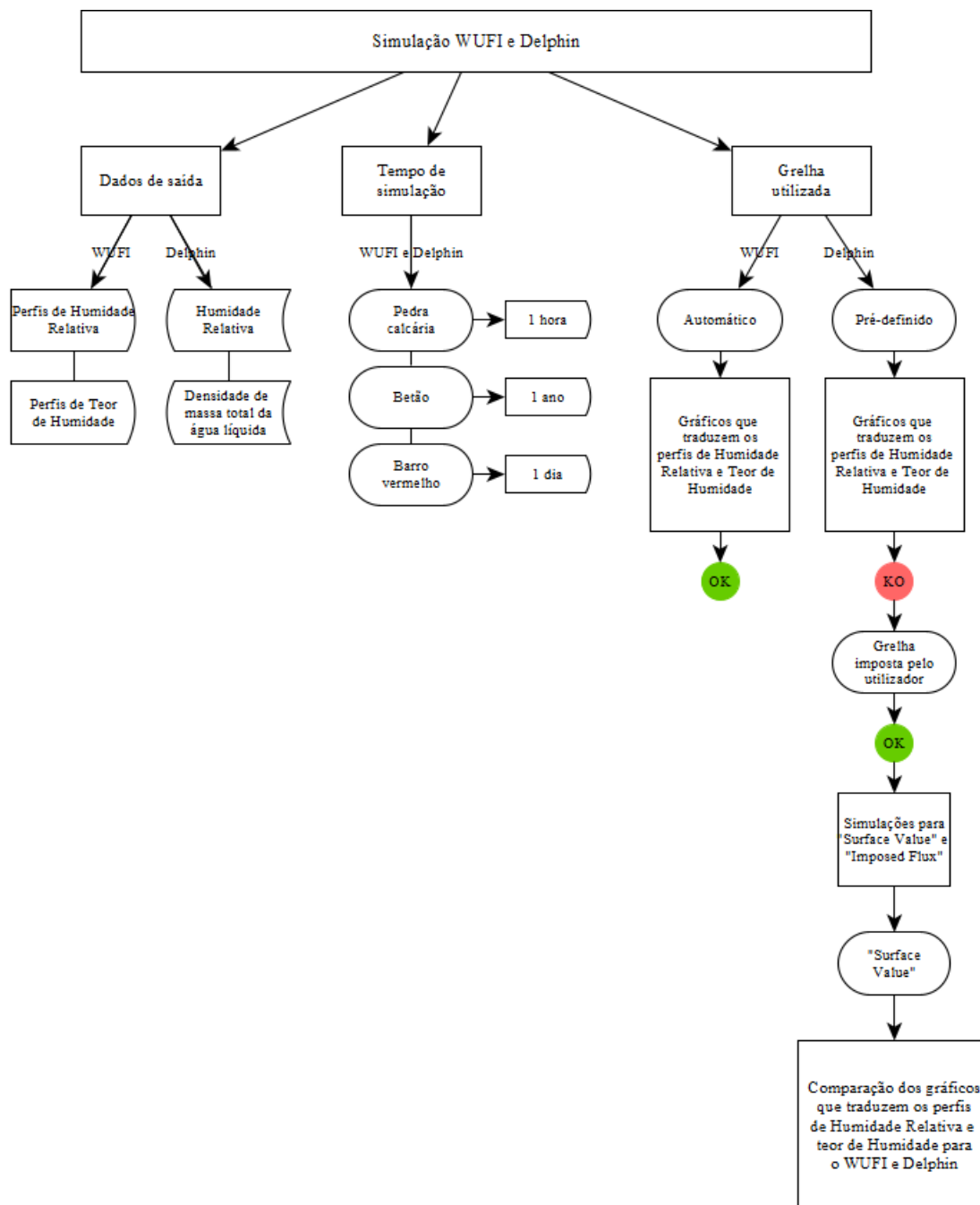


Figura 48 – Síntese dos passos que levaram à simulação dos gráficos que traduzem os perfis de humidade relativa e teor de humidade do WUFI e Delphin

5

CONCLUSÕES

5.1. SÍNTESE DAS CONCLUSÕES OBTIDAS

A pesquisa efetuada sobre as características dos programas WUFI e Delphin, a análise das diferentes potencialidades e comparação dos perfis de humidade relativa e de teor de humidade permitiu retirar as seguintes conclusões principais:

- Ambos os programas oferecem uma vasta lista de materiais disponíveis na base de dados, no entanto o WUFI dispõe de aproximadamente 210 materiais ao passo que o Delphin dispõe de cerca de 820. Esta informação é apresentada no Anexo 1 e no Anexo 4;
- Relativamente aos ficheiros de saída no WUFI existem 3 opções como os perfis de temperatura, de humidade relativa e de teor de humidade. No Delphin existem aproximadamente 90 opções de ficheiros de saída, tal como se mostra no Anexo 5, que correm consoante as equações numéricas seleccionadas;
- Na seleção dos materiais verificou-se haver dificuldade em criar um novo material no Delphin optando-se por adaptar características de um material deste programa e introduzi-las no WUFI (onde é possível inserir valores para as propriedades avaliadas de uma forma simples). É importante destacar que alguns materiais presentes na base de dados do Delphin não apresentam a curva higroscópica e exibem um valor do coeficiente de absorção (A_w) errado e não o utilizam para o cálculo;
- Relativamente à forma de simular um ficheiro de água nos dois programas, no WUFI o ficheiro já existia e portanto apenas se importou e no Delphin fizeram-se simulações para as duas opções distintas, “Surface Value” e “Imposed Flux”, atribuindo-se a esta última hipótese diferentes valores. Concluiu-se que os resultados não variam, acabando por se escolher “Surface Value” para comparação com os resultados do WUFI;
- Relativamente ao programa Delphin, é importante referir o impacto que a grelha utilizada teve nas simulações. Se a malha for muito espaçada os perfis de humidade relativa e de teor de humidade são imprecisos, havendo pontos em falta e que são importantes quando se está a avaliar o fenómeno. Caso a malha seja muito apertada algumas simulações não correm, surgindo erros, sendo o tempo de simulação exatamente o mesmo, tal como mostram as Figura 29, Figura 30 e Figura 31;
- Na comparação dos gráficos que contêm os perfis de humidade relativa e de teor de humidade para a pedra calcária, betão e barro vermelho para o período de simulação de 1 hora, 1 ano e 1

dia, respetivamente. Obtêm-se gráficos diferentes na verticalidade das curvas, nos valores apresentados e no tempo estimado de saturação para cada material;

- O WUFI não utiliza a curva de retenção de umidade mas sim outras propriedades tais como o coeficiente de transporte líquido para sucção, D_{ws} (m^2/s) e o coeficiente de transporte líquido para redistribuição, D_{ww} (m^2/s). Ainda assim e como se pode ver no Anexo 8, o Delphin não utiliza estas propriedades, sendo no entanto possível fazer uma aproximação através do conhecimento do coeficiente de absorção. A principal diferença dos programas encontra-se na função de armazenamento de umidade, a partir do momento em que a umidade relativa é de 95%, havendo para os dois programas, um crescimento, que sendo acentuado, difere. Este fenómeno influencia a forma e valores dos perfis de teor de umidade;
- O WUFI é um programa mais comercial, utilizado hoje em dia por várias empresas, uma vez que tem uma interface intuitiva e de simples utilização. O Delphin é um programa mais direcionado para a investigação, com muitas opções, particularidades dentro de cada opção que exige um domínio avançado, não sendo tão fácil de trabalhar como o WUFI, apresentando algumas falhas, como foram sendo enumeradas ao longo da presente dissertação.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao concluir esta dissertação, considera-se existir um amplo caminho de investigação a percorrer neste domínio. Seguidamente são apresentados os trabalhos futuros que seriam relevantes para o aprofundamento do conhecimento dos programas, mais em concreto o Delphin, visto ser o menos estudado e utilizado nos dias de hoje.

- Apesar de neste trabalho não se ter estudado o fenómeno da interface, simulando a transferência de umidade em elementos constituídos por duas ou mais camadas, o programa Delphin fornece esta opção. Desta forma, no futuro será interessante uma adequação do programa aos problemas reais, tendo em conta a complexidade crescente dos elementos construtivos das envolventes dos edifícios;
- Seria interessante, a partir dos resultados fornecidos pelo Delphin, a construção de gráficos no próprio programa, com diferentes resultados, havendo a sobreposição de perfis;
- Continuar o desenvolvimento de estudos que permitam aproximar os resultados obtidos no Delphin com os resultados obtidos experimentalmente. Investigar aprofundadamente a verticalidade dos perfis e a explicação que foi fornecida. Estudar a função de condutividade líquida e função de armazenamento de umidade que acabam por ser determinantes na forma dos perfis de umidade relativa;
- Analisar a possibilidade de se criarem novos materiais com as propriedades requeridas pelo utilizador e de que maneira este processo afeta o trabalho desenvolvido em termos de tempo e de eficiência;
- Aprofundar o estudo e análise dos quatro tipos de gráficos provenientes do Delphin, após a simulação ter sido efetuada: “Profile Charts”, “Image Charts”, “Contour Charts” e “Surface Charts”, tendo em conta que poderão fornecer informações sobre o material estudado e sobre a forma como se dá o avanço da frente húmida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sahimi, M., *Fractal and superdiffusive transport and hydrodynamic dispersion in heterogeneous porous media*. Transport in porous Media, 1993. **13**(1): p. 3-40.
2. Descamps, F., *Continuum and discrete modelling of isothermal water and air transfer in porous media*. Katholieke Universiteit Leuven, 1997.
3. Fatt, I., *The network model of porous media*. 1956.
4. Sahimi, M., *Nonlinear transport processes in disordered media*. AIChE Journal, 1993. **39**(3): p. 369-386.
5. Dullien, F.A., *Porous media: fluid transport and pore structure*. 2012: Academic press.
6. Hagentoft, C.-E. and T. Blomberg, *Heat losses to the ground from buildings*. Lund Gothenburg Group for Computational Building Physics, 2000: p. 1-2.
7. Rode, C. and K. Grau. *Calculation tool for whole building hygrothermal analysis*. in *Proc. of 6th Nordic Symposium on Building Physics, Trondheim (submitted)*. 2002.
8. Rousseau, J., *Envelope moisture performance through infiltration, exfiltration and diffusion-EMPTIED*. CMHM Technical Series, 1999: p. 99-123.
9. Physibel, *GLASTA Diffusion*. Diffusion – Condensation – Drying extended Glaser method., 2007. **Retrieved October 19, 2007**.
10. Salonvaara, M. and A. Karagiozis, *Moisture transport in building envelopes using an approximate factorization solution method*. 1994.
11. Van Schijndel, A. *Integrated heat, air and moisture modeling and simulation in hamlab*. in *IEA Annex 41 working meeting, Montreal, May*. 2005.
12. Sasic Kalagasidis, A., *HAM-Tools-an integrated simulation tool for heat, air and moisture transfer analyses in building physics*. 2004: Chalmers University of Technology.
13. Burch, D.M. and J. Chi, *MOIST: A PC program for predicting heat and moisture transfer in building envelopes: Release 3.0*. 1997: US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
14. Karagiozis, A. *Advanced hygrothermal modeling of building materials using MOISTURE-EXPERT 1.0*. in *35th International Particleboard Composite Materials Symposium, Pullman, Washington, April*. 2001.
15. Mendes, N., et al. *UMIDUS: a PC program for the prediction of heat and moisture transfer in porous building elements*. in *Building Simulation Conference-IBPSA*. 1999.
16. Porto, F.d.E.d.U.d., *Laboratório de Física das Construções - LFC*. 2010.
17. Künzle, H.M., *Simultaneous heat and moisture transport in building components*. One-and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB-Verlag Stuttgart, 1995.
18. Künzle, H.M. and K. Kiessl, *Calculation of heat and moisture transfer in exposed building components*. International Journal of heat and mass transfer, 1996. **40**(1): p. 159-167.
19. Zirkelbach, D., et al., *Wufi® Pro-Manual*. Fraunhofer Institute, 2007.
20. dos Santos Guimarães, A.S.M. and V.P. de Freitas, *Dimensionamento de Sistemas de Ventilação da Base das Paredes para Tratamento da Umidade Ascensional*. 2011.
21. de Freitas, V.P., *Umidade Ascensional*. Vol. 3. 2008: FEUP edições.
22. Nicolai, A., J. Zhang, and J. Grunewald. *Coupling strategies for combined simulation using multizone and building envelope models*. in *Proc. of Building Simulation*. 2007.

23. Nicolai, A., *Modeling and numerical simulation of salt transport and phase transitions in unsaturated porous building materials*. 2007.
24. Andreas Nicolai, J.G., *Delphin 5, version 5.2. User Manual and Program Reference*, 2003-2006.
25. Zhao, J., *A systematic approach for material characterization*. Institut für Bauklimatik, Technische Universität Dresden, 2014.
26. Fechner, I.H., *Numerical simulation of coupled heat and mass transfer in porous building materials*. (Basics of simulation software DELPHIN).

Anexo 1

MATERIAIS DISPONÍVEIS NA BASE DE DADOS DO WUFI

Argamassas e gesso

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Cap. Caloríf. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
Bayosan LeichttonMörtel LTM 81®		988	0,58	850	0,165	24
Cobertura final de resina (Estuque de acrílico, A-value: 0,1 kg/m²h0,5)		1100	0,12	850	0,7	1000
EdelPutz Leicht MF		1360	0,49	850	0,9	8,1
Extracção de sal (dessalinização) por compressão		1000	0,35	850	0,14	12
Gesso de cal (Estuque, A-value: 3,0 kg/m²h0,5)		1600	0,3	850	0,7	7
Gesso de cimento (Estuque, A-value: 0,51 kg/m²h0,5)		2000	0,3	850	1,2	25
Gesso de cimento e cal (Estuque, A-value: 2,0 kg/m²h0,5)		1900	0,24	850	0,8	19
Knauf Addi S 2,0 / Addi R 2,0 auf SM700		1900	0,231	850	0,7	216
Knauf Addi S 2,0 / Addi R 2,0 auf SM700 Pro		1900	0,231	850	0,7	216
Knauf Conni S 2,0 auf SM700		1800	0,269	850	0,7	215
Knauf Conni S 2,0 auf SM700 mit Quarzgrund		1800	0,269	850	0,7	215
Knauf Conni S 2,0 auf SM700 Pro		1800	0,269	850	0,7	215
Knauf SP 260 2,0 auf SM700 Pro		1400	0,472	850	0,54	33
POROTON-WDF Hinterfüllmörtel		180	0,95	1500	0,16	5
Reboco de cal (para extracção de sal, A-value: 10,2 kg/m²h0,5)		1600	0,33	850	0,7	12
Reboco de cimento de cal (Estuque, A-value: 1,0 kg/m²h0,5)		1900	0,24	850	0,8	19
Reboco exterior A - Camada 1 de 4 (exterior)		1310	0,36	850	0,87	8
Reboco exterior A - Camada 2 de 4		1310	0,36	850	0,87	8
Reboco exterior A - Camada 3 de 4		1219	0,3	850	0,25	10,8
Reboco exterior A - Camada 4 de 4 (interior)		1219	0,3	850	0,25	10,8
Reboco interior (gesso)		850	0,65	850	0,2	8,3
Reboco mineral (Estuque, A-value: 0,1 kg/m²h0,5)		1900	0,24	850	0,8	25
Remmers iQ-Fix		1313	0,5	863	0,497	18,7
Remmers iQ-Top		465,5	0,81	1173	0,106	8,4
SAKRET Kalkputz multi KPM		1530	0,4	850	0,89	16
SAKRET Klebe- und Armierungsmörtel leicht KAM-L		1095	0,509	850	0,43	16
StoDecosil		1640	0,4	850	0,87	50
StoLevell In Mineral		1330	0,5	850	0,87	23
Ytong Multipor Adhesive		833	0,686	850	0,155	15,1

Betão e pavimentos

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Cap. Calif. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
Betonilha de CaSO ₄ , camada inferior		1910	0.237	850	1.6	18
Betonilha de CaSO ₄ , camada superior		1960	0.23	850	1.6	18
Cimento, C12/15		2200	0.18	850	1.6	92
Cimento, C35/45		2220	0.18	850	1.6	248
Cimento, w/c=0.5		2300	0.18	850	1.6	180
Placa de cimento, camada inferior		1990	0.175	850	1.6	99
Placa de cimento, camada intermédia		1970	0.177	850	1.6	69
Placa de cimento, camada superior		1890	0.2	850	1.6	58

Coberturas de jardim

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Cap. Calif. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
generic gravel		1400	0.3	1000	0.7	1
generisches Substrat		1500	0.5	1500	0.9	5
Optigreen Economy Roof 1 (protection mat) 3-3		83	0.95	840	0.035	1
Optigreen Economy Roof 1 (sedum planting) 1-3		1500	0.5	1000	0.2	5
Optigreen Economy Roof 1 (substrate type M incl. FKD) 2-3		900	0.65	1000	0.4	3.3
Optigreen Economy Roof 2 (protection mat) 3-3		83	0.95	840	0.035	1
Optigreen Economy Roof 2 (sedum planting) 1-3		1500	0.5	1000	0.2	5
Optigreen Economy Roof 2 (substrate type M) 2-3		900	0.65	1000	0.4	3.3
Optigreen Light-weight Roof 1 (protection mat) 3-3		83	0.95	840	0.035	1
Optigreen Light-weight Roof 1 (sedum planting) 1-3		1500	0.5	1000	0.2	5
Optigreen Light-weight Roof 1 (substrate type L incl. FKD) 2-3		405	0.82	1000	0.4	3
Optigreen Nature Roof 1 (drainage board) 4-5		60	0.95	850	0.3	1.3
Optigreen Nature Roof 1 (filter mat) 3-5		83	0.95	840	0.035	1
Optigreen Nature Roof 1 (grasses) 1-5		1500	0.5	1000	0.2	5
Optigreen Nature Roof 1 (protection mat) 5-5		83	0.95	840	0.035	1
Optigreen Nature Roof 1 (substrate type E) 2-5		912	0.65	1000	0.4	3.4
Optigreen Pitched Roof 5-45° (protection mat) 3-3		83	0.95	840	0.035	1
Optigreen Pitched Roof 5-45° (sedum planting) 1-3		1500	0.5	1000	0.2	5
Optigreen Pitched Roof 5-45° (substrate type E) 2-3		912	0.65	1000	0.4	3.4

Materiais de isolamento

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m²/m³]	Cap. Caloríf. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
AGEPAN THD		226	0.79	2100	0.047	3.4
AGEPAN UDP N+F		289	0.75	2100	0.051	4.4
Aspen Aerogels - Spaceloft Grey		146	0.92	1000	0.014	4.7
Cortiça (Conduct. ao calor.: 0.04 W/mK)		150	0.9	1880	0.04	10
Dennert mineral foam insulating board		98	0.9	1000	0.04	2
DP Paineis isolante de linho		38	0.95	1660	0.036	1.5
EPS (Conduct. ao calor.: 0.04 W/mK - Densidade: 15 kg/m³)		15	0.95	1500	0.04	30
EPS (Conduct. ao calor.: 0.04 W/mK - Densidade: 30 kg/m³)		30	0.95	1500	0.04	50
Fibra de Celulose (Conduct. ao calor.: 0.04 W/mK)		70	0.95	2500	0.04	1.5
Flumroc-Dämmplatte 1		42	0.985	830	0.035	1
Flumroc-Dämmplatte 3		63	0.977	830	0.033	1
GUTEX Thermoroom		131	0.91	2100	0.038	2
Hanf-Kalk-Dämmung		440	0.73	1560	0.115	4.85
HOIZ® S 45 Aparas de madeira		65	0.95	2100	0.045	2.5
HOMATHERM EnergiePlus comfort		135	0.9	2100	0.038	2.1
HOMATHERM EnergiePlus massive		135	0.9	2100	0.038	2.1
HOMATHERM ID-Q11 standard		135	0.9	2100	0.038	2.1
HOMATHERM USD-Q11 protect		135	0.9	2100	0.038	2.1
ISOCELL Zellulosedämmstoff		50	0.95	2110	0.037	1.8
isofloc L		50	0.95	2150	0.037	1.2
ISOVER GW Integra ZKF - 032		32.5	0.95	840	0.032	1
ISOVER GW Integra ZKF - 035		21	0.95	840	0.035	1
ISOVER GW Integra ZSF - 032		30	0.95	840	0.032	1
ISOVER INTEGRA AP Supra - 035		115	0.95	840	0.035	1
ISOVER ULTIMATE Klemmfiz - 035		25.2	0.95	1000	0.035	1
ISOVER ULTIMATE Kontur FSP - 032		40	0.95	1030	0.031	1
ISOVER VACUPAD Kontur VVP 007		171	0.95	1050	0.009	1000000
KlimattecFlockFibra de Celulose		50	0.95	2000	0.034	1.8
Lã mineral (Conduct. ao calor.: 0.04 W/mK)		60	0.95	850	0.04	1.3
Misapor 10/50, load-bearing insulation under foundation slab		169	0.35	850	0.12	4.4
Misapor 10/50, load-bearing insulation, sheltered or int. app		169	0.35	850	0.089	4.4
Misapor 10/75, load-bearing insulation under foundation slab		140	0.35	850	0.11	4.4
Misapor 10/75, load-bearing insulation, sheltered or int. app		140	0.35	850	0.077	4.4
Painéis de isolamento mineral em pedra vermelha pura		112	0.94	850	0.043	5.2
Painéis de isolamento mineral Gefix Ambio		112	0.94	850	0.043	5.2
Painéis isolantes de mineral		115	0.95	850	0.043	3.4

Pavaflex		53	0.96	2100	0.039	1.35
Pavatex Diffutherm; Painéis de fibra de madeira		168	0.883	2100	0.044	3.3
Pavatex Pavadentro		166	0.91	2100	0.043	10
PF (Conduct ao calor.: 0,04 W/mK)		43	0.95	1500	0.04	30
POROTON-WDF Perlitefüllung		146,7	0.9446	767	0.038	3.38
PU (Conduct ao calor.: 0,025 W/mK)		40	0.95	1500	0.025	50
PU (Conduct ao calor.: 0,03 W/mK)		40	0.95	1500	0.03	50
Remmers iQ-Therm		44,5	0.98	1400	0.031	69
ROXUL FacadeRock		135	0.953	1030	0.038	1.1
Sto Perlite Interior Insulation Board 045		100	0.96	850	0.042	8
Tábua isolamento com fibras de madeira		155	0.981	2000	0.042	3
thermalan iso / swisswool iso / tirolwool iso		26,2	0.978	1650	0.036	1.8
UF (Conduct ao calor.: 0,04 W/mK)		13	0.95	1500	0.04	2
Vidro celular		120	0.25	850	0.045	10000
VIP generic (0,007 W/m²K)		200	0.001	800	0.007	1500000
XPS Placa de poliestireno extrudido(Conduct ao calor.: 0,03 W/mK)		40	0.95	1500	0.03	100
XPS Superfície de espuma (Conduct ao calor.: 0,03 W/mK)		40	0.95	1500	0.03	450
Ytong Multipor		115	0.96	850	0.04	4.1

Materiais de madeira; Tábuas

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Cap. Caloríf. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
Abeto, longitudinal		455	0.73	1500	0.23	4.3
Abeto, radial		455	0.73	1500	0.09	130
AGEPAN OSB/3 PUR, 12mm		616	0.52	2100	0.13	144
AGEPAN OSB/4 PUR, 12 mm		679	0.41	2100	0.13	520
Carvalho, longitudinal		685	0.72	1500	0.3	8
Carvalho, radial		685	0.72	1500	0.13	140
esb-Platte elka strong board P5		621	0.57	2000	0.102	24
Eternit Bluclad		1132	0.52	850	0.3	158,31
Eternit Cedral glatt		1220	0.487	850	0.21	153
Eternit Cedral Struktur		1347	0.487	850	0.21	219
Eternit Duripanel A2 geschliffen		1284	0.345	1500	0.4	167
Eternit Duripanel A2 ungeschliffen		1326	0.345	1500	0.4	145

Eternit Duripanel B1 geschliffen		1188	0.405	1500	0.35	74
Eternit Duripanel B1 ungeschliffen		1237	0.405	1500	0.35	74
FERMACELL Painel de gesso e fibras		1153	0.52	1200	0.32	16
Gypsum Board; PCM		800	0.65	1200	0.2	8
KLH Massivholz		423	0.7	1500	0.12	300
Knauf Diamant 12,5 mm		1009	0.743	850	0.3	11.2
Knauf Diamant 18,0 mm		1023	0.753	850	0.3	7.6
Madeiras duras		650	0.47	1500	0.13	200
Madeiras macias-Coníferas		400	0.73	1500	0.09	200
MDF - Painel de fibra de madeira, densidade média #1		528	0.8	2000	0.1	12
MDF - Painel de fibra de madeira, densidade média #2		508	0.667	1700	0.12	15
Medité Vent		518	0.88	1700	0.0905	9.65
Painel contraplacado BFU 100		427	0.66	2500	0.12	188
Painel contraplacado de faia BFU-BU		708	0.53	2500	0.12	242
Painel de contraplacado		500	0.5	1500	0.1	700
Painel de gesso cartonado		850	0.65	850	0.2	8.3
Painel de lascas		600	0.5	1500	0.11	70
Painel de partículas (painel de microfibras)		664	0.59	2500	0.12	92
Painel de partículas V100		620	0.74	2500	0.12	44
Painel isolante de fibra de madeira #2		165	0.999	2000	0.04	2.9
Painel isolante de fibra de madeira #3		159	0.89	1700	0.04	2.6
Painel laminado		462	0.627	2500	0.13	156
Painel laminado de 3 camadas		454	0.56	2500	0.12	203
Painel OSB - Painel de fibras orientadas (densidade 553 kg		553	0.61	1700	0.12	134
Painel OSB - Painel de fibras orientadas (densidade 595 kg		595	0.9	1500	0.13	165
Painel OSB - Painel de fibras orientadas (densidade 615 kg		615	0.9	1500	0.13	175
Pavatex Diffutherm; Painéis de fibra de madeira		168	0.883	2100	0.044	3.3
Placa de fibra de madeira e lã		450	0.55	1500	0.08	9
Placa de fibra de madeira, MDF		300	0.8	1500	0.05	12.5
Placa de OSB (Densidade: 630 kg/m³)		630	0.6	1500	0.13	650
Stora Enso CLT		410	0.74	1300	0.098	500

Membranas

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m²/m²]	Cap. Calorif. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
AIRSTOP DIVA Forte		130	0.001	2300	2.3	31748
Barreira de Protecção contra o vento (sd=0,1m)		130	0.001	2300	2.3	100
Barreira de Protecção contra o vento (sd=0,2m)		130	0.001	2300	2.3	200
Barreira de Protecção contra o vento (sd=0,5m)		130	0.001	2300	2.3	500
INTELLO		115	0.086	2500	2.4	26000
ISOVER Vario KM Duplex		83	0.111	1800	1	4000
ISOVER Vario XtraSafe		130	0.001	2300	2.3	27000
LDS FlexPlus		62	0.001	2300	2.3	20939
Membrana PA		65	0.001	2300	2.9	4380
Retardador de vapor (sd=100m)		130	0.001	2300	2.3	100000
Retardador de vapor (sd=10m)		130	0.001	2300	2.3	10000
Retardador de vapor (sd=1500m)		130	0.001	2300	2.3	1500000
Retardador de vapor (sd=20m)		130	0.001	2300	2.3	20000
Retardador de vapor (sd=2m)		130	0.001	2300	2.3	2000
Retardador de vapor (sd=50m)		130	0.001	2300	2.3	50000
Retardador de vapor (sd=5m)		130	0.001	2300	2.3	5000
TECTOFIN RG (1.5 mm)		1900	0.001	1000	0.5	30000
TECTOFIN RG (1.8 mm)		2300	0.001	1000	0.5	36000
TECTOFIN RG (2.0 mm)		2500	0.001	1000	0.5	40000
TECTOFIN RV plus		2000	0.001	1000	0.5	30000
Telhado de membranas em PVC		1000	0.0002	1500	0.16	15000
WOLFIN M (1.5 mm)		1900	0.001	1000	0.5	15000
WOLFIN M (2.0 mm)		2500	0.001	1000	0.5	20000
WÜTOP DB 2		130	0.001	2300	2.3	6020
WÜTOP Thermo Fassade/Fassade SK		219	0.001	2300	2.3	80
WÜTOP Thermo L-SK		210	0.001	2300	2.3	99
WÜTOP Thermo ND SK		210	0.001	2300	2.3	125
WÜTOP Thermo Vario SD		130	0.001	2300	2.3	31748
WÜTOP TRIO/TRIO 2SK		141	0.001	2300	2.3	100

Pedra natural

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Cap. Calorif. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
Baumberger Pedra (natural) arenisca		1980	0.23	850	1.7	20
Coatter Tijolo de pedra arenisca		2050	0.22	850	1.8	15
Krensheimer cobertura de calça (calcário)		2440	0.13	850	2.25	140
Obernkirchner Tijolo de pedra arenisca		2150	0.14	850	2.3	32
Rüthener Pedra arenisca		1950	0.24	850	1.7	17
Sander Pedra arenisca		2120	0.17	850	1.6	33
Ummendorfer Pedra arenisca		2080	0.227	850	1.7	14
Worzeldorfer Pedra arenisca		2263	0.13	850	1.8	26
Zeitzer Pedra arenisca		2300	0.05	850	2.3	70

Tijolos de alvenaria

Nome		Dens. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Cap. Calorif. [J/kgK]	Cond. Térm. [W/mK]	Fac.Res.Dif. [-]
Bloco de cimento, conjunto pedra-pomos		664	0.67	850	0.14	4
Cimento com poros (Densidade: 400 kg/m³) - Fabrico antigo		400	0.81	850	0.1	7
Cimento com poros (Densidade: 500 kg/m³)		500	0.77	850	0.12	8
Cimento com poros (Densidade: 600 kg/m³) - Fabrico antigo		600	0.72	850	0.14	8.3
Cimento Poroso (Densidade: 600 kg/m³)		600	0.72	850	0.14	8
Cimento Poroso (Densidade: 400 kg/m³)		400	0.81	850	0.1	7.9
POROTON-WDF Ziegelscherben		1394.6	0.4737	1019	0.22	14
Tijolo de alto isolamento - Argila (densidade: 600 kg/m³)		600	0.77	850	0.12	16
Tijolo de alto isolamento - Argila (densidade: 650 kg/m³)		650	0.74	850	0.13	15
Tijolo de argila expandida ligeira		700	0.67	850	0.13	7
Tijolo de calcário (Densidade: 1900 kg/m³)		1900	0.29	850	1	28
Tijolo sólido, Alvenaria		1900	0.24	850	0.6	10
Tijolo sólido, envelhecido		1800	0.31	850	0.6	15
Tijolo sólido, extrudido		1650	0.41	850	0.6	9.5
Tijolo sólido, feito à mão		1725	0.38	850	0.6	17
Tijolos cerâmicos (usados em adegas)		800	0.6	850	0.18	15

Anexo 2

EXEMPLO DE DADOS DE SAÍDA DO WUFI

Gráfico de Teor de Umidade Total

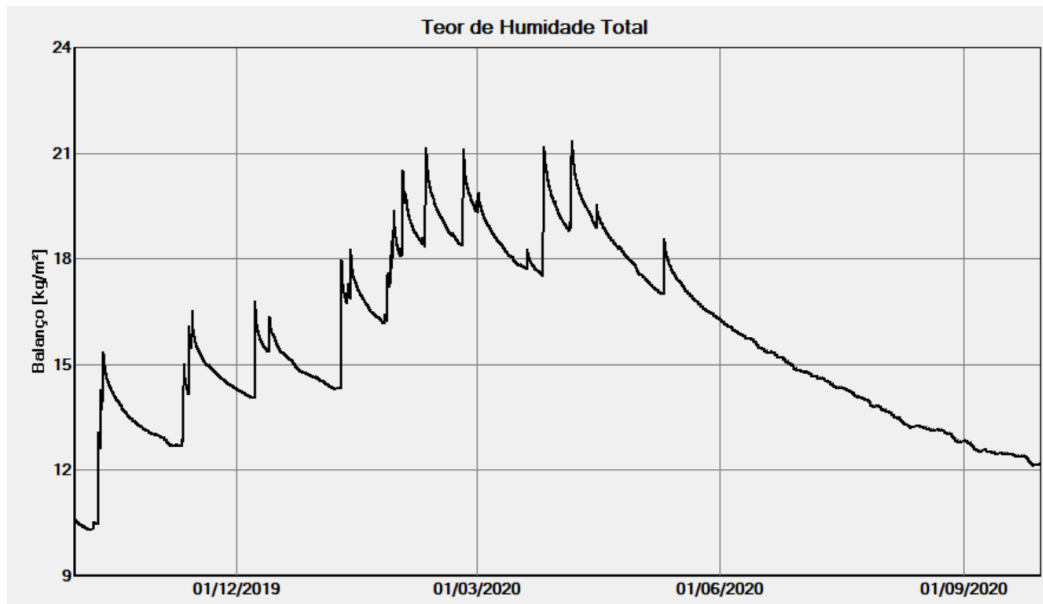
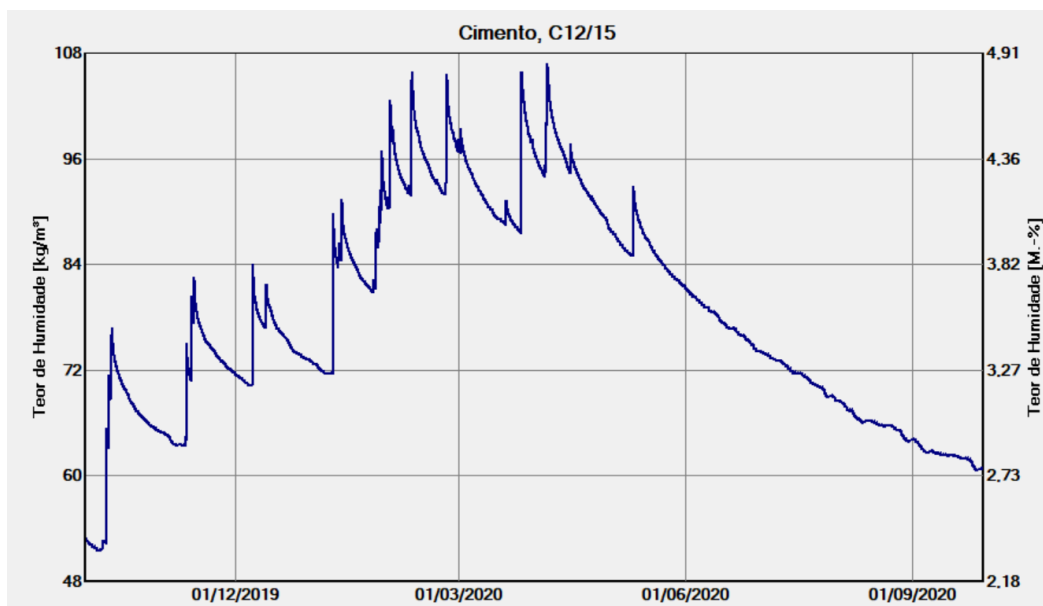
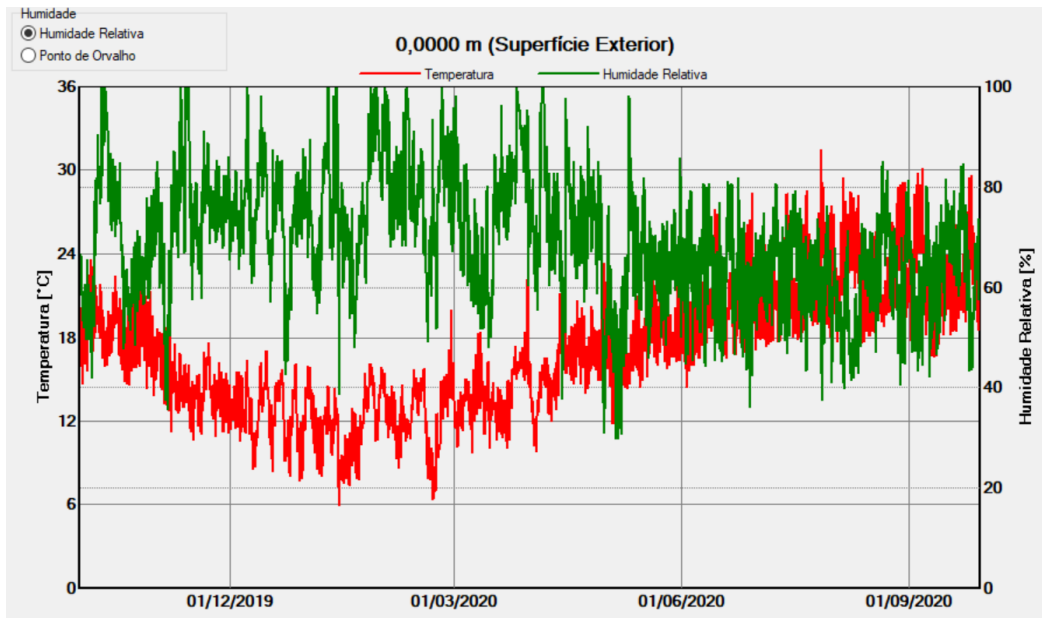


Gráfico do Teor de Umidade na camada

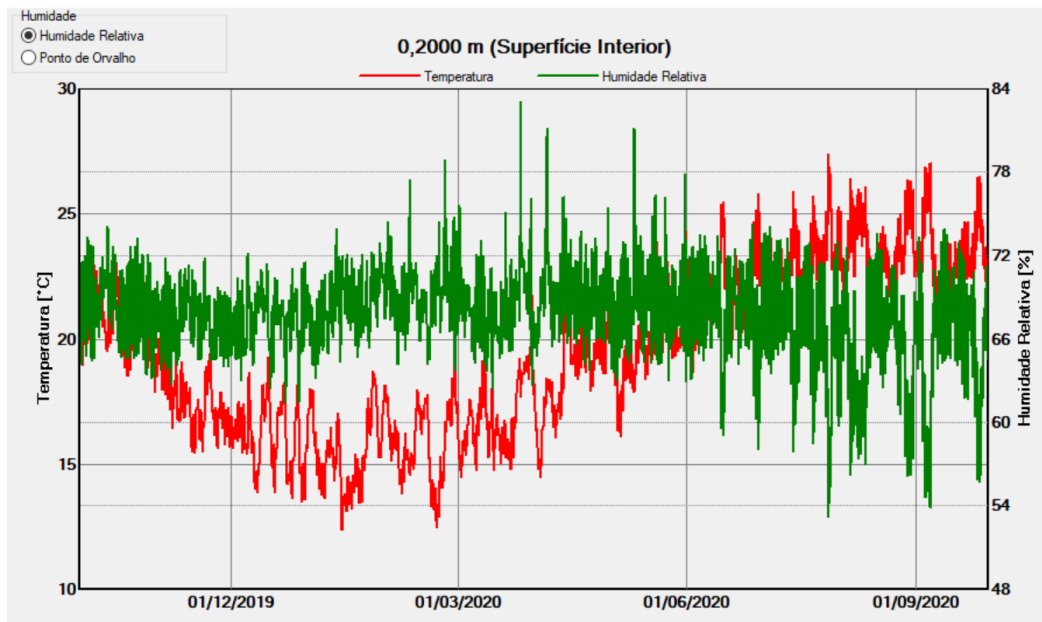


Temperatura/Humidade na posição de monitorização

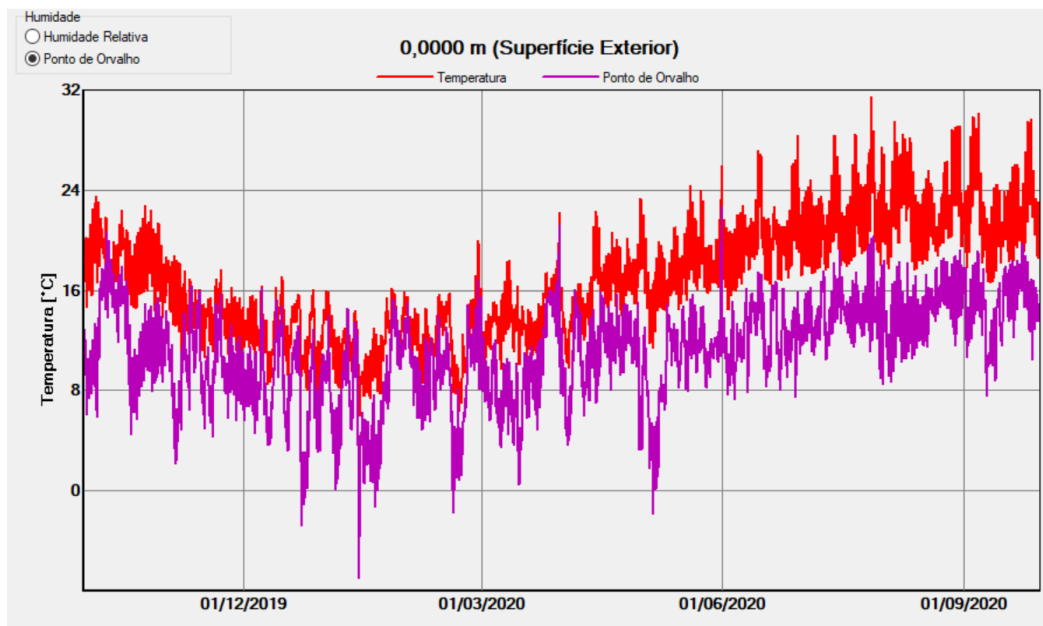
- Humidade Relativa
 - Superfície Exterior



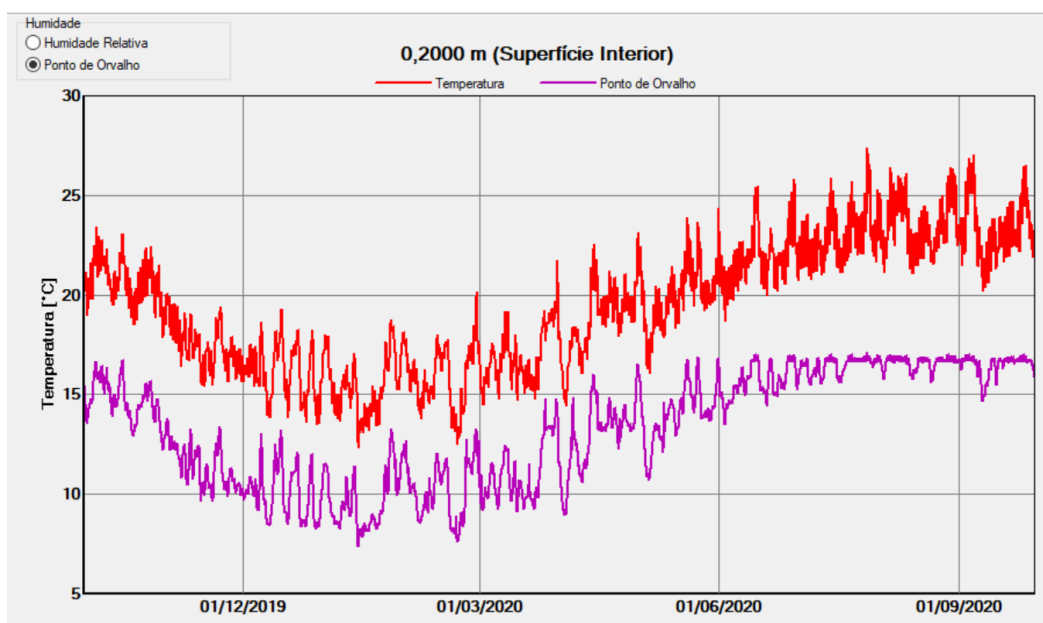
- Superfície Interior



- Ponto de Orvalho
 - Superfície Exterior

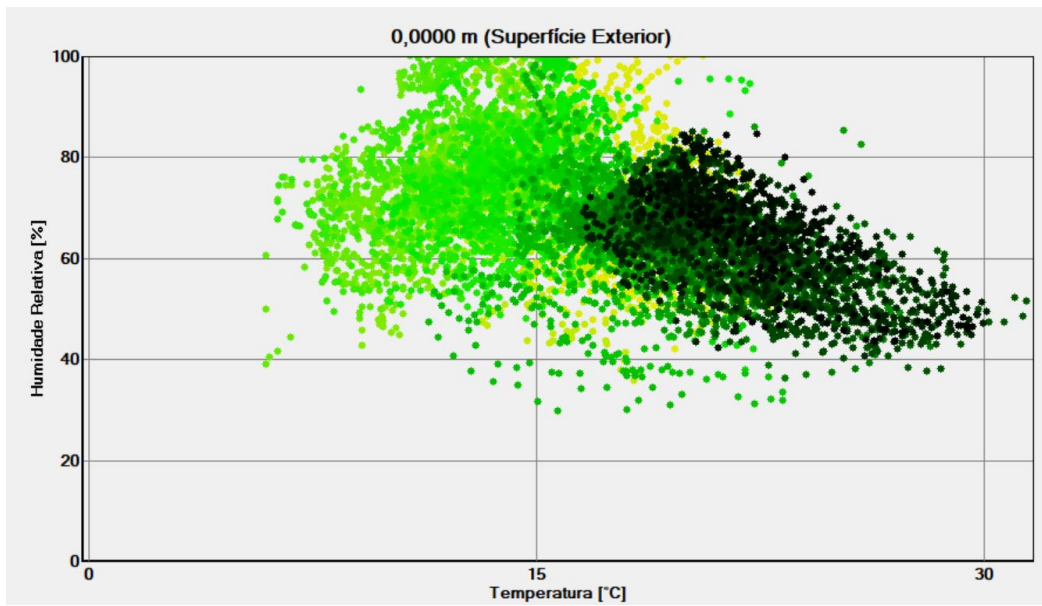


- Superfície Interior

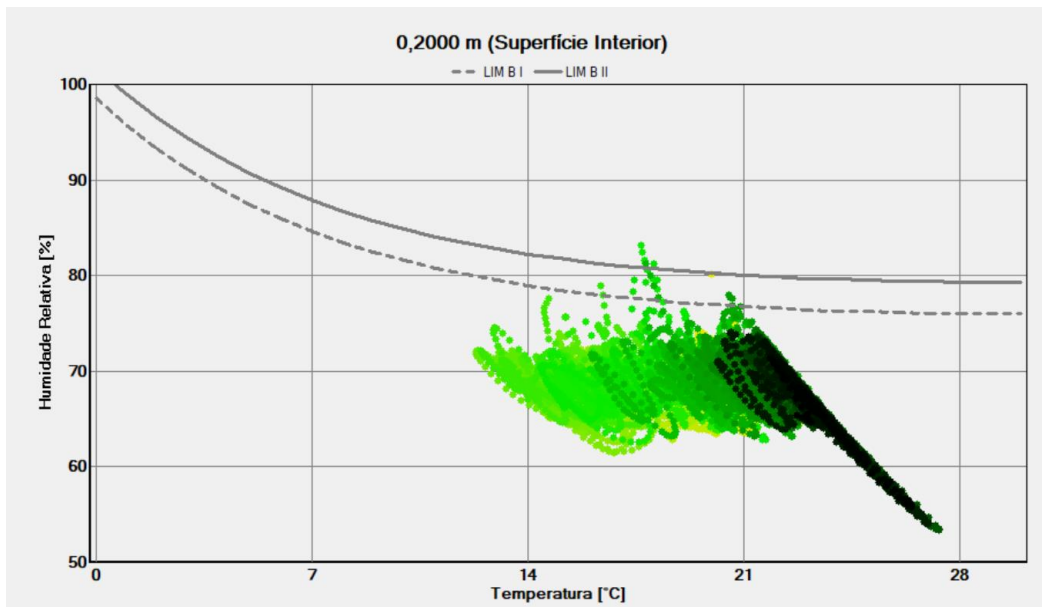


Isopletas na posição de minitorização

- Superfície Exterior

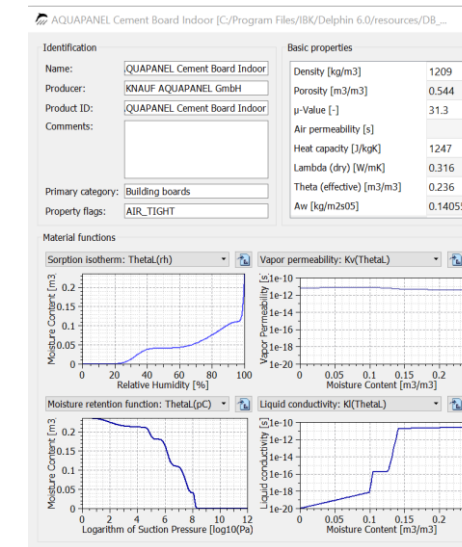
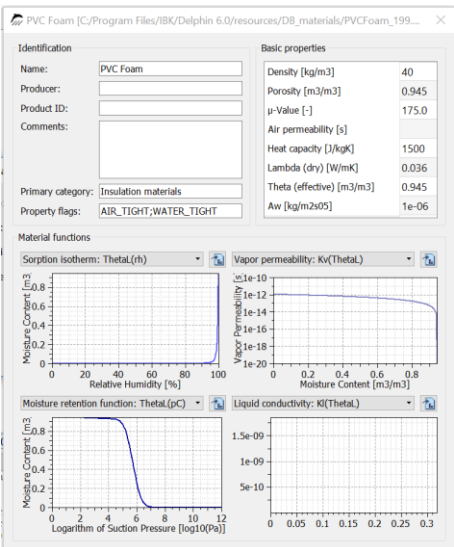
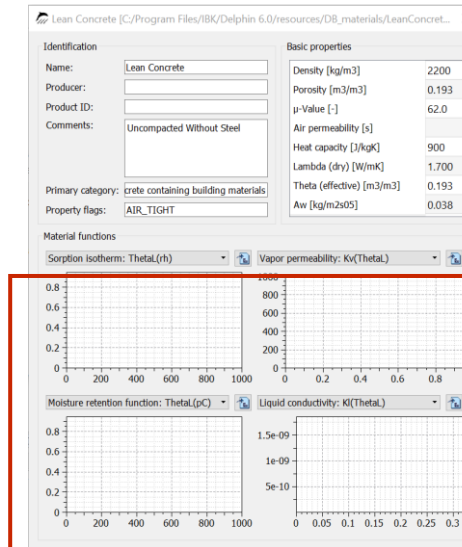
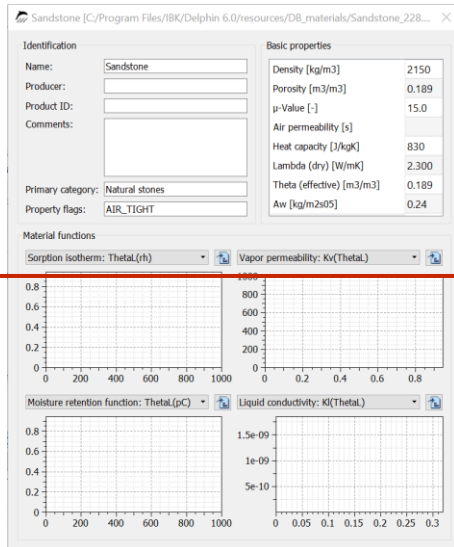
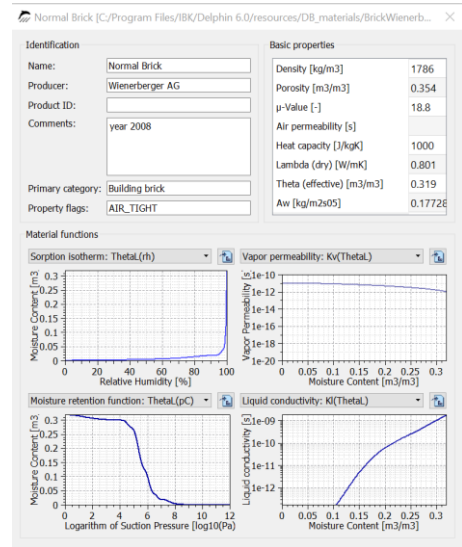
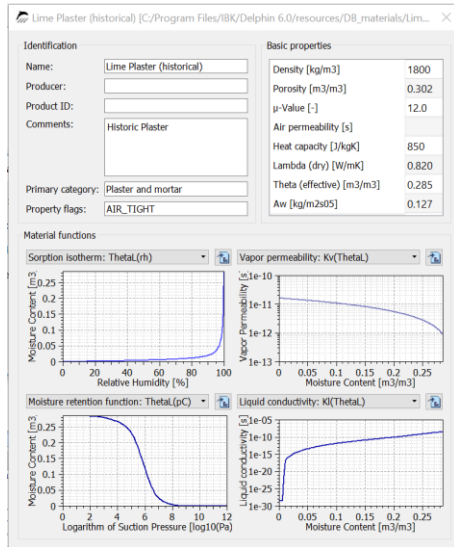


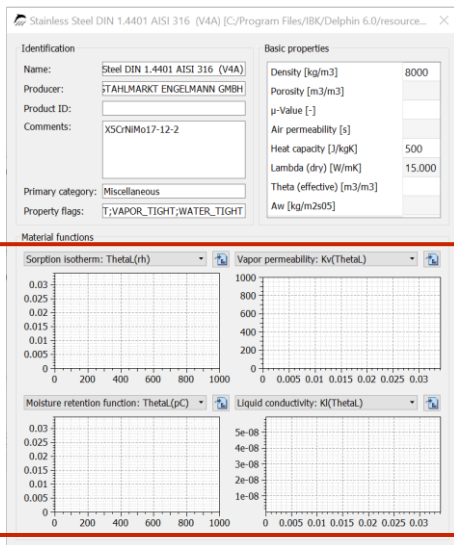
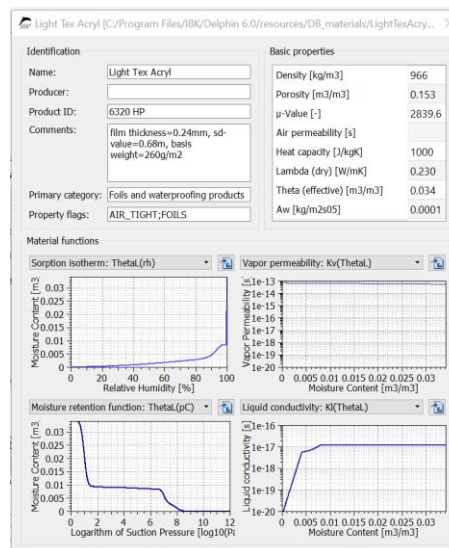
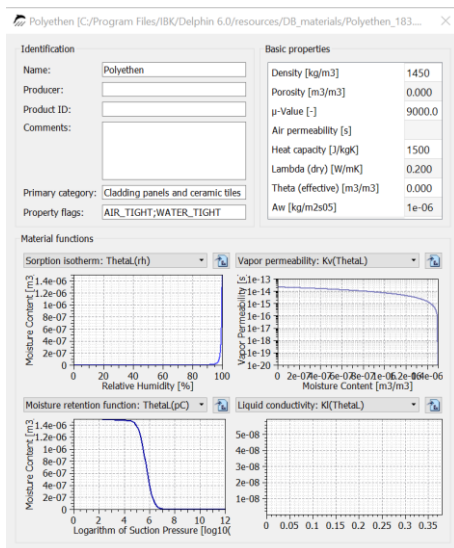
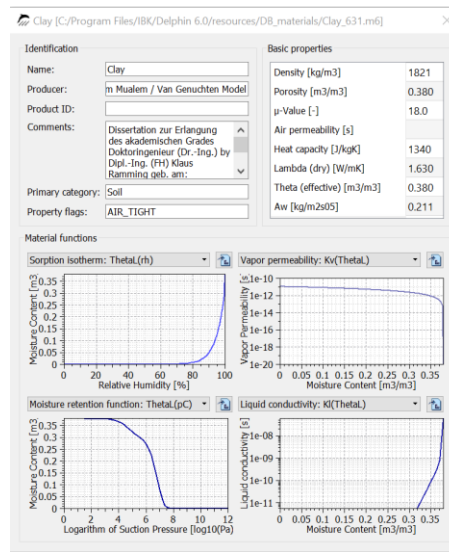
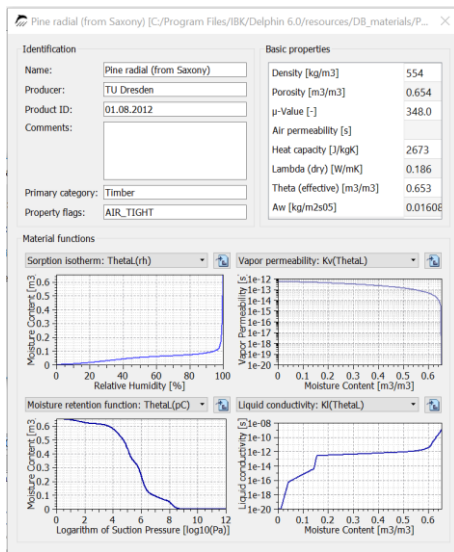
- Superfície Interior



Anexo 3

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE CADA CATEGORIA DO DELPHIN





Anexo 4

MATERIAIS DISPONÍVEIS NA BASE DE DADOS DO DELPHIN

Revestimento

Material database

Category: Coating

Name:

Language: English

Capability filter: ☒ Thermal transport ☐ Vapor diffusion ☐ Liquid water transport ☐ Air flow

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m3]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [—]	W80 [kg/m3]	WSat [kg/m3]	Aw [kg/m2s05]
----	------	----------	----------	-------------	------------	---------------	-------	-------------	--------------	---------------

☐ Show material properties ☐ Show deprecated or removed materials

ImportClose

Gesso e Argamassa

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m3]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m3]	WSat [kg/m3]	Aw [kg/m2s05]
818	Tri-O-Therm	Plaster and mortar	quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	268.3	1047.0	0.058/0.055	7.1	14.7	703.7	0.362
810	Transputz SG	Plaster and mortar	Hydroment GmbH	1265.9	359.2	0.522/0.490	12.1	59.8	294.9	0.024
806	StoDecosil K	Plaster and mortar	Sto SE & Co. KGaA	1752.8	772.2	0.740/---	205.6	13.0	329.2	0.011
804	Sealing filler	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1712.5	855.4	0.828/---	63.9	57.9	187.5	0.001
803	Intrasit RZ1 (Dichtmörtel)	Plaster and mortar	Heinrich Hahne GmbH & Co KG	1352.5	1056.0	0.804/---	100.3	99.0	230.0	0.004
802	Intrasit DS1 (sealing slurry)	Plaster and mortar	Heinrich Hahne GmbH & Co KG	1655.0	839.9	0.558/---	119.2	108.5	250.0	0.003
799	Gypsum Plaster	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1043.4	1046.8	0.261/---	11.3	20.3	356.0	0.367
797	Armatop por	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	968.1	801.7	0.268/---	20.0	34.6	378.0	0.003
794	PP Fix	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1313.3	862.9	0.497/0.497	18.7	72.0	277.0	0.005
793	PP Fill	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1270.0	900.0	0.479/---	14.0	16.6	520.0	0.222
732	Transputz SG	Plaster and mortar	Hydroment GmbH	1601.4	967.5	0.488/0.490	22.7	39.0	205.3	0.019
726	iQ-Top	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	724.9	1041.8	0.147/---	11.7	6.0	374.5	0.107
722	Calsitherm KP inside lime plaster	Plaster and mortar	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	1498.4	802.4	0.680/---	9.3	34.2	430.0	0.019
721	Calsitherm KP Lime Plaster	Plaster and mortar	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	1249.9	999.2	0.570/---	12.1	13.4	452.2	0.134
720	StoLevell In Absolute	Plaster and mortar	Sto SE & Co. KGaA	1302.8	1134.1	0.441/---	11.1	65.6	404.8	0.087
718	Lime cement mortar (low cement ra...	Plaster and mortar	Project Wooden Beam Heads	1739.2	1057.0	1.050/---	28.3	39.0	258.8	0.494
717	Lime cement mortar	Plaster and mortar	Project Wooden Beam Heads	1878.5	757.9	0.803/---	36.9	60.1	222.6	0.036
705	Calsitherm KP Glue Mortar	Plaster and mortar	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	1409.9	1059.1	0.600/---	22.9	106.2	340.0	0.004
704	Insulation plaster Therm 75	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	226.7	1090.5	0.058/0.066	27.6	8.6	301.0	0.008
703	TecTem base plaster	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1307.0	1000.0	0.636/0.636	13.0	27.2	161.2	0.022
702	Rotkalk Base	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1307.0	1000.0	0.636/0.636	13.0	27.2	161.2	0.022
682	Adhesive for Indoor Insulation	Plaster and mortar	Schwenk Putztechnik	1252.2	1142.3	0.408/---	14.9	37.1	342.9	0.008
681	Lime Plaster Indoor	Plaster and mortar	Schwenk Putztechnik	1245.3	1026.5	0.377/---	8.4	54.2	283.4	0.045
680	Smoothing Trowel	Plaster and mortar	Schwenk Putztechnik	1349.6	1049.5	0.314/---	8.3	56.4	465.7	0.050
679	Levelling Plaster	Plaster and mortar	Schwenk Putztechnik	1248.9	1252.8	0.319/---	13.9	57.9	362.0	0.020
678	Basecoat Plaster	Plaster and mortar	Schwenk Putztechnik	1088.6	1282.9	0.283/---	11.7	91.7	301.3	0.059
677	Loam Adhesive	Plaster and mortar		1672.7	889.0	0.724/---	10.3	20.6	280.0	0.249
676	Rotkalk Struktur 1.5	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1279.1	827.3	0.315/---	10.2	25.4	283.3	0.083
674	Rotkalk in-System Adhesive Mortar	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1396.7	1121.5	0.521/0.595	15.4	52.1	238.8	0.004
670	Rotkalk felt 05	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1279.1	827.3	0.315/---	10.2	25.4	283.3	0.083
669	Rotkalk felt 2	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1279.1	827.3	0.315/---	10.2	25.4	283.3	0.083
668	Rotkalk felt 1	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1279.1	827.3	0.315/---	10.2	25.4	283.3	0.083
667	Rotkalk fine	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1279.1	827.3	0.315/---	10.2	25.4	283.3	0.083
665	TecTem Clay-based plaster	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1700.0	1000.0	0.910/0.910	10.0	20.0	320.0	0.112
664	TecTem Adhesive Mortar	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1396.7	1121.5	0.521/0.595	15.4	52.1	238.8	0.004
663	TecTem Clay-based Mortar	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1700.0	1000.0	0.700/0.730	11.0	41.0	407.0	0.020
656	TecTem Inside Plaster	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1279.1	827.3	0.315/---	10.2	25.4	283.3	0.083
655	AQUAPANEL Cement Mortar	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1248.2	1136.7	0.540/---	13.2	40.4	179.0	0.024
630	Lime Cement Plaster light	Plaster and mortar	w&p Zement GmbH	1023.8	1090.0	0.225/---	6.1	24.6	445.0	0.127
629	Lime Plaster	Plaster and mortar	SCHAEFER KALK GmbH & Co KG	1498.4	802.4	0.412/---	9.3	34.2	430.0	0.019
628	Lime Plaster fine	Plaster and mortar	SCHAEFER KALK GmbH & Co KG	1249.9	999.2	0.281/---	12.1	13.4	452.2	0.134
627	Mould Renovation Filler	Plaster and mortar		1269.0	1453.0	0.479/---	13.9	31.5	326.5	0.222
527	TUBAG Trass Lime Minerally Insulati...	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	610.7	802.0	0.116/0.110	6.9	62.1	730.0	0.192
526	Schomburg Tile Adhesive light	Plaster and mortar	SCHOMBURG GmbH	820.0	1306.6	0.216/---	18.9	138.3	320.0	0.008
525	Remmers PVM LV HB0835	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1192.8	793.1	0.261/---	16.3	117.6	450.3	0.052
524	Compress plaster	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	621.0	956.4	0.111/---	12.0	11.0	360.4	0.014
523	Remmers Plaster BVM HB0726 4	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	627.0	819.1	0.144/---	15.6	9.8	257.3	0.013
522	Plaster 06 Laboratory Remmers	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	661.9	904.7	0.143/---	13.7	68.4	405.7	0.041
521	Plaster AML (Remmers Labor)	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1191.0	891.9	0.443/---	16.7	66.9	270.0	0.027
520	Limeplaster Bologna 3enCult	Plaster and mortar		1603.5	869.3	0.690/---	19.0	28.3	282.9	0.179
519	Old Plaster Ayasofya	Plaster and mortar		1418.7	840.0	0.371/---	39.7	54.9	434.8	0.107
518	Bayosan TTK mineral glue	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	1164.3	1461.2	0.288/---	13.1	22.8	380.0	0.082
489	Barrier Plaster Sotano	Plaster and mortar	SOTANO Mörtel + Putze GmbH & Co. KG	1640.0	740.0	0.900/---	44.0	15.6	59.0	0.001
488	Sulfatex Slurries	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1813.8	799.5	0.982/---	33.7	92.8	150.7	0.004
487	Renovation render (antique white)	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	543.6	960.3	0.104/0.270	6.3	62.3	700.0	0.054
486	Glue Mortar	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1605.1	900.9	1.006/---	1541.3	8.9	93.7	0.002
485	Base Plaster	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	994.7	861.5	0.220/---	11.3	77.1	331.0	0.021
484	Timber frame mortar ReFWM23	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	794.5	914.7	0.166/---	11.8	84.4	397.2	0.024
482	Undercoat light	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1253.5	581.5	0.507/---	12.5	19.1	400.0	0.033
481	Levelling render 270S	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1388.4	596.6	0.478/0.300	26.5	14.8	440.0	0.045
480	Rotkalk fine plaster	Plaster and mortar	KNAUF Gips KG	1324.7	733.7	0.321/0.540	12.5	46.9	298.7	0.055
478	Cement glue	Plaster and mortar	KEIMFARBEN GmbH & CO.KG	1363.0	855.4	0.658/---	68.1	27.9	145.0	0.007
476	Schomburg Tile Adhesive	Plaster and mortar	SCHOMBURG GmbH	1389.9	1084.9	0.609/---	31.8	149.5	287.0	0.005
475	Mineral fine plaster (light)	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	586.3	1197.9	0.134/0.380	12.6	38.1	360.0	0.073
442	Knauf Perlite TecTem surface crack fil...	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1091.1	1357.7	0.411/---	20.0	61.3	265.3	0.006
440	Knauf-Perlite TecTem Glue mortar	Plaster and mortar	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1313.3	862.9	0.497/---	18.7	72.0	277.0	0.005
439	iQ-Top	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1269.0	1453.0	0.479/---	13.9	31.5	326.5	0.222
437	iQ-Fix	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1313.3	862.9	0.497/0.497	18.7	72.0	277.0	0.005
431	Maxit Light Insulation Plaster G74M	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	820.4	713.5	0.175/---	29.1	58.6	434.0	0.088
430	TUBAG Trass Lime Insulation Base Pl...	Plaster and mortar	tubag Trass Vertrieb	1095.5	850.0	0.269/---	10.1	58.9	457.8	0.057
429	Hydroment Transputz WDS	Plaster and mortar	Hydroment GmbH	195.8	1103.7	0.059/0.066	10.4	14.2	272.9	0.017
428	Transputz WD	Plaster and mortar	Hydroment GmbH	523.2	940.9	0.105/0.100	9.4	75.2	329.4	0.005
426	Renocell Innenputz	Plaster and mortar	ISOCELL VERTRIEBSGMBH	1023.8	1090.0	0.225/0.230	6.1	24.6	445.0	0.127
419	Klimasan I	Plaster and mortar	Klimasan Perlit GmbH	338.1	1190.1	0.078/0.077	6.2	53.7	499.7	0.314
415	Insulation Loam-Cork Glue mortar (D)	Plaster and mortar	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	569.2	977.0	0.120/---	46.1	17.9	446.3	0.062
407	Calsitherm KP Glue Mortar (until 20...	Plaster and mortar	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	1472.9	1017.7	0.918/0.920	38.4	119.9	261.1	0.008
384	Cement plaster	Plaster and mortar		2000.0	850.0	1.200/---	25.0	35.0	300.0	0.008
383	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1940.0	1000.0	1.400/---	170.0	65.0	220.0	0.008
382	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1870.0	1000.0	1.400/---	67.0	40.0	260.0	0.020
381	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1950.0	1000.0	1.400/---	110.0	41.0	210.0	0.013
380	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1990.0	1000.0	1.400/---	99.0	38.0	220.0	0.012
379	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1890.0	1000.0	1.400/---	58.0	39.0	250.0	0.025
378	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1970.0	1000.0	1.400/---	59.0	39.0	220.0	0.017
377	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1940.0	1000.0	1.400/---	140.0	41.0	220.0	0.012
376	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1890.0	1000.0	1.400/---	67.0	32.0	260.0	0.025
375	Cement flooring screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1940.0	1000.0	1.400/---	100.0	40.0	220.0	0.018
350	Pit lime plaster	Plaster and mortar	wellwall GmbH	1500.0	1000.0	0.800/---	10.0	5.9	430.0	0.300

347	Silicon resin finishing render	Plaster and mortar	Sto SE & Co. KGaA	1480.0	1000.0	0.700/0.700	74.0	2.9	440.0	0.000
346	Restoration plaster	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	1290.0	1000.0	0.930/0.930	15.0	20.0	500.0	0.002
339	Porous basic plaster	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	1320.0	1000.0	0.930/---	15.0	15.0	480.0	0.005
330	Minerally stippled plaster	Plaster and mortar	Saint-Gobain	1690.0	1000.0	0.700/---	12.0	5.7	290.0	0.002
329	Minerally finishing plaster	Plaster and mortar		1480.0	1000.0	1.000/---	17.0	8.9	440.0	0.002
328	Minerally reinforcing plaster	Plaster and mortar	Saint-Gobain	1480.0	1000.0	0.700/---	17.0	12.0	430.0	0.015
327	Minerally filling compound	Plaster and mortar	Capatect Baustoffindustrie GmbH	1440.0	1000.0	0.700/---	25.0	19.0	420.0	0.001
326	Light clay mortar	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	1150.0	1100.0	0.310/---	28.0	240.0	570.0	0.009
325	Light clay mortar	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	830.0	1000.0	0.210/---	13.0	26.0	590.0	0.027
324	Loam plaster	Plaster and mortar		1510.0	1000.0	0.650/---	11.0	19.0	420.0	0.183
323	Synthetic resin rendering	Plaster and mortar		1100.0	850.0	0.700/---	1000.0	10.0	120.0	0.002
319	Lime plaster	Plaster and mortar		1600.0	850.0	0.700/---	7.0	30.0	300.0	0.050
311	Gypsum	Plaster and mortar		850.0	1000.0	0.300/---	8.3	6.3	650.0	0.283
304	Rendering (half timbered work)	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	1360.0	1000.0	0.900/0.930	8.1	6.2	490.0	0.001
287	Reinforcing Plaster, synthetic resin a...	Plaster and mortar	Sto SE & Co. KGaA	1650.0	10000.0	0.700/0.700	1100.0	5.1	290.0	0.001
285	Red Lime Plaster	Plaster and mortar	Knauf Gips KG	1365.3	907.8	0.400/0.540	13.8	44.5	290.6	0.068
253	Trass-lime-lightweight plaster	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	1432.2	630.0	0.403/---	11.0	56.7	500.0	0.079
252	Trass-lime Final Rendering	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	1519.8	1417.7	0.619/---	51.0	58.3	384.3	0.071
251	Trass-Mineral Insulation Plaster	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	610.0	1000.0	0.100/---	6.9	59.2	487.0	0.189
248	Framework Mortar	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1150.0	900.0	0.170/---	12.0	21.0	260.0	0.016
243	Synthetic Resin Plaster	Plaster and mortar		1200.0	900.0	0.750/---	250.0	7.0	105.0	0.002
242	Surface coating plaster	Plaster and mortar		1390.0	850.0	0.750/---	33.0	40.7	430.0	0.030
240	Straw Clay	Plaster and mortar		500.0	900.0	0.250/---	6.3	28.0	455.0	0.044
231	Mineral Interior Plaster	Plaster and mortar	KEIMFARBEN GmbH & CO.KG	1446.1	873.2	0.609/---	39.0	58.8	236.6	0.017
230	Anti-mould plaster	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	465.5	1172.6	0.106/---	8.4	61.2	725.6	0.013
229	Renovating Plaster	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	1388.0	1071.9	0.478/---	32.8	23.0	434.8	0.029
219	Restoration Render	Plaster and mortar		1390.0	850.0	0.750/---	18.0	23.8	251.0	0.029
210	Renovating Plaster (lightweight)	Plaster and mortar		540.0	900.0	0.139/---	6.3	63.0	787.0	0.054
171	Restoration Plaster (antique white)	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	950.0	900.0	0.280/0.270	12.0	22.0	760.0	0.007
161	Machine-applied plaster for Renova...	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1672.8	846.6	0.892/---	15.9	28.3	282.9	0.100
160	Porous Base Plaster	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	1123.7	438.5	0.261/---	10.6	12.9	265.0	0.019
154	Trass-lime-lightweight plaster	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	1600.0	1000.0	0.750/---	11.0	53.6	344.0	0.073
151	Limeplaster	Plaster and mortar		1600.0	900.0	0.710/---	15.0	15.0	361.0	0.045
150	Lime Plaster (fine)	Plaster and mortar		1520.0	850.0	0.800/---	51.0	57.9	380.0	0.071
149	Lime plaster for fettling machine	Plaster and mortar		1430.0	850.0	0.590/---	11.0	52.9	340.0	0.080
148	Lime Plaster (historical)	Plaster and mortar		1800.0	850.0	0.820/---	12.0	11.1	285.0	0.127
147	Cement Lime Plaster	Plaster and mortar		1800.0	900.0	0.890/---	21.0	20.0	250.0	0.026
146	Lime Cement Plaster	Plaster and mortar		1900.0	900.0	0.800/---	15.0	53.0	220.0	0.033
145	Lime Cement Plaster	Plaster and mortar	Hydroment GmbH	1270.0	960.0	0.550/0.490	12.0	59.6	450.0	0.009
144	Cement Lime Plaster (lightweight)	Plaster and mortar	Wietersdorfer Peggauer Zementwerke	1020.0	900.0	0.240/---	6.1	29.0	445.0	0.127
143	Lime Cement Mortar	Plaster and mortar		1570.0	1000.0	0.700/---	11.0	25.2	250.0	0.176
142	Lime Cement Mortar	Plaster and mortar	quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	1850.0	900.0	1.020/0.930	31.0	48.0	208.0	0.630
141	Lime Cement Mortar	Plaster and mortar		1020.0	900.0	0.225/---	6.2	42.0	445.0	0.150
140	Lightweight-clay_mortar	Plaster and mortar		1200.0	1000.0	0.561/---	18.0	15.0	226.0	0.032
139	Lightweight-clay mortar	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	1150.0	1000.0	0.357/---	28.0	88.0	240.0	0.123
130	Light Clay Mortar	Plaster and mortar	Baumit GmbH (Bayosan)	900.0	1000.0	0.230/---	30.0	16.2	450.0	0.004
128	Clay Mortar (historical)	Plaster and mortar		1567.8	488.4	0.582/---	11.4	38.6	405.0	0.176
125	Climate plaster	Plaster and mortar	quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	844.1	808.8	0.169/0.300	8.8	43.9	397.0	0.172
124	Climate plaster	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	1291.5	727.2	0.550/---	17.7	90.2	510.0	0.051
123	CaSi adhesive mortar (light)	Plaster and mortar	Schommer Systembaustoffe GmbH	820.0	1306.6	0.216/---	18.9	139.4	340.0	0.008
122	iQ-Top	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	630.0	900.0	0.111/---	12.0	14.6	760.0	0.014
120	iQ-Fill	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1270.0	900.0	0.479/---	14.0	16.6	520.0	0.222
116	Insulation Plaster	Plaster and mortar		500.0	850.0	0.071/---	10.0	7.0	82.0	0.012
112	Adhesive Clay Mortar	Plaster and mortar	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	710.0	900.0	0.190/---	15.0	17.0	554.0	0.015
90	Glue Mortar I	Plaster and mortar	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	707.1	944.7	0.190/---	15.1	11.8	553.8	0.038
89	Glue Mortar II	Plaster and mortar	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	561.3	1316.4	0.140/---	10.8	10.8	660.0	0.109
88	Loam Cement	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	700.0	1000.0	0.190/0.190	65.0	11.2	554.0	0.038
87	Contact Insulation Mortar	Plaster and mortar	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	726.5	959.4	0.187/---	62.0	19.3	715.9	0.012
86	Contact Insulation Mortar	Plaster and mortar	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	528.7	1031.5	0.113/0.190	47.9	28.8	780.0	0.023
85	Gypsum Plaster	Plaster and mortar		1300.0	900.0	0.531/---	8.0	20.0	441.0	0.038
84	Gypsum Plaster	Plaster and mortar	quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	1240.0	900.0	0.440/---	7.4	3.0	421.0	0.273
83	Gypsum Plaster	Plaster and mortar		1100.0	900.0	0.520/---	8.0	8.0	380.0	0.038
82	Gypsum Plaster	Plaster and mortar	quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	910.0	900.0	0.280/---	5.5	2.0	575.0	0.323
77	Glue Mortar (For Mineral Insulation ...	Plaster and mortar	Xella International GmbH	830.0	815.0	0.155/---	13.0	52.2	540.0	0.003
75	Fixing Mortar SLP	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1400.0	900.0	0.930/0.930	35.0	79.0	257.0	0.009
74	Glue Mortar (For Climate Board)	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1800.0	815.0	0.930/---	35.0	79.0	257.0	0.009
69	Floating Floor Screed	Plaster and mortar	maxit Baustoffwerke GmbH	2060.0	850.0	1.400/---	25.0	17.9	265.0	0.080
68	Flowing Screed (Cement)	Plaster and mortar	Knauf Gips KG	2057.5	688.5	0.940/---	96.2	18.4	252.5	0.081
67	Tile Adhesive	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1503.2	850.0	0.900/---	30.2	78.4	340.0	0.014
66	Attachment Mortar SLP (FKA)	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1516.2	850.0	0.900/---	30.3	78.9	248.0	0.012
51	Clay Plaster	Plaster and mortar		1700.0	1000.0	0.790/---	15.0	20.0	320.0	0.045
50	Clay Mortar (hist.)	Plaster and mortar		1570.0	1000.0	0.700/---	11.0	51.0	407.0	0.232
48	Cement Plaster	Plaster and mortar		1900.0	850.0	0.930/---	25.0	25.0	190.0	0.006
47	Cement Plaster (interior)	Plaster and mortar		1900.0	850.0	0.910/---	25.0	25.0	242.0	0.019
46	Cement Flooring	Plaster and mortar		2000.0	850.0	1.400/---	25.0	26.0	196.0	0.004
35	Build-in Insulation Plaster	Plaster and mortar	TUBAG / quickmix	1130.0	900.0	0.415/---	11.0	86.0	557.0	0.032
21	Attachment mortar SLP	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1313.3	862.9	0.497/---	18.7	62.1	288.4	0.005
20	Anhydrite Flowing Screed	Plaster and mortar	Knauf Gips KG	2060.0	900.0	1.150/1.400	84.0	18.0	253.0	0.081
2	Compound Mortar	Plaster and mortar	Remmers Baustofftechnik GmbH	1100.0	850.0	0.700/---	500.0	9.8	111.0	0.002

Tijolo de construção

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m ³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m ³]	WSat [kg/m ³]	Aw [kg/m ² s05]
812	Brick Schlagmann WDZ_Perlite filling	Building brick	Schlagmann Baustoffwerke GmbH & C...	146.7	766.6	0.050/---	3.4	1.7	282.0	0.004
796	Old Building Brick Tivoli Berlin (inner...	Building brick		1565.9	963.6	0.546/---	11.3	4.9	357.0	0.227
795	Old Building Brick Tivoli Berlin (oute...	Building brick		1565.9	963.6	0.546/---	11.3	4.9	357.0	0.227
791	Loam brick green	Building brick		1787.1	760.2	0.826/---	36.0	58.0	412.6	0.048
686	Brick	Building brick	CoolBricks Hamburg	1787.9	799.7	0.811/---	28.3	0.5	239.9	0.031
685	Lime-Sandbrick	Building brick		1704.6	890.9	1.188/---	18.7	10.5	238.5	0.311
557	Brick Schlagmann WDZ Brick Shell	Building brick	Schlagmann Baustoffwerke GmbH & C...	1394.6	1018.7	0.266/---	14.0	13.3	403.1	0.443
555	Brick Schlagmann WDF 180mm (Pe...	Building brick	Schlagmann Baustoffwerke GmbH & C...	196.6	777.1	0.048/0.055	5.8	2.6	145.0	0.010
554	Brick Schlagmann WDF 120mm (PK...	Building brick	Schlagmann Baustoffwerke GmbH & C...	102.5	850.7	0.041/---	10.3	1.6	25.1	0.017
553	Brick Schlagmann WDF 120mm (Pe...	Building brick	Schlagmann Baustoffwerke GmbH & C...	196.6	777.1	0.048/0.060	5.9	2.6	145.0	0.011
552	Brick Schlagmann (solid brick)	Building brick	Schlagmann Baustoffwerke GmbH & C...	1394.6	1018.7	0.266/---	14.0	13.3	403.1	0.443
551	Lime Sand Stone Xella Ytong 2004	Building brick	Xella International GmbH	1743.8	868.3	0.854/---	27.9	37.6	333.1	0.048
550	Lime Sand Stone Xella Ytong 2002	Building brick	Xella International GmbH	1813.5	1000.0	0.819/---	39.8	32.0	331.3	0.052
549	Old Building Brick US Headquarter ...	Building brick		1628.9	937.0	0.755/---	6.8	2.7	345.2	0.427
547	Old Building Brick Tivoli Berlin (oute...	Building brick		1469.3	1014.9	0.429/---	7.2	5.7	440.0	0.489
545	Old Building Brick Schloss Güterfeld...	Building brick		1531.8	907.0	0.383/---	10.4	4.9	357.0	0.218
544	Old Building Brick Schloss Güterfeld...	Building brick		1646.8	920.2	0.464/---	16.4	6.9	322.1	0.113
543	Old Building Brick Rote Kaserne Pot...	Building brick		2048.8	847.0	0.861/---	19.0	1.0	240.1	0.336
542	Old Building Brick Rote Kaserne Pot...	Building brick		2048.8	846.6	0.861/---	14.2	4.3	340.0	0.336
541	Old Building Brick Rote Kaserne Pot...	Building brick		1853.9	788.0	0.722/---	42.5	3.8	220.0	0.055
540	Old Building Brick Rote Kaserne Pot...	Building brick		1842.5	772.2	0.797/---	37.6	2.0	284.0	0.067
539	Old Building Brick Reithalle Potsda...	Building brick		1818.3	825.0	0.586/---	31.0	25.0	299.4	0.095
538	Old Building Brick Reithalle Potsda...	Building brick		1852.5	809.7	0.682/---	27.1	23.0	287.1	0.041
537	Old Building Brick Reithalle Potsda...	Building brick		1905.8	781.8	0.734/---	37.8	3.8	220.0	0.057
536	Old Building Brick Persusspeicher	Building brick		2014.9	775.3	0.868/---	139.5	3.5	225.0	0.046
535	Old Building Brick Elbphilharmonie ...	Building brick		1885.2	851.6	0.808/---	23.9	3.2	212.0	0.201
534	Old Building Brick Dresden ZQ with ...	Building brick		1970.0	851.6	1.050/---	123.9	3.2	179.1	0.010
533	Old Building Brick Dresden ZB	Building brick		1769.2	1000.0	0.789/---	8.6	9.0	334.0	0.150
532	Old Building Brick Bologna 3enCult	Building brick		1759.0	1092.2	0.624/---	24.5	7.5	318.4	0.185
531	Old Building Brick Bornstättel Feld	Building brick		1853.9	788.0	0.722/---	42.5	4.4	192.9	0.055
530	Old Building Brick Am Weinberg Be...	Building brick		1674.2	933.0	0.685/---	12.8	4.9	357.0	0.215
529	Old Building Brick Am Weinberg Be...	Building brick		1966.5	878.9	0.928/---	26.5	1.0	240.1	0.060
528	Old Building Clinker Hamburg Hols...	Building brick		2009.9	843.6	1.012/---	41.1	7.4	169.4	0.006
513	Ceramic Brick	Building brick		1952.2	862.6	0.961/---	19.4	1.2	239.0	0.142
512	Normal Brick	Building brick	Wienerberger AG	1786.3	888.7	0.548/---	18.0	13.4	319.4	0.199
511	Lime Sand Brick	Building brick	Xella International GmbH	1743.8	850.0	0.819/---	27.9	37.9	333.1	0.050
510	Lime Sand Brick	Building brick	Xella International GmbH	1813.5	936.5	1.045/---	39.8	29.6	331.3	0.052
509	Lime Sand Brick	Building brick		1754.6	850.0	0.779/---	15.7	42.0	233.4	0.011
508	Perforated Brick	Building brick	Wienerberger AG	1400.0	1000.0	0.350/---	18.8	11.4	319.4	0.177
507	Normal Brick	Building brick	Wienerberger AG	1786.3	1000.0	0.801/---	18.8	13.4	319.4	0.177
505	Old Building Brick Elbphilharmonie ...	Building brick		1885.2	851.6	0.808/---	23.9	3.0	212.4	0.201
504	Old Building Brick Dresden ZP	Building brick		1980.7	841.1	0.891/---	45.1	2.9	164.3	0.051
503	Old Building Brick Dresden ZO	Building brick		1881.7	827.2	0.838/---	46.2	4.4	192.9	0.068
502	Old Building Brick Dresden ZN	Building brick		1741.2	880.8	0.528/---	35.1	26.0	327.2	0.052
501	Old Building Brick Dresden ZM	Building brick		1719.6	917.4	0.642/---	19.1	4.1	338.9	0.117
500	Old Building Brick Dresden ZL	Building brick		1676.5	933.8	0.521/---	13.2	4.7	343.8	0.357
499	Old Building Brick Dresden ZK	Building brick		1734.1	919.2	0.656/---	24.5	14.8	324.0	0.107
498	Old Building Brick Dresden ZJ	Building brick		1787.0	867.9	0.496/---	17.1	3.7	291.9	0.184
497	Old Building Brick Dresden ZI	Building brick		1736.4	881.3	0.456/---	21.3	17.1	320.1	0.034
496	Old Building Brick Dresden ZH	Building brick		1851.9	794.1	0.659/---	12.0	2.3	282.5	0.262
495	Old Building Brick Dresden ZG	Building brick		1715.2	920.2	0.543/---	22.2	6.9	322.1	0.137
494	Old Building Brick Dresden ZF	Building brick		1975.7	846.0	1.012/---	41.1	7.4	169.4	0.017
493	Old Building Brick Dresden ZE	Building brick		1657.2	907.0	0.574/---	12.8	4.9	357.0	0.215
492	Old Building Brick Dresden ZD	Building brick		1619.5	953.1	0.403/---	10.5	3.7	361.0	0.381
491	Old Building Brick Dresden ZC	Building brick		1904.4	847.4	0.808/---	22.9	3.1	212.4	0.172
490	Old Building Brick Dresden ZA	Building brick		1835.6	814.6	0.528/---	15.7	5.4	282.9	0.182
391	Solid brick	Building brick		1730.0	1000.0	0.700/---	15.0	4.1	380.0	0.300
390	Solid brick	Building brick		1670.0	1000.0	0.700/---	11.0	6.5	300.0	0.108
389	Brick	Building brick	Hörl & Hartmann Material	1660.0	1000.0	0.660/---	9.5	8.3	410.0	0.233
388	Solid brick	Building brick		1890.0	860.0	0.960/---	14.0	1.2	280.0	0.183
387	Solid brick	Building brick	Neue ZIEGEL-MANUFAKTUR Glindow G...	1970.0	1000.0	0.960/---	20.0	0.5	250.0	0.082
386	Solid brick	Building brick	Falkenlöwe	1790.0	1000.0	0.800/---	11.0	0.8	300.0	0.267
385	Vertically perforated brick	Building brick	Poroton	765.0	850.0	0.180/---	15.0	13.0	600.0	0.160
374	Solid brick	Building brick	Wienerberger AG	1740.0	890.0	0.550/---	15.0	2.5	330.0	0.300
372	Old building brick ZS	Building brick		1740.0	910.0	0.670/---	23.0	8.9	340.0	0.118
355	Solid brick	Building brick		1810.0	860.0	0.700/---	10.0	1.5	320.0	0.250
354	Hand-moulded brick	Building brick		1730.0	850.0	0.600/---	17.0	2.7	380.0	0.233
353	Solid brick, extruded	Building brick		1650.0	850.0	0.600/---	9.5	9.2	410.0	0.467
352	Solid brick, old	Building brick		1800.0	850.0	0.600/---	15.0	4.5	310.0	0.283
349	Loam stone	Building brick		1040.0	1000.0	0.400/---	7.1	41.0	460.0	0.112
320	Lime sand stone	Building brick		1900.0	1000.0	1.000/---	28.0	25.0	290.0	0.045
313	High Insulation Brick	Building brick	Unipor	700.0	850.0	0.130/---	15.0	14.0	740.0	0.097
312	High Insulation Brick	Building brick	Thermopor	600.0	850.0	0.120/---	16.0	11.0	770.0	0.098
286	Old Building Brick Dresden ZQ	Building brick		1948.0	813.2	0.905/---	98.6	3.2	179.1	0.022
264	Normal Brick	Building brick	Wienerberger AG	1400.0	1000.0	0.550/---	19.0	11.4	319.0	0.177
260	Vertically Perforated Brick	Building brick		610.0	900.0	0.420/---	6.2	3.0	768.0	0.007
259	Vertically Perforated Brick	Building brick		600.0	900.0	0.319/---	5.9	3.0	775.0	0.007
217	Sand-lime Brick	Building brick		2000.0	900.0	1.020/---	25.0	58.0	221.0	0.040
216	Sand-lime Brick	Building brick	KS	1810.0	900.0	1.060/---	40.0	33.0	344.0	0.052
215	Sand-lime Brick	Building brick	Kalksandsteinwerk Cottbus GmbH & Co.	1750.0	900.0	0.870/---	16.0	39.0	338.0	0.011
213	Sand-lime Brick Masonry	Building brick		1710.0	900.0	0.840/---	20.0	24.0	340.0	0.040
205	Red-burnt Brick	Building brick		1700.0	900.0	0.650/---	9.0	8.0	323.0	0.240
204	Red-burnt Brick	Building brick		1500.0	900.0	0.552/---	8.0	7.0	345.0	0.208
203	Red-burnt Brick	Building brick		1300.0	900.0	0.452/---	7.5	6.0	351.0	0.162
176	Perlite Clay Stone	Building brick		1250.0	1000.0	0.610/---	6.4	20.0	258.0	0.140
153	Lime Sand Brick (traditional)	Building brick		1810.0	940.0	1.000/---	40.0	33.6	330.0	0.052
118	Insulation Stone	Building brick		1000.0	900.0	0.314/---	21.0	32.0	280.0	0.026

Pedras naturais

105	Historical Clincker	Building brick		1980.0	900.0	0.995/---	45.0	4.0	241.0	0.018
104	Historical Clincker-Surface	Building brick		2050.0	900.0	1.000/---	168.0	3.0	164.0	0.001
102	Historical Brick	Building brick		1810.0	900.0	0.705/---	10.0	1.0	318.0	0.251
101	Historical Brick	Building brick		1720.0	900.0	0.842/---	9.0	15.0	340.0	0.245
100	Historical Brick	Building brick		1710.0	900.0	0.800/---	8.3	5.0	319.0	0.333
97	Historical Brick (Cluster 4)	Building brick		1710.0	1000.0	0.800/---	8.3	4.8	319.0	0.278
96	Historical Brick (edge)	Building brick		1980.0	834.0	0.996/---	168.0	2.8	241.0	0.051
94	Hard-grey-burnt Brick	Building brick		1900.0	900.0	0.800/---	14.0	6.0	255.0	0.110
93	Hard-grey-burnt Brick	Building brick		1700.0	900.0	0.750/---	9.0	5.0	289.0	0.220
92	Hard-burnt Brick	Building brick		1750.0	900.0	0.700/---	23.0	9.0	343.0	0.119
64	Diatomite Brick	Building brick	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	970.0	900.0	0.307/---	15.0	128.0	634.0	0.391
53	Clincker Brick	Building brick		2100.0	900.0	0.900/---	31.0	3.0	187.0	0.091
34	Brick Joens	Building brick		1790.0	868.0	0.870/---	14.0	2.5	350.0	0.227
33	Brick Bernhard	Building brick		2060.0	1000.0	1.000/---	19.0	0.9	230.0	0.100

Pedras naturais

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m³]	WSat [kg/m³]	Aw [kg/m²s05]
800	Red Sandstone India Humayun (we...	Natural stones		2268.1	828.2	2.639/---	86.8	10.7	144.0	0.010
568	Sandstone Schleierth	Natural stones		2043.2	686.5	1.973/---	25.5	24.0	145.0	0.024
567	Sandstone Sander	Natural stones		2032.4	717.1	1.410/---	25.9	27.1	193.6	0.064
566	Sandstone Reinhardsdorf	Natural stones		1988.7	882.6	2.402/---	16.5	4.8	202.7	0.140
565	Sandstone Oberkirchner	Natural stones		2115.1	846.5	2.942/---	34.1	6.3	130.4	0.024
564	Sandstone Monte Merlo	Natural stones		1967.0	264.5	0.956/---	106.9	18.7	120.0	0.012
563	Sandstone Krenzheimer	Natural stones		2157.7	814.5	1.710/---	148.4	3.0	125.0	0.009
562	Sandstone Karlsfahner	Natural stones		2411.6	796.0	3.277/---	178.5	11.6	73.9	0.006
561	Sandstone Arholzen	Natural stones		2276.1	787.9	2.540/---	97.6	9.1	114.1	0.017
560	Shell Limestone Facade Element	Natural stones		2560.9	651.1	2.180/---	1683...	5.1	44.2	0.003
559	Carrara Marble (sculpture)	Natural stones		2613.6	728.0	2.272/---	301.9	0.2	11.0	0.002
472	Tuff Japan	Natural stones		1250.1	1172.5	0.379/---	28.8	57.6	396.3	0.017
471	Tuff Ettringen	Natural stones		1449.8	925.0	0.481/---	10.4	69.7	299.2	0.099
470	Sandstone Velbke	Natural stones		1942.5	816.7	1.830/---	11.5	1.6	242.2	0.646
469	Sandstone Rütten	Natural stones		1918.6	708.1	2.000/---	13.0	14.2	244.6	0.338
468	Sandstone Muehleite (ferreous)	Natural stones		2095.5	840.0	2.200/---	15.8	0.8	246.0	0.015
467	Sandstone India red	Natural stones		2262.8	874.5	2.870/---	63.7	10.2	132.0	0.013
466	Sandstone Hildesheim	Natural stones		1974.0	813.3	2.385/---	13.7	7.7	215.7	0.619
465	Sandstone Bad Bentheim	Natural stones		1932.8	909.8	2.575/---	11.9	1.5	249.2	0.669
464	Shell Limestone Krensheim	Natural stones		2440.0	850.0	2.300/---	140.0	9.8	127.0	0.004
463	Granite boulder	Natural stones		2452.9	702.2	1.718/---	53.8	7.4	54.1	0.086
462	Carrara Marble	Natural stones		2613.6	728.0	2.272/---	353.5	0.6	10.5	0.002
461	Red Sandstone Hesse	Natural stones		2254.2	850.0	2.300/---	58.8	9.4	132.5	0.006
351	Travertine	Natural stones		2420.0	1000.0	1.800/---	530.0	0.9	88.0	0.004
344	Sandstone Zeitz	Natural stones		2300.0	850.0	2.300/---	70.0	8.5	50.0	0.003
343	Sandstone Wüstenzell	Natural stones		2310.0	850.0	1.800/---	55.0	9.2	100.0	0.018
342	Sandstone Worzeldorf	Natural stones		2260.0	850.0	1.800/---	26.0	10.0	130.0	0.016
340	Sandstone Sander	Natural stones		2190.0	850.0	1.700/---	33.0	18.0	170.0	0.020
332	Sandstone from Obernkirchen	Natural stones		2150.0	850.0	2.000/---	32.0	3.4	140.0	0.047
332	Sandstone from Obernkirchen	Natural stones		2150.0	850.0	2.000/---	32.0	3.4	140.0	0.047
322	Lime Tuff	Natural stones	Mangfalltal (Location)	1920.0	1000.0	0.800/---	26.0	5.6	280.0	0.300
288	Sandstone from Baumberg	Natural stones		1980.0	850.0	1.700/---	20.0	36.0	230.0	0.043
263	Granite (weathered)	Natural stones		2450.0	700.0	1.700/---	54.0	7.0	50.0	0.086
255	Tuff Stone	Natural stones		1450.0	900.0	0.525/---	10.0	75.0	453.0	0.099
228	Sandstone	Natural stones		2150.0	830.0	2.300/---	15.0	23.0	189.0	0.240
227	Sandstone	Natural stones		2100.0	830.0	2.450/---	16.0	1.0	194.0	0.431
225	Sandstone	Natural stones		1940.0	830.0	1.830/---	11.5	2.0	243.0	0.026
224	Sandstone	Natural stones		2270.0	830.0	2.640/---	87.0	11.0	145.0	0.010
221	Sandstone Reinhardsdorf	Natural stones		1990.0	883.0	2.400/---	16.0	4.2	202.7	0.140
220	Sandstone Posta	Natural stones	Sächsische Sandsteinwerke GmbH	2100.0	800.0	2.460/---	16.0	0.9	193.7	0.368
219	Sandstone Cotta	Natural stones	Sächsische Sandsteinwerke GmbH	1940.0	830.0	2.430/---	19.0	8.5	230.0	0.070
218	Lime Brick	Natural stones		2220.0	900.0	1.720/---	73.0	3.0	161.0	0.082
157	Marble	Natural stones		2750.0	880.0	2.310/---	200.0	21.0	40.0	0.003
78	Granite	Natural stones		2550.0	700.0	3.500/---	1000.0	0.1	9.0	0.001

Betão que contém materiais de construção

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m³]	WSat [kg/m³]	Aw [kg/m²s05]
734	Textile-reinforced concrete 4.0	Concrete contai...	FH Leipzig	2184.0	709.4	2.162/---	595.3	72.4	89.8	0.001
687	Street Concrete B60	Concrete contai...		2204.7	713.4	1.738/---	180.0	30.8	73.0	0.002
620	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		2346.2	799.0	0.939/---	422.1	63.2	158.0	0.004
619	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		2327.0	759.8	0.804/---	270.0	63.6	168.0	0.005
618	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		1947.8	876.8	0.694/---	298.0	104.2	263.0	0.004
617	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		1945.4	829.2	0.804/---	231.6	121.2	290.0	0.004
616	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		1974.7	808.0	0.814/---	271.6	98.7	243.0	0.002
615	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		1906.0	880.0	0.745/---	483.2	101.8	250.0	0.004
570	Textile reinforced Concrete	Concrete contai...		1941.2	802.0	0.898/---	427.0	107.8	263.0	0.005
569	Concrete	Concrete contai...		2104.2	1000.0	2.100/---	76.1	102.3	219.9	0.013
474	Cellular Concrete Ytong	Concrete contai...	Xella International GmbH	392.2	850.0	0.095/---	7.4	17.8	800.0	0.043
473	Cellular Concrete	Concrete contai...		414.6	850.0	0.100/---	8.9	17.7	780.0	0.039
420	Maxit Fluid Concrete 908FB G 908	Concrete contai...	maxit Baustoffwerke GmbH	2088.3	856.8	1.805/---	128.9	78.2	264.0	0.045
411	Concrete B25	Concrete contai...		2320.2	850.0	2.100/---	110.0	58.2	143.0	0.008
405	Pumice Concrete	Concrete contai...		668.0	850.0	0.140/---	4.0	110.7	427.1	0.035
404	Concrete B35 with Marble	Concrete contai...		2384.4	839.0	2.550/---	220.0	48.7	100.4	0.006
338	Cellular concrete (old)	Concrete contai...		599.0	1000.0	0.150/---	5.3	190.0	760.0	0.085
337	Cellular concrete (old)	Concrete contai...		600.0	850.0	0.140/---	8.0	17.0	720.0	0.083
336	Cellular concrete (old)	Concrete contai...		400.0	850.0	0.100/---	7.0	11.0	810.0	0.083
335	Cellular concrete	Concrete contai...		600.0	1000.0	0.240/---	7.6	17.0	720.0	0.090
334	Cellular concrete	Concrete contai...		500.0	850.0	0.120/---	8.0	9.8	770.0	0.083
299	Concrete (w/z=0.5)	Concrete contai...		2420.0	1000.0	2.100/---	650.0	50.0	120.0	0.004
298	Concrete (w/z=0.5)	Concrete contai...		2360.0	1000.0	2.100/---	650.0	35.0	99.0	0.004
297	Concrete (w/z=0.6)	Concrete contai...		2280.0	1000.0	2.100/---	190.0	28.0	130.0	0.012
296	Concrete (w/z=0.5)	Concrete contai...		2300.0	1000.0	2.100/---	300.0	32.0	110.0	0.006
196	Pumice Concrete	Concrete contai...		850.0	900.0	0.301/---	6.0	34.0	679.0	0.006
192	Polystyrene Foam Concrete	Concrete contai...		650.0	1500.0	0.214/---	16.0	70.0	755.0	0.005
191	Polystyrene Foam Concrete	Concrete contai...		400.0	1500.0	0.124/---	18.0	55.0	849.0	0.004
190	Polystyrene Foam Concrete	Concrete contai...		220.0	1500.0	0.074/---	20.0	8.0	917.0	0.001
159	Lightweight Concrete	Concrete contai...	maxit Baustoffwerke GmbH	1503.0	1074.2	0.604/---	81.3	87.8	307.2	0.032
158	Flowing Concrete	Concrete contai...	maxit Baustoffwerke GmbH	2088.3	856.8	1.805/---	128.9	78.2	264.0	0.045
138	Lightweight Concrete (rho=1900)	Concrete contai...		1900.0	900.0	1.400/---	13.0	42.0	320.0	0.027
137	Lightweight Concrete (rho=1600)	Concrete contai...		1600.0	900.0	1.200/---	8.0	32.0	430.0	0.023
136	Lightweight Concrete (rho=1300)	Concrete contai...		1300.0	900.0	0.800/---	7.5	23.0	540.0	0.019
135	Lightweight Concrete (rho=1000)	Concrete contai...		1000.0	900.0	0.500/---	6.5	18.0	640.0	0.016
134	Lightweight Concrete (rho=700)	Concrete contai...		700.0	900.0	0.330/---	5.5	12.0	750.0	0.012
133	Lightweight Concrete (rho=500)	Concrete contai...		500.0	900.0	0.245/---	4.5	9.0	810.0	0.009
132	Lightweight Concrete (rho=300)	Concrete contai...		300.0	900.0	0.171/---	3.5	6.0	890.0	0.006
131	Lightweight Concrete (rho=200)	Concrete contai...		200.0	900.0	0.114/---	2.8	4.0	920.0	0.004
127	Lean Concrete	Concrete contai...		2400.0	900.0	2.200/---	91.0	59.0	141.0	0.020
126	Lean Concrete	Concrete contai...		2200.0	900.0	1.700/---	62.0	55.0	193.0	0.038
113	Insulation Concrete	Concrete contai...		500.0	900.0	0.188/---	5.0	23.0	811.0	0.004
57	Concrete	Concrete contai...		2500.0	900.0	2.300/---	119.0	60.0	107.0	0.007
56	Concrete	Concrete contai...		2400.0	900.0	2.100/---	110.0	59.0	136.0	0.020
55	Concrete	Concrete contai...		2300.0	900.0	1.900/---	76.0	57.0	175.0	0.032
32	Blast-furnace Slag Concrete	Concrete contai...		1900.0	900.0	0.711/---	14.0	40.0	314.0	0.013
31	Blast-furnace Slag Concrete	Concrete contai...		1600.0	900.0	0.469/---	10.0	50.0	422.0	0.028
30	Blast-furnace Slag Concrete	Concrete contai...		1300.0	900.0	0.315/---	8.0	40.0	531.0	0.036
29	Blast-furnace Slag Concrete	Concrete contai...		1000.0	900.0	0.241/---	6.5	30.0	639.0	0.058
8	Aerated Concrete	Concrete contai...		600.0	1081.0	0.210/---	5.6	28.0	770.0	0.045
7	Aerated Concrete	Concrete contai...	Xella International GmbH	420.0	1081.0	0.112/---	8.9	24.0	832.0	0.039
6	Aerated Concrete	Concrete contai...		390.0	1081.0	0.100/---	7.4	25.0	700.0	0.064
5	Aerated Concrete	Concrete contai...	Xella International GmbH	390.0	1081.0	0.105/---	9.9	18.0	854.0	0.061
4	Aerated Concrete	Concrete contai...	Xella International GmbH	390.0	1081.0	0.105/---	7.4	21.0	871.0	0.043
3	Aerated Concrete	Concrete contai...		360.0	1081.0	0.272/---	4.6	55.0	864.0	0.053
1	Autoclaved Aerated Concrete	Concrete contai...	Xella International GmbH	390.0	1081.0	0.095/---	7.0	15.3	700.0	0.043

Materiais de isolamento

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m³]	WSat [kg/m³]	Aw [kg/m2s05]
811	TUBAG Insulation Plaster DUP01 ka...	Insulation materi...	TUBAG / quickmix	1128.0	850.0	0.229/0.440	10.9	82.0	400.0	0.032
809	Sto Insulation Board Top32	Insulation materi...	Sto SE & Co. KGaA	16.0	2827.5	0.036/---	25.0	2.0	16.3	0.000
801	Insulation-Clay-Cork-FW	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	460.0	803.0	0.068/---	20.0	11.0	425.0	0.036
792	Power Protect [eco]	Insulation materi...	Remmers Baustofftechnik GmbH	152.0	900.0	0.050/0.050	6.1	4.7	942.7	0.697
735	CALOSTAT	Insulation materi...	Evonik Industries AG	166.6	840.0	0.021/0.021	3.9	1.2	2.0	0.000
733	Sto-Perlite Indoor insulation board ...	Insulation materi...	Sto SE & Co. KGaA	100.3	1640.1	0.046/0.045	8.0	3.5	770.0	1.981
731	Mineral Wool 035	Insulation materi...		67.0	840.0	0.035/0.035	1.0	0.1	900.0	0.000
730	Mineral Wool 032	Insulation materi...		37.0	840.0	0.032/0.032	1.0	0.1	900.0	0.000
707	Calsitherm Climate Board WF	Insulation materi...	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	186.8	1100.0	0.059/0.062	3.6	6.8	916.4	0.766
706	Calsitherm Climate Board F	Insulation materi...	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	267.5	1150.0	0.074/0.078	6.6	5.2	881.2	0.849
693	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	STEICO SE	160.8	1661.9	0.039/---	3.4	17.9	550.0	0.003
692	Perlit	Insulation materi...	SCHLAGMANN POROTON GMBH + C...	70.4	1400.0	0.036/---	7.1	17.3	680.0	0.022
691	Perlit	Insulation materi...	SCHLAGMANN POROTON GMBH + C...	50.4	1640.0	0.036/---	7.0	0.6	380.0	0.018
690	Chopped Straw Insulation Board	Insulation materi...		300.0	2100.0	0.095/---	3.0	33.4	891.2	0.083
689	Phenolic foam	Insulation materi...	Kingspan Insulation GmbH & Co. KG	35.5	1470.0	0.020/---	113.7	2.0	501.2	0.009
688	Wood Fibre Board indoor	Insulation materi...	best wood SCHNEIDER® GmbH	119.1	1000.0	0.040/---	1.1	12.7	590.3	0.005
675	Rotkalk in-System Jamb Board	Insulation materi...	KNAUF Gips KG	157.9	1131.6	0.050/0.050	7.7	4.5	777.0	1.757
673	Rotkalk in-System Board 045 80 + ...	Insulation materi...	KNAUF Gips KG	100.3	1640.1	0.046/0.041	8.0	3.5	770.0	1.981
672	Rotkalk in-System Board 045 50 + ...	Insulation materi...	KNAUF Gips KG	100.3	1640.1	0.046/0.042	8.0	3.5	770.0	1.981
662	TecTerm Insulation Board Indoor Cli...	Insulation materi...	KNAUF AQUAPANEL GmbH	157.9	1131.6	0.050/0.050	7.7	4.5	777.0	1.757
661	TecTerm Jamb Board 25 mm	Insulation materi...	KNAUF AQUAPANEL GmbH	157.9	1131.6	0.050/0.050	7.7	4.5	777.0	1.757
660	TecTerm Insulation Board Indoor His...	Insulation materi...	KNAUF AQUAPANEL GmbH	157.9	1131.6	0.050/0.050	7.7	4.5	777.0	1.757
659	TecTerm Insulation Board Indoor 50 ...	Insulation materi...	KNAUF AQUAPANEL GmbH	100.3	1640.1	0.046/0.042	8.0	3.5	770.0	1.981
658	TecTerm Insulation Board Indoor 80 ...	Insulation materi...	KNAUF AQUAPANEL GmbH	100.3	1640.1	0.046/0.041	8.0	3.5	770.0	1.981
657	TecTerm Insulation Board Indoor 12...	Insulation materi...	KNAUF AQUAPANEL GmbH	100.3	1640.1	0.046/0.040	8.0	3.5	770.0	1.981
649	Mineral Wool	Insulation materi...		195.0	840.0	0.040/---	1.0	0.6	900.0	0.000
648	Mineral Wool	Insulation materi...		168.0	840.0	0.040/---	1.0	0.4	900.0	0.000
647	Mineral Wool	Insulation materi...		134.0	840.0	0.040/---	1.0	0.4	900.0	0.000
646	Mineral Wool	Insulation materi...		112.0	840.0	0.040/---	1.0	0.2	900.0	0.000
645	Mineral Wool	Insulation materi...		67.0	840.0	0.040/---	1.0	0.1	900.0	0.000
644	Mineral Wool	Insulation materi...		37.0	840.0	0.040/---	1.0	0.1	900.0	0.000
643	Multipor Minerally insulation board ...	Insulation materi...	Xella International	98.5	1331.0	0.044/0.045	3.0	5.2	128.0	0.006
602	Pumice Board	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	485.0	894.0	0.140/---	8.5	3.7	650.0	0.095
597	Ytong Mineral Foam Multipor 2004	Insulation materi...	Xella International GmbH	115.2	1292.3	0.048/---	4.1	8.7	366.0	0.017
596	Ytong Mineral Foam Multipor-045 ...	Insulation materi...	Xella International GmbH	125.7	968.4	0.045/---	5.7	4.0	180.0	0.004
595	Mineral Foam Multipor (from 2011)	Insulation materi...	Xella International GmbH	98.5	1331.0	0.042/---	6.7	5.2	128.0	0.006
593	Sto Mineral Foam StoTherm-Cell	Insulation materi...	Sto SE & Co. KGaA	98.5	1331.0	0.042/---	6.7	5.2	128.0	0.006
592	Remmers Calciunsilicate Moulds Ren...	Insulation materi...	Remmers Baustofftechnik GmbH	296.8	997.4	0.068/---	10.6	22.3	871.4	0.387
591	Remmers Calciunsilicate Mould Re...	Insulation materi...	Remmers Baustofftechnik GmbH	350.9	901.9	0.067/---	9.2	10.0	850.0	1.338
590	Redstone Mineral Foam Pura Inside	Insulation materi...	redstone GmbH	128.4	892.6	0.047/0.042	4.5	5.2	422.2	0.102
589	Mineral Foam Insulation Board	Insulation materi...	quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	125.7	968.4	0.045/0.042	5.7	4.0	180.0	0.004
588	Wood Fibre Board (functional layer ...	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	183.5	1474.9	0.058/---	4.9	24.4	312.0	0.009
587	Wood Fibre Board (functional layer ...	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	183.5	1474.9	0.058/---	4.9	24.4	312.0	0.009
586	Keimfarben Mineral Foam xPor Out...	Insulation materi...	KEIMFARBEN GmbH & CO.KG	125.7	968.4	0.045/0.045	5.7	4.0	180.0	0.004
585	Isozell Cellulose-Insulation Plaster R...	Insulation materi...	ISOCELL VERTRIEBSGMBH	152.5	1695.4	0.056/0.040	6.9	13.2	800.0	0.716
584	Insulation Loam Cork Brick	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	359.7	630.7	0.078/---	28.7	8.8	408.5	0.023
583	Insulation Loam Cork-Flexboard	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	460.4	802.6	0.085/---	19.8	37.9	585.0	0.036
582	Dennert Mineral foam Poratec Innen	Insulation materi...	poratec GmbH Dämmstoffsysteme	128.4	892.6	0.047/0.045	4.5	5.2	422.2	0.102
581	Dennert Mineral Foam Poratec Außen	Insulation materi...	poratec GmbH Dämmstoffsysteme	133.1	1133.1	0.049/---	5.2	8.1	650.0	0.096
580	Blown-in Cellulose	Insulation materi...	CWA Cellulose Werk Angelbachtal GmbH	55.2	2544.4	0.048/0.040	2.0	6.3	780.0	0.563
577	Pyrogenic Silica Board (hydrophobic)	Insulation materi...	CONFIRA Werkstoff GmbH	20.0	840.0	0.019/0.020	6.2	0.8	1.0	0.000
571	Climate Board (until 2001)	Insulation materi...	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	270.1	1157.9	0.069/---	3.8	4.7	900.2	1.115
517	Wood Fibre Board (measured over ...	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	196.9	1684.4	0.064/---	12.9	20.6	891.2	0.084
516	Wood Fibre Board (measured over ...	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	196.9	1684.4	0.064/---	12.9	20.7	891.2	0.292
515	Thermokork	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	114.0	2253.2	0.047/---	28.9	9.8	93.3	0.009
514	Getifix Insulation Panel	Insulation materi...	Getifix GmbH	277.4	1063.5	0.081/---	5.4	12.4	848.0	0.664
438	iQ-Therm	Insulation materi...	Remmers Baustofftechnik GmbH	48.9	1400.0	0.037/0.031	27.0	0.4	93.3	0.013
435	Wood Fibre Board	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	240.0	2100.0	0.050/---	5.0	31.8	408.2	0.012
434	Insulation Loam-Polystyrol	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	316.0	1208.5	0.075/---	14.1	9.2	560.0	0.096
433	Insulation Loam Wood	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	299.7	1419.3	0.094/---	6.5	24.1	637.0	0.113
432	Insulation Loam with expanded Clay	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	483.2	893.5	0.136/---	8.8	3.7	650.0	0.094
425	Renocell Cellulose Inside Insulation	Insulation materi...	ISOCELL VERTRIEBSGMBH	92.8	2005.1	0.052/0.052	2.4	9.8	970.0	3.509
424	Remmers SLP	Insulation materi...	Remmers Baustofftechnik GmbH	296.8	997.4	0.063/0.063	4.6	22.3	871.4	0.387
423	Redstone Masterclima	Insulation materi...	redstone GmbH	277.4	1063.5	0.081/---	5.4	12.4	848.0	0.664
422	Promat Promasil	Insulation materi...	Promat GmbH	257.4	1085.3	0.073/---	4.6	7.2	889.4	1.167
417	Insulation Loam Cork Bagged Carg...	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	388.3	969.3	0.082/---	36.0	9.1	475.5	0.058
416	Insulation Loam-Cork Board (F)	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	350.1	1056.4	0.077/0.080	28.0	8.0	417.5	0.045
414	Insulation Loam Cork BigPack	Insulation materi...	HAACKE Energie-Effizienz GmbH	368.1	884.8	0.074/0.080	7.7	11.5	860.0	0.055
412	Epasit Epatherm	Insulation materi...	epasit GmbH Spezialbaustoffe	277.4	1063.5	0.073/---	5.4	12.4	848.0	0.664
410	CasiPlus	Insulation materi...	CasiPlus GmbH	225.0	1129.4	0.063/---	4.2	6.6	905.0	0.726
409	Silca TS00	Insulation materi...	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	486.9	1086.1	0.102/---	7.0	9.2	800.0	0.656
408	CalCast CC10	Insulation materi...	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	824.1	1155.0	0.281/---	10.2	13.5	680.0	0.200
316	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	Gutex	159.0	1700.0	0.040/0.040	3.3	26.0	890.0	0.002
315	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	Steico	165.0	1700.0	0.040/0.042	2.9	27.0	880.0	0.002
314	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	168.0	1700.0	0.040/---	3.3	17.0	880.0	0.003
308	Flax insulation board	Insulation materi...	Flachshaus GmbH	39.0	850.0	0.040/---	1.5	5.0	950.0	0.017
284	Climate board (until 2015)	Insulation materi...	Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH	222.3	1303.2	0.057/0.059	5.4	7.2	910.0	0.954
278	Wood Wool Light Building Board	Insulation materi...		420.0	1470.0	0.172/---	3.0	54.0	501.0	0.010
277	Wood Wool Light Building Board	Insulation materi...		400.0	1470.0	0.114/---	2.9	51.0	506.0	0.009
276	Wood Wool Light Building Board	Insulation materi...	Knauf Insulation GmbH	380.0	1470.0	0.080/0.090	2.2	46.0	550.0	0.007
275	Wood Wool Cement Board	Insulation materi...		180.0	1470.0	0.060/---	4.9	25.8	340.0	0.009
272	Wood Fibre Board	Insulation materi...		300.0	1880.0	0.050/---	5.0	52.8	400.0	0.067
271	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	200.0	2000.0	0.064/---	13.0	28.2	926.0	0.084
270	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	150.0	2000.0	0.042/---	3.0	17.6	600.0	0.070
269	Wood Fibre Board	Insulation materi...		270.0	1800.0	0.093/---	15.0	38.0	848.0	0.073
268	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	180.0	2000.0	0.059/---	5.0	24.0	931.0	0.009
267	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...	PAVATEX GmbH	180.0	2000.0	0.045/0.045	4.9	26.0	931.0	0.009

266	Wood Fibre Insulation Board	Insulation materi...		150.0	2000.0	0.040/---	6.0	29.0	380.0	0.083
257	Urea-formaldehyde Foam	Insulation materi...		14.0	1100.0	0.055/---	2.3	2.0	970.0	0.077
256	Urea-formaldehyde Foam	Insulation materi...		10.0	1100.0	0.042/---	2.0	2.0	965.0	0.000
207	Reed Mat	Insulation materi...		150.0	1000.0	0.081/---	1.8	23.0	941.0	0.009
206	Reed Mat	Insulation materi...		80.0	1000.0	0.068/---	1.5	15.0	970.0	0.005
202	Rammed Insulating Clay	Insulation materi...		590.0	900.0	0.291/---	23.0	8.0	530.0	0.018
199	PVC Foam	Insulation materi...		40.0	1500.0	0.036/---	175.0	1.1	945.0	0.000
195	Polyurethane-foam	Insulation materi...		45.0	1500.0	0.029/---	104.0	1.1	920.0	0.000
194	Polyurethane boards	Insulation materi...		37.0	1500.0	0.031/---	65.0	1.1	945.0	0.000
193	Polyurethane boards	Insulation materi...		35.0	1500.0	0.028/---	100.0	1.1	949.0	0.000
189	Polystyrene Board - Extruded	Insulation materi...		35.0	1500.0	0.027/---	225.0	1.1	905.0	0.000
188	Polystyrene Board - Extruded	Insulation materi...		40.0	1500.0	0.030/---	150.0	1.1	950.0	0.000
187	Polystyrene Board - Expanded	Insulation materi...		23.0	1500.0	0.036/---	96.0	1.1	920.0	0.000
186	Polystyrene Foam Board - Expanded	Insulation materi...		35.0	1500.0	0.040/---	50.0	1.1	935.0	0.000
179	Phenolic_resin_rigid_foam	Insulation materi...		110.0	1500.0	0.039/---	3.7	6.0	833.0	0.080
175	Perlite (bitumen coated)	Insulation materi...		280.0	1000.0	0.070/---	2.0	20.0	700.0	0.000
168	Minerally insulation board	Insulation materi...	Heck	110.0	1000.0	0.043/0.042	4.0	4.0	956.0	0.417
167	Minerally insulation board	Insulation materi...	Getifix GmbH	110.0	1000.0	0.043/0.042	4.0	4.0	956.0	0.417
166	Minerally insulation board	Insulation materi...	KEIMFARBEN GmbH & CO.KG	110.0	1000.0	0.043/0.042	4.0	4.0	956.0	0.417
165	Minerally insulation board	Insulation materi...	redstone GmbH	110.0	1000.0	0.043/0.045	4.0	4.0	956.0	0.417
114	Insulation Loam (Corc)	Insulation materi...	HAAcke Energie-Effizienz GmbH	370.0	1000.0	0.080/---	11.0	34.5	862.0	0.070
111	Insulating Clay	Insulation materi...	HAAcke Energie-Effizienz GmbH	480.0	803.0	0.136/---	8.8	3.0	815.0	0.094
109	Insulating Clay	Insulation materi...	HAAcke Energie-Effizienz GmbH	320.0	803.0	0.075/---	14.0	9.0	887.0	0.096
108	Insulating Clay	Insulation materi...	HAAcke Energie-Effizienz GmbH	300.0	803.0	0.094/---	6.8	22.0	887.0	0.113
70	Foamglas	Insulation materi...		140.0	850.0	0.045/---	7000...	1.4	949.0	0.000
63	Calcium Silicate Board	Insulation materi...	epasit GmbH Spezialbaustoffe	290.0	1158.0	0.060/0.059	6.0	50.0	890.0	1.180
42	Calcium Silicate Board	Insulation materi...	Getifix GmbH	280.0	1158.0	0.076/0.090	4.5	18.0	888.0	1.280
41	Calcium Silicate Board	Insulation materi...	redstone GmbH	300.0	1158.0	0.063/0.090	4.6	46.0	841.0	1.290
40	Calcium Silicate Board	Insulation materi...	Skamol	225.0	900.0	0.067/---	2.5	25.0	910.0	0.726
39	Calcium Silicate Board	Insulation materi...	Remmers Baustofftechnik GmbH	365.0	900.0	0.064/0.063	4.6	8.0	950.0	1.290
38	Calcium Silicate Panel	Insulation materi...								

Placas de construção

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m³]	WSat [kg/m³]	Aw [kg/m²s05]
654	AQUAPANEL Cement Board Outdoor	Building boards	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1158.7	1188.0	0.313/---	26.4	70.9	283.6	0.014
653	AQUAPANEL Cement Board Indoor	Building boards	KNAUF AQUAPANEL GmbH	1209.2	1247.0	0.316/---	31.3	75.0	235.9	0.141
650	OSB	Building boards	Kronospan	595.0	1500.0	0.130/---	165.0	95.7	847.0	0.002
599	Gypsum Board Knauf Standard	Building boards	Knauf Gips KG	745.1	1825.9	0.177/---	11.0	8.8	574.9	0.179
598	Gypsum Board Knauf Diamant	Building boards	Knauf Gips KG	1054.5	1336.3	0.311/---	15.2	7.1	461.0	0.054
427	Rigips gypsum board	Building boards	Rigips	732.0	1383.9	0.211/---	6.8	4.3	449.8	0.130
421	OSB board mitsum	Building boards		640.0	1880.0	0.102/---	191.0	71.4	570.0	0.002
413	Gypsum fibre board	Building boards	Fermacell	1133.3	1228.4	0.341/0.320	16.8	19.2	525.6	0.057
348	Particle board	Building boards	Pfleiderer	620.0	1700.0	0.140/---	44.0	110.0	530.0	0.033
333	OSB	Building boards	Kronospan	595.0	1700.0	0.130/---	170.0	52.0	520.0	0.002
331	MSB (Microstrandboard)	Building boards	Valentin	664.0	1700.0	0.130/---	92.0	91.0	670.0	0.002
317	Wood Fibre Board	Building boards	Glunz	565.0	1700.0	0.140/---	9.0	52.0	600.0	0.001
300	DWD Wood fibre board	Building boards	Glunz	528.0	1700.0	0.140/0.090	10.0	70.0	610.0	0.001
291	Veneer Plywood BFU 100	Building boards	UPM Plywood	427.0	1600.0	0.110/0.130	190.0	70.0	660.0	0.002
279	HDF (high density fibre board)	Building boards		1250.0	1100.0	0.580/---	80.0	59.5	260.0	0.002
274	Wood Particle Board	Building boards		1000.0	1500.0	0.310/---	86.0	55.0	486.0	0.012
273	Wood Particle Board	Building boards		520.0	1500.0	0.130/---	45.0	28.0	635.0	0.038
265	Wood Cement Particle Board	Building boards		520.0	1800.0	0.164/---	5.0	40.0	635.0	0.006
254	Triplex-Multiplex Board	Building boards		700.0	1500.0	0.206/---	10.0	90.0	580.0	0.012
239	Straw Chaffing Board	Building boards	Conluto	300.0	1500.0	0.111/---	3.3	40.0	878.0	0.080
208	Reed Straw Chaffing Board	Building boards		300.0	1000.0	0.095/---	3.0	36.0	878.0	0.083
182	Polyester Board	Building boards		1200.0	1500.0	0.200/---	9000.0	0.0	0.0	0.000
173	Particle board	Building boards		700.0	1880.0	0.110/---	30.0	102.3	457.0	0.033
172	OSB Board	Building boards		630.0	1880.0	0.130/---	280.0	36.8	350.0	0.002
162	Medium Density Fibreboard	Building boards	Kronospan	790.0	2500.0	0.140/---	23.0	88.0	711.0	0.058
129	Light-weight Wood Wool Magnesit...	Building boards		450.0	1470.0	0.138/---	5.9	90.0	700.0	0.005
81	Gypsum Board	Building boards		850.0	850.0	0.200/---	10.0	7.2	551.0	0.277
80	Gypsum Board	Building boards		850.0	900.0	0.240/---	8.0	18.0	400.0	0.400
79	Gypsum Board	Building boards	Rigips	730.0	900.0	0.210/---	6.8	8.0	440.0	0.130
23	Asbestos Cement Board (rho=1100)	Building boards		1100.0	900.0	0.578/---	94.0	135.0	320.0	0.022
22	Asbestos Cement Board (rho=800)	Building boards		800.0	900.0	0.223/---	14.0	34.0	380.0	0.056

Madeira

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m3]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m3]	WSat [kg/m3]	Aw [kg/m2s05]
807	Spruce Longitudinal	Timber		414.1	2416.3	0.148/---	3.5	74.1	718.9	0.012
716	Pine tangential (from Saxony)	Timber	TU Dresden	554.3	2574.5	0.188/---	222.9	72.0	653.2	0.010
715	Pine radial (from Saxony)	Timber	TU Dresden	554.3	2672.8	0.186/---	348.0	72.0	653.2	0.016
714	Pine_longitudinal (from Saxony)	Timber	TU Dresden	554.3	2774.5	0.208/---	4.5	72.0	653.2	0.017
713	Spruce tangential (from Saxony)	Timber	TU Dresden	393.7	1843.0	0.106/---	487.7	59.8	728.1	0.005
712	Spruce_radial (from Saxony)	Timber	TU Dresden	393.7	1843.0	0.112/---	186.1	59.8	728.1	0.012
711	Spruce longitudinal (from Saxony)	Timber	TU Dresden	393.7	1843.0	0.151/---	4.6	59.8	728.1	0.012
710	Oak tangential (from Saxony)	Timber	TU Dresden	580.7	1284.0	0.129/---	230.7	86.2	683.6	0.002
709	Oak radial (from Saxony)	Timber	TU Dresden	580.7	1283.8	0.143/---	129.5	86.5	612.0	0.003
708	Oak longitudinal (from Saxony)	Timber	TU Dresden	580.7	1683.3	0.166/---	8.3	86.2	683.6	0.008
696	Spruce Radial	Timber		437.6	1391.0	0.122/---	474.7	62.6	445.1	0.013
695	Spruce tangential	Timber		393.7	1251.9	0.106/---	487.7	70.7	728.0	0.005
626	Spruce_radial/tangential	Timber		425.0	1245.0	0.079/---	73.0	72.6	590.2	0.002
601	Beechwood Radial	Timber		721.9	1160.2	0.178/---	143.9	90.7	623.8	0.078
600	Beechwood Longitudinal	Timber		721.9	2005.2	0.277/---	4.9	89.5	623.8	0.053
460	Spruce SW Radial	Timber		519.9	1188.7	0.130/---	236.2	67.6	692.0	0.058
459	Spruce SW Longitudinal	Timber		519.9	1946.3	0.194/---	4.4	67.6	692.0	0.043
458	Oak wood SW Ei Longitudinal	Timber		588.3	1584.3	0.212/---	9.6	72.9	618.0	0.016
457	Oak wood SW E Radial	Timber		588.3	1363.8	0.156/---	648.0	73.3	618.0	0.009
310	Coursed veneer	Timber	Finnforest	462.0	1600.0	0.130/---	160.0	76.0	630.0	0.002
307	Spruce radial	Timber		455.0	1500.0	0.090/---	130.0	80.0	730.0	0.002
306	Spruce logitudinal	Timber		455.0	1500.0	0.230/---	4.3	80.0	730.0	0.011
303	Oak radial	Timber		685.0	1500.0	0.130/---	140.0	120.0	720.0	0.002
302	Oak (old)	Timber		740.0	1600.0	0.180/---	220.0	100.0	300.0	0.002
301	Oak longitudinal	Timber		685.0	1500.0	0.300/---	8.0	120.0	720.0	0.011
244	Teak	Timber		640.0	2400.0	0.150/---	60.0	105.0	612.0	0.035
180	Pine	Timber		530.0	1400.0	0.138/---	70.0	105.0	634.0	0.038
95	Hardwood	Timber		700.0	2100.0	0.201/---	180.0	75.0	549.0	0.006
59	Coniferous Wood	Timber		550.0	2100.0	0.130/---	69.0	90.0	627.0	0.043

Materiais naturais

Material database

Category: Natural materials

Name:

Language: English

Capability filter: ☒ Thermal transport ☐ Vapor diffusion ☐ Liquid water transport ☐ Air flow

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m3]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m3]	WSat [kg/m3]	Aw [kg/m2s05]
----	------	----------	----------	-------------	------------	---------------	---------	-------------	--------------	---------------

☐ Show material properties ☐ Show deprecated or removed materials

ImportClose

Solo

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m3]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m3]	WSat [kg/m3]	Aw [kg/m2s05]
729	Sand	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1513.0	805.0	1.220/---	15.0	0.1	430.0	1.720
642	Silty Loam	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1820.0	1309.0	1.500/---	18.0	0.4	450.0	0.351
641	Silty Clay Loam	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1823.0	1388.0	1.550/---	18.0	2.5	430.0	0.160
640	Silty Clay	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1820.0	1320.0	1.750/---	18.0	1.1	360.0	0.091
639	Silt	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1821.0	1345.0	1.490/---	18.0	0.8	460.0	0.270
638	Sandy Loam	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1524.0	902.0	1.520/---	15.0	0.1	410.0	0.710
637	Sandy Clay Loam	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1537.0	1008.0	1.690/---	15.0	0.1	390.0	0.370
636	Sandy Clay	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1820.0	1324.0	1.760/---	18.0	5.5	380.0	0.123
634	Loamy Sand	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1517.0	839.0	1.400/---	15.0	0.0	430.0	1.100
633	Loam	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1816.0	1229.0	1.540/---	18.0	0.3	430.0	0.474
632	Clay Loam	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1820.0	1323.0	1.630/---	18.0	2.2	410.0	0.250
631	Clay	Soil	Data transformed from Mualem / Van ...	1821.0	1340.0	1.630/---	18.0	7.0	380.0	0.211
624	Soil Bv-M4 (clayey sandy)	Soil		1524.8	1300.1	0.210/---	5.9	13.6	450.0	1.098
623	Soil Bv-M3 (clayey)	Soil		1256.9	1221.7	0.117/---	4.5	47.1	580.0	0.460
622	Sand Bv-M2	Soil		1729.7	1232.9	0.314/---	9.3	7.4	343.0	1.587
621	Humus Bearing Topsoil	Soil		1115.3	1216.5	0.166/---	4.8	176.0	578.0	0.659
156	Loam LMH (Hist.)	Soil		1570.0	1000.0	0.700/---	11.0	41.0	407.0	0.176

Painéis de revestimento e telhas cerâmicas

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m³]	WSat [kg/m³]	Aw [kg/m²s05]
247	Tiles With Mortar	Cladding panels ...		2000.0	900.0	1.000/---	300.0	0.4	50.0	0.001
246	Tiles With Mortar	Cladding panels ...		2000.0	900.0	1.000/---	100.0	0.8	50.0	0.001
198	PVC Floor Covering	Cladding panels ...		1500.0	1500.0	0.230/---	175.0	0.5	400.0	0.000
183	Polyethen	Cladding panels ...		1450.0	1500.0	0.200/---	9000.0	0.0	0.0	0.000
49	Ceramics And Glass Mosaic	Cladding panels ...		2620.0	900.0	0.800/---	1000...	0.0	8.0	0.000

Folhas e produtos de impermeabilização

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m³]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m³]	WSat [kg/m³]	Aw [kg/m²s05]
805	SIGA Majrex	Foils and waterp...	SIGA	1900.3	1000.0	0.400/---	2336...	42.8	470.7	0.003
798	Dasatop	Foils and waterp...	MOLL bauökologische Produkte GmbH	386.5	1000.0	0.230/---	1576...	1.8	8.0	0.000
727	Isover Vario XtraSafe	Foils and waterp...	SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG	400.0	1000.0	0.230/---	7000...	6.5	20.0	0.000
725	Proclima Intello	Foils and waterp...	MOLL bauökologische Produkte GmbH	700.3	1000.0	0.230/---	4687...	20.4	80.0	0.000
724	Isover Vario KM Duplex	Foils and waterp...	SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG	462.4	1000.0	0.230/---	2558...	6.5	20.0	0.000
701	Fleece	Foils and waterp...		294.7	1361.7	0.073/---	7.2	0.7	862.0	0.365
700	Bauder PPV	Foils and waterp...	Paul Bauder GmbH & Co. KG	256.1	1000.0	0.150/---	521.7	0.8	115.0	0.029
699	Bauder PPM	Foils and waterp...	Paul Bauder GmbH & Co. KG	200.1	1000.0	0.150/---	809.8	0.8	193.0	0.052
698	Bauder PES	Foils and waterp...	Paul Bauder GmbH & Co. KG	235.4	1000.0	0.150/---	473.8	8.9	940.0	3.299
614	Weimar MA	Foils and waterp...		1061.4	1800.0	0.170/---	556.8	4.7	6.5	0.000
613	Weimar LU	Foils and waterp...		1020.4	1800.0	0.170/---	553.7	4.6	9.0	0.000
612	KVS PS SB	Foils and waterp...	KVS GmbH	505.1	1170.0	0.150/---	4294.5	0.1	10.5	0.000
611	KVS ABS	Foils and waterp...	KVS GmbH	725.2	1170.0	0.150/---	1149...	1.6	10.5	0.000
610	PCH NUPET Dresden	Foils and waterp...		678.1	1850.0	0.380/---	2910.3	3.4	7.2	0.000
609	Pavatex airtight layer	Foils and waterp...	PAVATEX GmbH	381.3	1000.0	0.230/---	187.5	0.3	345.1	0.001
608	Owolen DB Multi	Foils and waterp...	OTTO WOLFF KUNSTSTOFFE	1276.0	1000.0	0.230/---	9438...	44.3	113.0	0.000
607	Grünberg PS10	Foils and waterp...		479.7	1170.0	0.150/---	2262.4	0.0	2.2	0.000
606	Grünberg PS05	Foils and waterp...		479.7	1170.0	0.150/---	6584.1	0.0	13.8	0.000
605	Grünberg PE_XT	Foils and waterp...		462.9	1850.0	0.380/---	6601.3	0.0	0.5	0.000
604	Grünberg PA610	Foils and waterp...		489.3	1300.0	0.230/---	3800.4	21.7	106.8	0.000
603	Grünberg PA6	Foils and waterp...		587.6	1300.0	0.230/---	5313.2	14.0	113.9	0.000
454	Truck Tarpaulin PVC white	Foils and waterp...	Lorenz Beplan	1267.9	1000.0	0.230/---	3061...	2.2	86.7	0.000
453	LighttexHP 6320 PrR	Foils and waterp...		945.5	1000.0	0.230/---	1022.6	1.7	207.5	0.000
452	Light Tex Acryl	Foils and waterp...		965.8	1000.0	0.230/---	2839.6	2.8	34.1	0.000
449	Gore Tenara GT	Foils and waterp...	Gore	2076.1	1000.0	0.230/---	2908...	0.8	2.0	0.000
448	DuPont Tyvek DPT	Foils and waterp...	DuPont	463.0	1000.0	0.230/---	519.3	0.5	50.1	0.000
444	Climajet	Foils and waterp...	ALUJET GmbH	1241.8	1000.0	0.230/---	8749...	51.0	110.0	0.000
262	Vulcanized Rubber	Foils and waterp...		1350.0	1100.0	0.230/---	900.0	0.0	0.0	0.000
261	Vulcanized Rubber - Expanded	Foils and waterp...		100.0	1100.0	0.040/---	675.0	0.0	0.0	0.000
258	Vapour Retarder (open)	Foils and waterp...		1000.0	1400.0	0.150/---	1533.0	0.7	9.0	0.000
211	Roofing membrane	Foils and waterp...		1000.0	1400.0	0.200/---	222.0	0.7	9.0	0.000
200	PVC Foil	Foils and waterp...		1500.0	1500.0	0.230/---	5500.0	0.0	0.0	0.000
185	Polypropen	Foils and waterp...		900.0	1500.0	0.200/---	9000.0	0.0	0.0	0.000
184	Polymethyl Acrylate	Foils and waterp...		1200.0	1500.0	0.200/---	9000.0	0.0	0.0	0.000
174	PE-Foil	Foils and waterp...		1500.0	2100.0	0.230/---	1000...	0.0	0.0	0.000
155	Linoleum	Foils and waterp...		1200.0	1500.0	0.170/---	1800.0	0.0	0.0	0.000
28	Bitumen	Foils and waterp...		1200.0	2000.0	0.145/---	1500...	0.0	2.5	0.000
26	Bitumen Roof Sheeting	Foils and waterp...		1720.0	900.0	0.450/---	3500...	0.0	0.0	0.000
25	Bitumen Roof Sheeting	Foils and waterp...		1650.0	900.0	0.410/---	4000...	0.0	0.0	0.000
24	Asphalt	Foils and waterp...		2000.0	900.0	0.701/---	1000...	0.8	2.0	0.002
19	Aluminium Foil	Foils and waterp...		2800.0	897.0	235.000/---	1000...	0.0	0.0	0.000

Diversos

ID	Name	Category	Producer	Rho [kg/m3]	cp [J/kgK]	Lambda [W/mK]	μ [---]	W80 [kg/m3]	WSat [kg/m3]	Aw [kg/m2s05]
817	water with 50% glykogen	Miscellaneous		1077.0	3259.1	0.420/---				
816	water with 40% glykogen	Miscellaneous		1062.1	3481.2	0.442/---				
815	water with 30% glykogen	Miscellaneous		1048.2	3706.2	0.468/---				
814	water with 20% glykogen	Miscellaneous		1032.1	3904.6	0.500/---				
813	pure water	Miscellaneous		999.8	4219.0	0.569/---				
790	Silicone paste TCSC-3300	Miscellaneous	EURECA Messtechnik GmbH	3500.0	1000.0	3.300/---				
789	Silicone mass TCSCA-0770	Miscellaneous	EURECA Messtechnik GmbH	2140.0	1000.0	0.770/---				
788	Silicone glue TCSCA-1530	Miscellaneous	EURECA Messtechnik GmbH	2590.0	1000.0	1.530/---				
787	Silicone gel TCSCG-1500	Miscellaneous	EURECA Messtechnik GmbH	2770.0	1000.0	1.500/---				
786	Polyvinyl chloride (PVC)	Miscellaneous	DIN EN ISO 10456:2010-05	900.0	1000.0	0.170/---				
785	Polytetrafluoroethylene (PTFE)	Miscellaneous	DIN EN ISO 10456:2010-05	2200.0	1000.0	0.250/---				
784	Gold	Miscellaneous		19302.0	128.0	320.000/---				
783	Stainless Steel DIN 1.4841 AISI 314	Miscellaneous	STAHLMARKT ENGELMANN GMBH	7900.0	500.0	15.000/---				
782	Stainless Steel DIN 1.4435 AISI 316L	Miscellaneous	STAHLMARKT ENGELMANN GMBH	7980.0	500.0	15.000/---				
781	Stainless Steel DIN 1.4404 AISI 316...	Miscellaneous	STAHLMARKT ENGELMANN GMBH	7980.0	500.0	15.000/---				
780	Stainless Steel DIN 1.4401 AISI 316 ...	Miscellaneous	STAHLMARKT ENGELMANN GMBH	8000.0	500.0	15.000/---				
779	Stainless Steel DIN 1.4307 AISI 304L	Miscellaneous	STAHLMARKT ENGELMANN GMBH	7900.0	500.0	15.000/---				
778	Stainless Steel DIN 1.4016 AISI 430	Miscellaneous	STAHLMARKT ENGELMANN GMBH	7700.0	460.0	25.000/---				
777	Copper CuZn40Pb2	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8440.0	377.0	123.000/---				
776	Copper CuZn39Pb3	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8470.0	377.0	123.000/---				
775	Copper CuZn39Pb2	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8450.0	377.0	117.000/---				
774	Copper CuZn39Pb1Al-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8460.0	380.0	84.000/---				
773	Copper CuZn38Pb2	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8440.0	377.0	110.000/---				
772	Copper CuZn37Mn3Al2PbSi	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8120.0	377.0	63.000/---				
771	Copper CuZn37	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8440.0	377.0	120.000/---				
770	Copper CuZn36Pb2As	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8450.0	377.0	110.000/---				
769	Copper CuZn36	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8450.0	377.0	120.000/---				
768	Copper CuZn35Pb1	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8470.0	377.0	113.000/---				
767	Copper CuZn31Si1	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8410.0	394.0	71.000/---				
766	Copper CuZn30	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8550.0	377.0	121.000/---				
765	Copper CuZn5	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8860.0	377.0	234.000/---				
764	Copper CuSn0.5	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8920.0	386.0	250.000/---				
763	Copper CuSP	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8900.0	385.0	374.000/---				
762	Copper CuSn12Ni2-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8710.0	376.0	50.000/---				
761	Copper CuSn12-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8720.0	376.0	55.000/---				
760	Copper CuSn11Pb2-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8750.0	376.0	51.000/---				
759	Copper CuSn10-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8740.0	380.0	59.000/---				
758	Copper CuSn8	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8790.0	377.0	67.000/---				
757	Copper CuSn7Zn4Pb7-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8830.0	380.0	64.000/---				
756	Copper CuSn7Zn2Pb3-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8730.0	380.0	69.000/---				
755	Copper CuSn6	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8820.0	377.0	75.000/---				
754	Copper CuSn5Zn5Pb5-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8740.0	380.0	72.000/---				
753	Copper CuSn5Pb1	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8860.0	380.0	80.000/---				
752	Copper CuSn4Pb4Zn4	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8890.0	380.0	87.000/---				
751	Copper CuSn4	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8850.0	377.0	90.000/---				
750	Copper CuSn3Zn9	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8750.0	380.0	120.000/---				
749	Copper CuSn3Zn8Pb5-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8740.0	385.0	71.000/---				
748	Copper CuSn0.15	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8930.0	385.0	330.000/---				
747	Kupfer Cu-OFE	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8940.0	390.0	393.000/---				
746	Copper CuNi10Fe1Mn	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8900.0	380.0	50.200/---				
745	Kupfer CuNi9Sn2	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8890.0	370.0	48.000/---				
744	Copper CuNi1Si	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8900.0	377.0	200.000/---				
743	Copper CuNi1P	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8920.0	385.0	251.000/---				
742	Copper Cu-HCP	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8940.0	385.0	385.000/---				
741	Copper CuFe2P	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8780.0	380.0	262.000/---				
740	Copper Cu-ETP	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8930.0	386.0	385.000/---				
739	Copper Cu-DHP	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8940.0	386.0	305.000/---				
738	Copper CuCr1Z	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8910.0	370.0	170.000/---				
737	Copper CuAl10Fe5Ni5-C	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	7600.0	420.0	51.000/---				
736	Copper CuAg0 10P	Miscellaneous	Deutsches Kupferinstitut	8930.0	385.0	385.000/---				
728	Stainless Steel DIN 1.4301 AISI 304	Miscellaneous		7900.0	500.0	15.000/---	2000...	0.0	0.0	0.000
280	Zinc	Miscellaneous		7200.0	390.0	110.000/---	2000...	0.0	0.0	0.000
238	Steel	Miscellaneous		7800.0	470.0	47.000/---	2000...	0.0	0.0	0.000
201	Quartz Glass	Miscellaneous		2600.0	703.0	1.400/---	2000...	0.0	0.0	0.000
181	Plump	Miscellaneous		12250.0	129.0	35.000/---	2000...	0.0	0.0	0.000
72	Glass	Miscellaneous		2400.0	1000.0	0.800/---	2000...	0.0	0.0	0.000
60	Copper	Miscellaneous		9000.0	385.0	370.000/---	2000...	0.0	0.0	0.000
18	Air gap 50 mm (vertical)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.278/---	0.2	0.0	1000.0	0.000
17	Air gap 40 mm (vertical)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.222/---	0.3	0.0	1000.0	0.000
16	Air gap 25mm (vertical)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.138/---	0.4	0.0	1000.0	0.000
15	Air gap 10mm (vertical)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.067/---	1.0	0.0	1000.0	0.000
14	Air gap 05mm (vertical)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.045/---	1.0	0.0	1000.0	0.000
13	Air gap 03mm (vertical)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.030/---	1.0	0.0	1000.0	0.000
12	Air gap 50 mm (horizontal)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.313/---	0.2	0.0	1000.0	0.000
11	Air gap 25 mm (horizontal)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.156/---	0.4	0.0	1000.0	0.000
10	Air gap 10 mm (horizontal)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.067/---	1.0	0.0	1000.0	0.000
9	Air gap 05 mm (horizontal)	Miscellaneous		1.3	1050.0	0.045/---	1.0	0.0	1000.0	0.000

Anexo 5

FICHEIROS DE SAÍDA DISPONÍVEIS NO DELPHIN

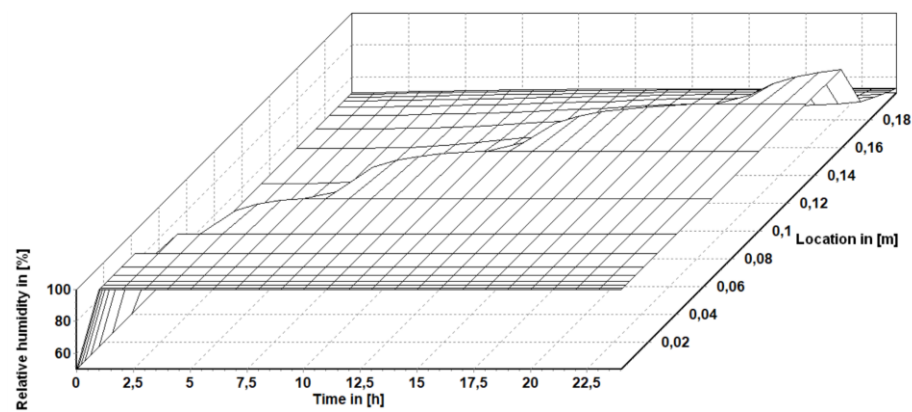
	Type	Name	Unit	Description
	State variable or related quantity	AirPermeability	s	Air permeability
	State variable or related quantity	AirPermeability_Y	s	Air permeability in simulation direction Y
	State variable or related quantity	AirPermeability_Z	s	Air permeability in simulation direction Z
	State variable or related quantity	AirVelocityMagnitude	m/s	Air velocity magnitude
	State variable or related quantity	CapillaryPressure	Pa	Capillary pressure (negative)
	State variable or related quantity	DegreeOfSaturation	%	Percentage of pore space filled with liquid and ice (without ice, same as LiquidVolumeRatio)
	State variable or related quantity	EnergyDensity	J/m3	Energy density
	State variable or related quantity	GasMassDensity	kg/m3	Mass density of gaseous phase with respect to REV
	State variable or related quantity	GasPressure	Pa	Gas pressure (total gas pressure)
	State variable or related quantity	GasPressureOffset	Pa	Gas pressure offset to atmospheric pressure
	State variable or related quantity	IceMassDensity	kg/m3	Mass density of ice with respect to REV
	State variable or related quantity	IceVolumeRatio	%	Ratio of ice phase volume to effective saturation
	State variable or related quantity	IntrinsicSolutionDensity	kg/m3	Density of salt solution with respect to liquid volume
	State variable or related quantity	IntrinsicVOCDensity	kg/m3	Intrinsic VOC density in gas phase in kg(VOCg)/m3(gas)
	State variable or related quantity	IntrinsicVaporMassDensity	kg/m3	Density of water vapor with respect to gas volume (absolute humidity)
	State variable or related quantity	KirchhoffPotentialLiquidFlux	-	Kirchhoff potential, integral of liquid water conductivity over liquid pressure
	State variable or related quantity	KirchhoffPotentialLiquidFlux_Y	-	Kirchhoff potential, integral of liquid water conductivity over liquid pressure in simulation direction Y
	State variable or related quantity	KirchhoffPotentialLiquidFlux_Z	-	Kirchhoff potential, integral of liquid water conductivity over liquid pressure in simulation direction Z
	State variable or related quantity	LiquidContent	m3/m3	Volume fraction of liquid phase with respect to REV
	State variable or related quantity	LiquidMassDensity	kg/m3	Mass density of liquid water with respect to REV
	State variable or related quantity	LiquidPermeability	s	Liquid water permeability
	State variable or related quantity	LiquidPermeability_Y	s	Liquid water permeability in material direction Y
	State variable or related quantity	LiquidPermeability_Z	s	Liquid water permeability in simulation direction Z
	State variable or related quantity	LiquidPressure	Pa	Liquid pressure
	State variable or related quantity	LiquidVolumeRatio	%	Ratio of liquid phase volume to effective saturation
	State variable or related quantity	MoistureMassByMass	kg/kg	Total mass of moisture per mass of REV
	State variable or related quantity	MoistureMassDensity	kg/m3	Total mass density of liquid water, water vapor and ice
	State variable or related quantity	Molality	mol/kg	Molality of dissolved salt species
	State variable or related quantity	OverhygroscopicWaterMassDensity	kg/m3	Mass density of overhygroscopic liquid water (condensate) with respect to REV
	State variable or related quantity	PartialPressureVOC	Pa	VOC partial pressure
	State variable or related quantity	RelativeHumidity	%	Relative humidity
	State variable or related quantity	SaltDiffusionCoefficient	m2/s	Diffusion coefficient of salt in porous material related to molality gradient
	State variable or related quantity	SolutionMassDensity	kg/m3	Mass density of salt solution with respect to REV
	State variable or related quantity	Temperature	C	Temperature
	State variable or related quantity	ThermalConductivity	W/mK	Thermal conductivity
	State variable or related quantity	ThermalConductivity_Y	W/mK	Thermal conductivity in simulation direction Y
	State variable or related quantity	ThermalConductivity_Z	W/mK	Thermal conductivity in simulation direction Z
	State variable or related quantity	TotalLiquidPressurePotential	Pa	Liquid pressure potential including gravity
	State variable or related quantity	VOCMassDensityAdsorbed	kg/m3	Solid phase VOC mass density
	State variable or related quantity	VOCMassDensityGas	kg/m3	Gas phase VOC mass density
	State variable or related quantity	VOCPermeability	s	VOC/pollutant permeability in gas phase
	State variable or related quantity	VaporMassDensity	kg/m3	Mass density of water vapor with respect to REV
	State variable or related quantity	VaporPermeability	s	Water vapor permeability
	State variable or related quantity	VaporPermeability_Y	s	Water vapor permeability in simulation direction Y
	State variable or related quantity	VaporPermeability_Z	s	Water vapor permeability in simulation direction Z
	State variable or related quantity	VaporPressure	Pa	Vapor pressure
	State variable or related quantity	WaterActivity	-	Activity of liquid water
	Flux between elements	FluxAirConvection	kg/m2s	Dry air convection mass flux
	Flux between elements	FluxEnthalpyAirConvection	W/m2	Enthalpy flux for dry air convection
	Flux between elements	FluxEnthalpyLiquidConvection	W/m2	Enthalpy flux for liquid water convection
	Flux between elements	FluxEnthalpySaltConvection	W/m2	Enthalpy flux for salt convection
	Flux between elements	FluxEnthalpySaltDiffusion	W/m2	Enthalpy flux for salt diffusion
	Flux between elements	FluxEnthalpyVaporConvection	W/m2	Enthalpy flux for water vapor convection
	Flux between elements	FluxEnthalpyVaporDiffusion	W/m2	Enthalpy flux for water vapor diffusion
	Flux between elements	FluxHeatConduction	W/m2	Heat conduction flux
	Flux between elements	FluxLiquidConvection	kg/m2s	Liquid water convection mass flux
	Flux between elements	FluxSaltConvection	kg/m2s	Salt convection mass flux
	Flux between elements	FluxSaltDiffusion	kg/m2s	Salt diffusion mass flux
	Flux between elements	FluxVOCConvection	kg/m2s	VOC convection mass flux
	Flux between elements	FluxVOCDiffusion	kg/m2s	VOC diffusion mass flux
	Flux between elements	FluxVaporConvection	kg/m2s	Water vapor convection mass flux
	Flux between elements	FluxVaporDiffusion	kg/m2s	Water vapor diffusion mass flux
	Flux between elements	TotalFluxHeat	W/m2	Summation flux for energy balance equation
	Flux between elements	TotalFluxMoisture	kg/m2s	Summation flux for moisture balance equation
	Boundary flux	FluxEnthalpyRain	W/m2	Rain flux enthalpy
	Boundary flux	FluxLongWaveRadiation	W/m2	Long Wave Radiation
	Boundary flux	FluxRain	kg/m2s	Rain flux absorbed from surface
	Boundary flux	FluxRainNormal	kg/m2s	Rain flux normal to the surface
	Boundary flux	FluxRainRunoffCooling	W/m2	Heat flux due to cooling by runoff
	Boundary flux	FluxShortWaveRadiationDiffuse	W/m2	Diffuse Short Wave Radiation
	Boundary flux	FluxShortWaveRadiationDirect	W/m2	Direct Short Wave Radiation
	Boundary flux	FluxShortWaveRadiationGlobal	W/m2	Global Short Wave Radiation
	Element-based source/sink	LongWaveRadiationLoad	W/m3	Source: Thermal load from longwave radiation exchange
	Element-based source/sink	MoistureEnthalpyAirChange	W/m3	Source: Enthalpy associated with moisture load from air change
	Element-based source/sink	MoistureEnthalpyWTAConvection	W/m3	Source: Enthalpy associated with moisture load from WTA convective source
	Element-based source/sink	MoistureLoad	kg/m3s	Source: Moisture load/Liquid water gain
	Element-based source/sink	MoistureLoadAirChange	kg/m3s	Source: Moisture load (vapor) from air change
	Element-based source/sink	MoistureLoadEnthalpy	W/m3	Source: Enthalpy associated with moisture load/Liquid water gain
	Element-based source/sink	MoistureLoadWTAConvection	kg/m3s	Source: Moisture load from WTA convective source
	Element-based source/sink	SaltProductionRateBoundWater	kg/m3s	Source: Mass production rate of bound water from dissolved salt
	Element-based source/sink	SaltProductionRateEnthalpy	W/m3	Source: Enthalpy associated with isothermal dissolution/crystallization of salt

Element-based source/sink	ThermalLoad	W/m3	Source: Thermal load/Heat gain
Element-based source/sink	ThermalLoadAirChange	W/m3	Source: Thermal load from air change
Element-based source/sink	ThermalLoadMediaFlow	W/m3	Source: Thermal load/Heat gain due to impressed media flow
Element-based source/sink	VOCAdsorptionRate	kg/m3s	Source: Mass production rate of solid phase VOC from condensation out of gas phase
Element-based source/sink	VOCDesorptionRate	kg/m3s	Source: Mass production rate of gas phase VOC from emission of solid phase
Element-based source/sink	VOCLoadAirChange	kg/m3s	Source: VOC mass concentration gain due to air change

Anexo 6

EXEMPLOS DE DADOS DE SAÍDA DO DELPHIN

Surface Chart



Contour Chart

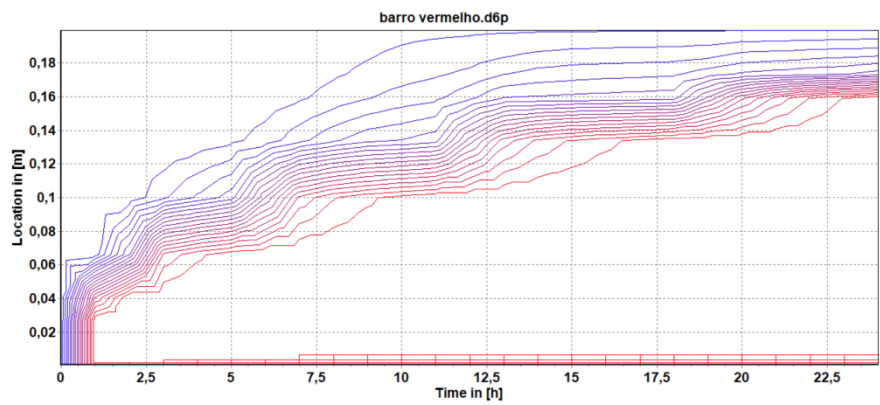
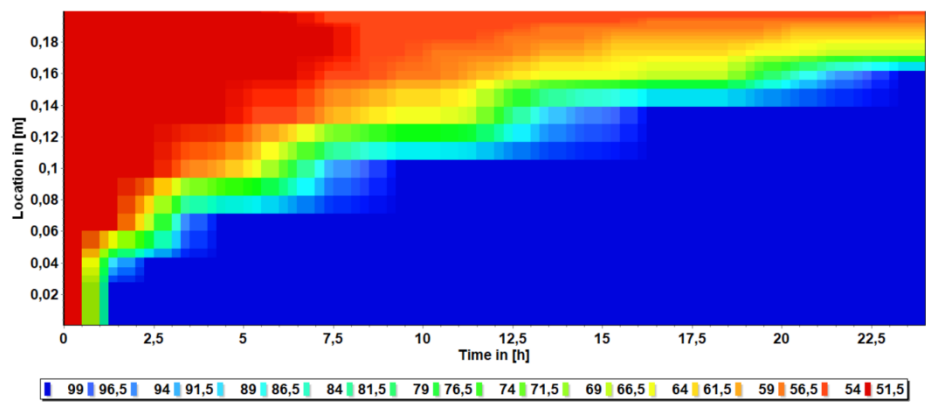
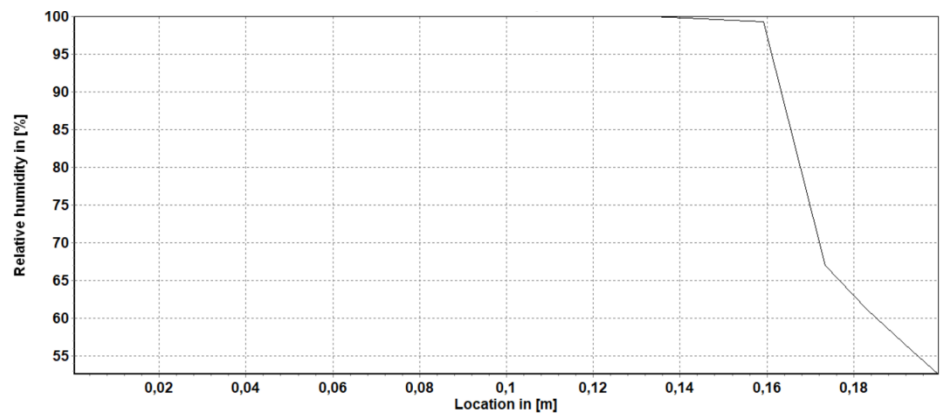


Image Chart



Profile Chart

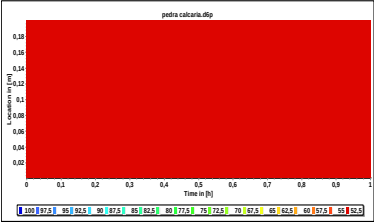


Anexo 7

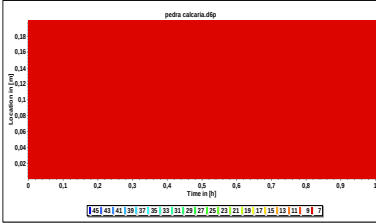
“IMAGE CHARTS”, “PROFILE CHARTS” E “CONTOUR CHARTS” FORNECIDOS PELO DELPHIN PARA OS MATERIAIS
EM ESTUDO

Pedra calcária – Image Charts

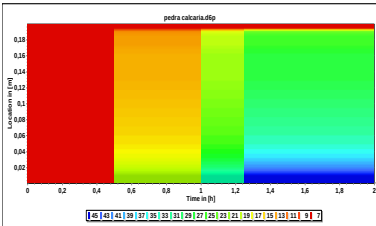
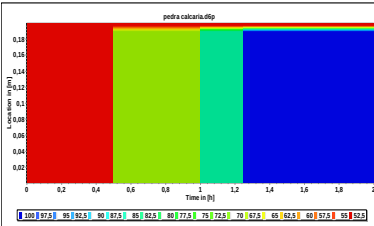
Humidade Relativa



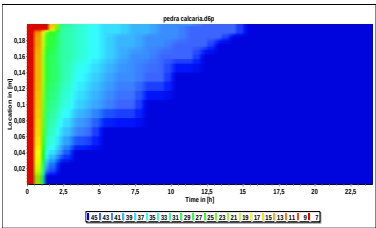
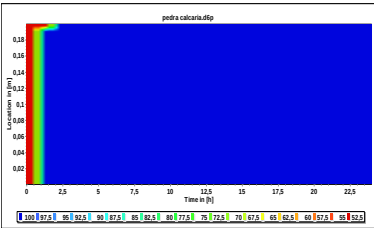
Teor de Humidade



1 hora



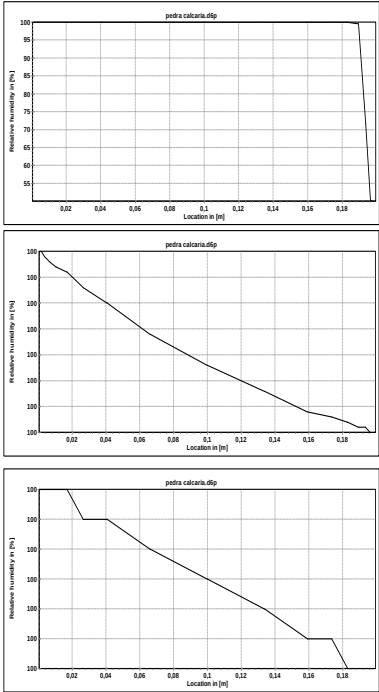
2 horas



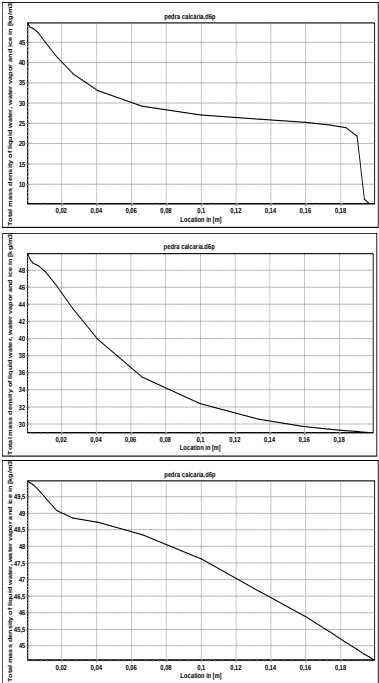
1 dia

Pedra calcária – Profile Charts

Humidade Relativa



Teor de Humidade



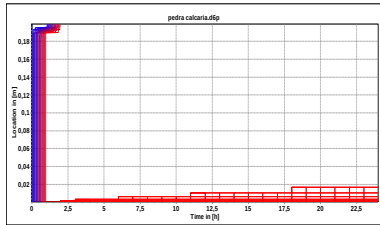
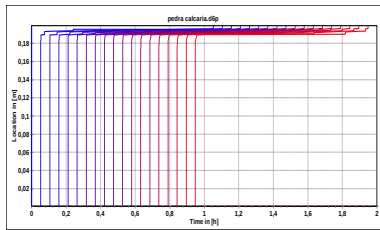
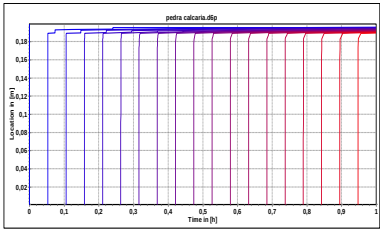
1 hora

2 horas

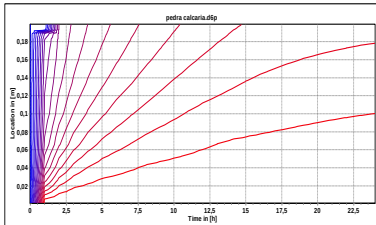
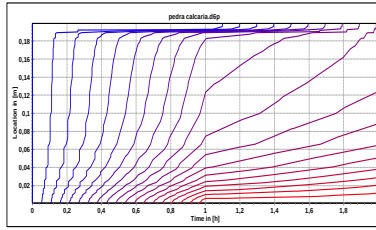
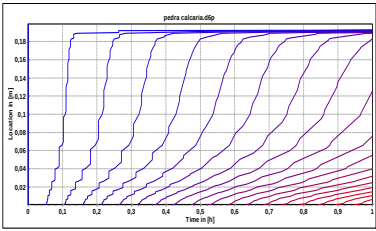
1 dia

Pedra calcária – Contour Charts

Humidade Relativa



Teor de Humidade



1 hora

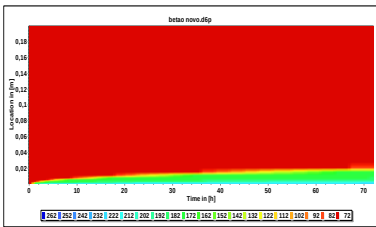
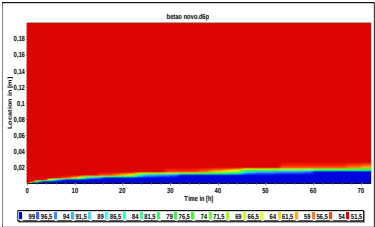
2 horas

1 dia

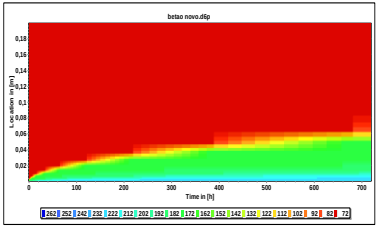
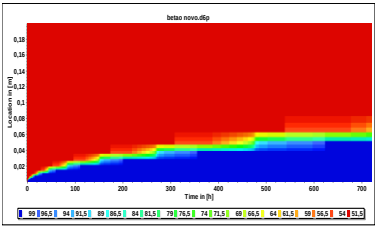
Betão – Image Charts

Humidade Relativa

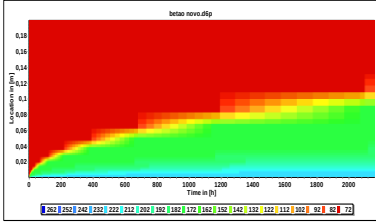
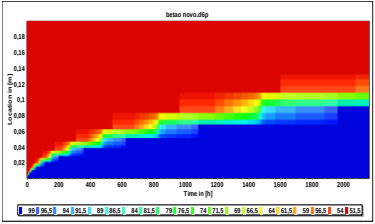
Teor de Humidade



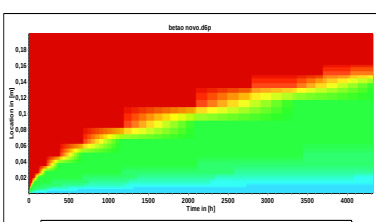
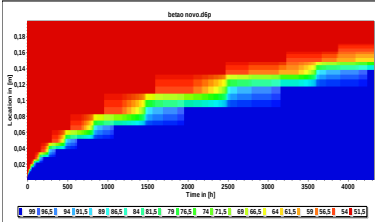
1 dia



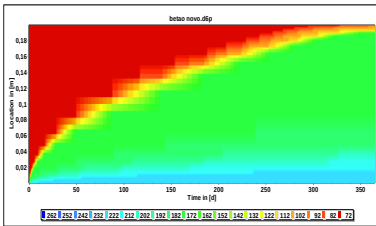
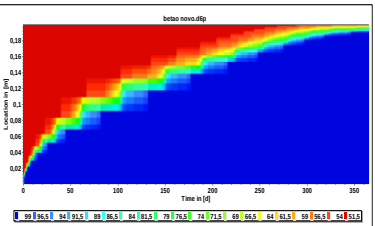
3 dias



1 mês



3 meses

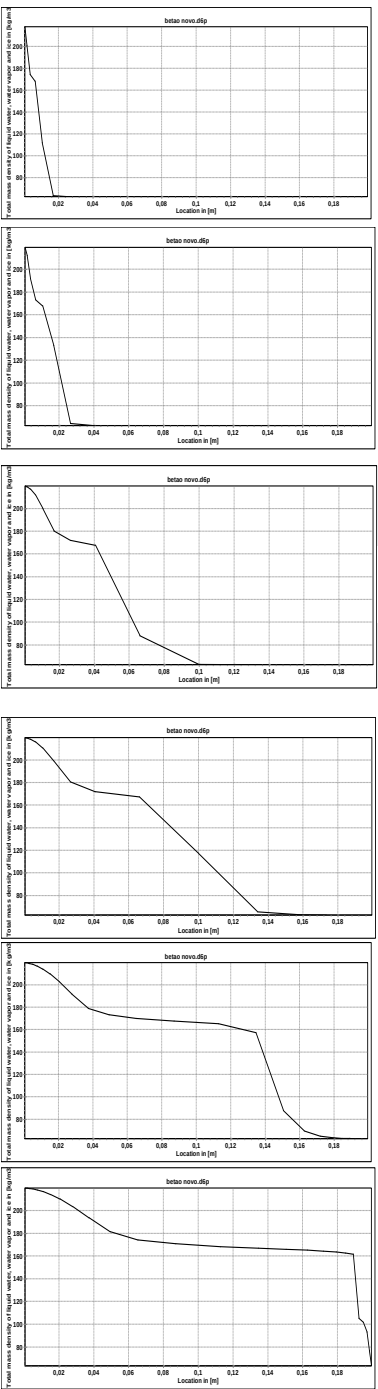
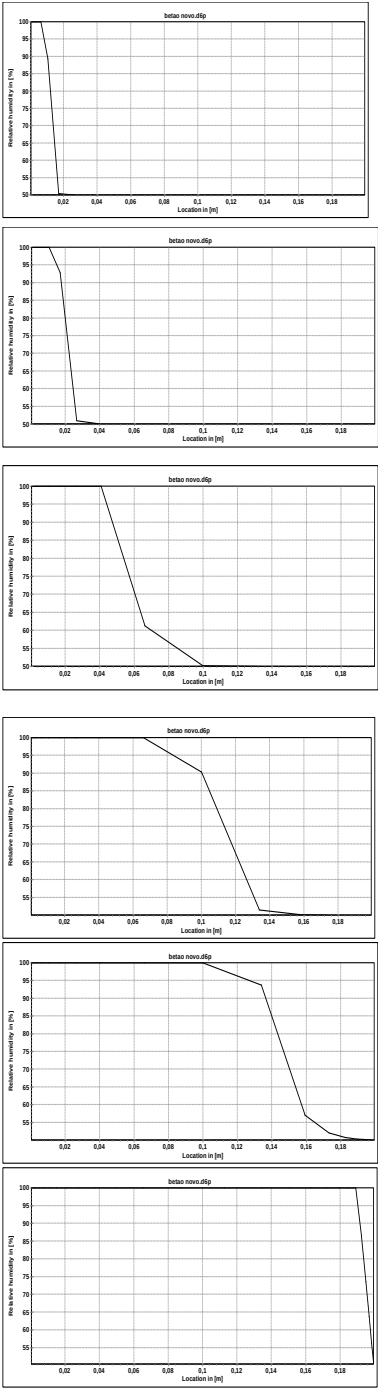


6 meses

Betão – Profile Charts

Humidade Relativa

Teor de Humidade



1 dia

3 dias

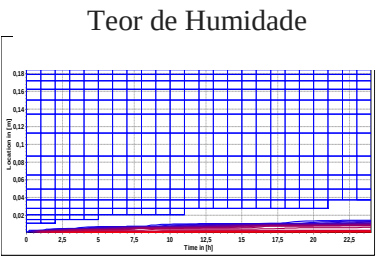
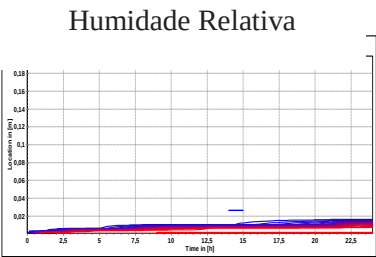
1 mês

3 meses

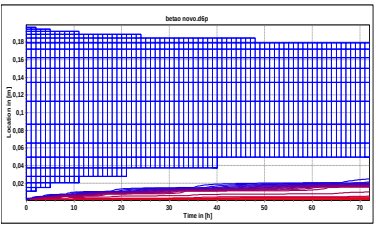
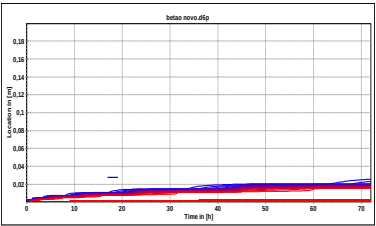
6 meses

12 meses

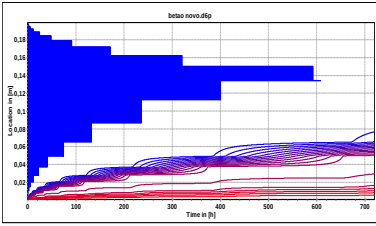
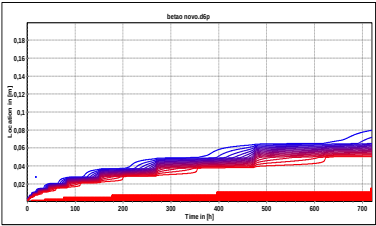
Betão – Contour Charts



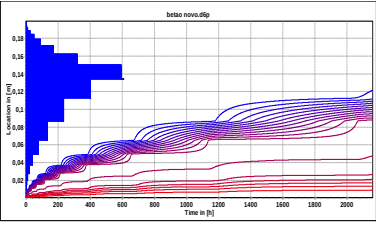
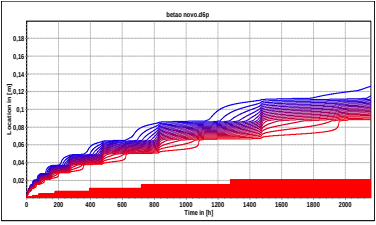
1 dia



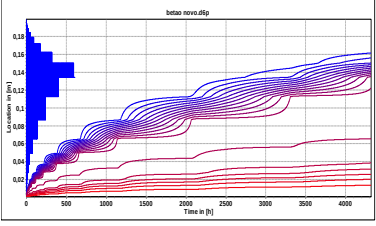
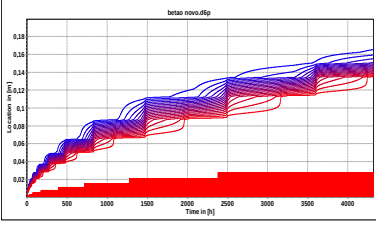
3 dias



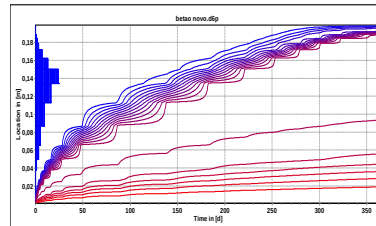
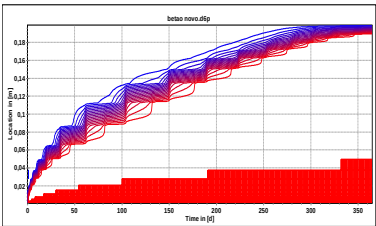
1 mês



3 meses

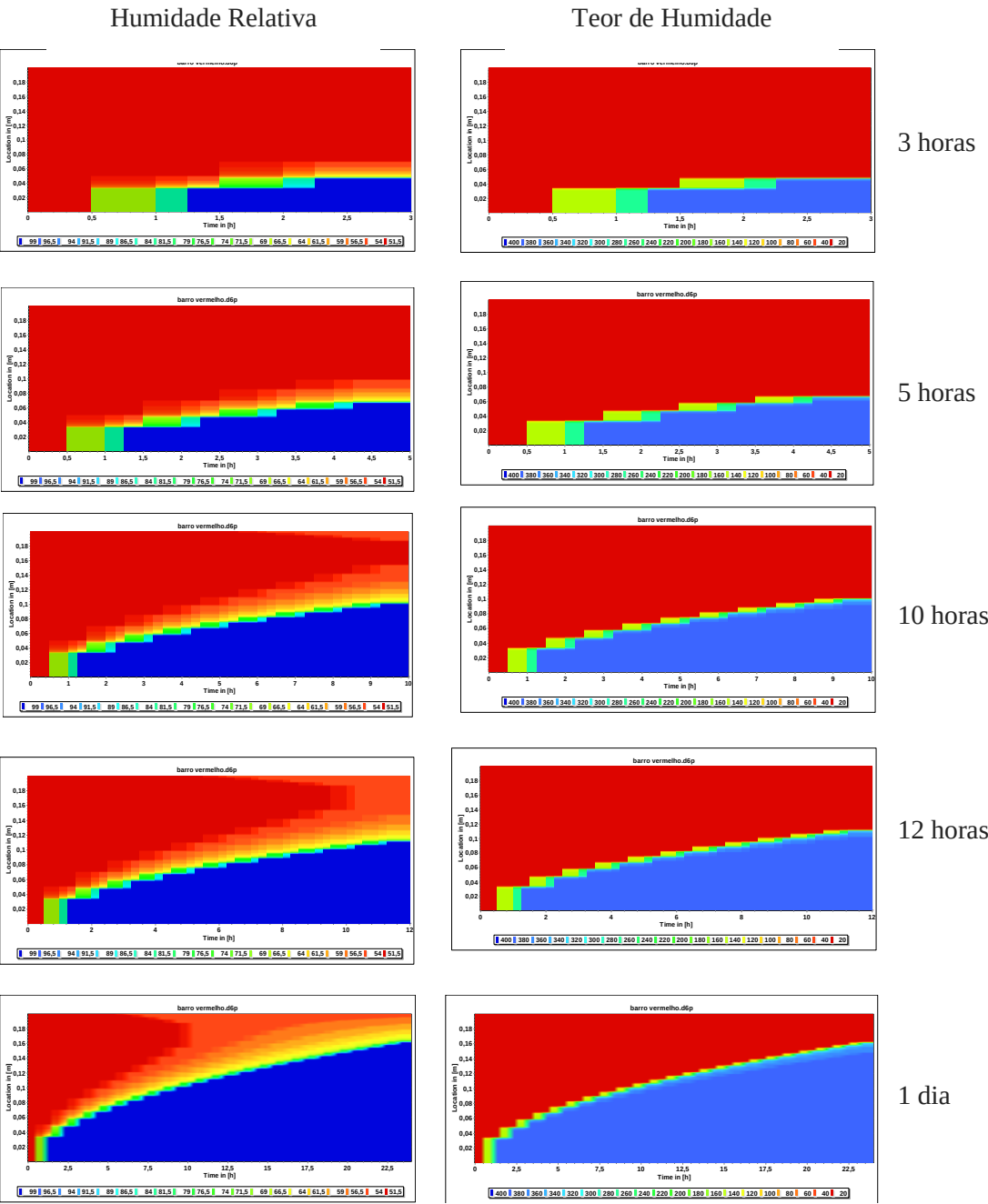


6 meses



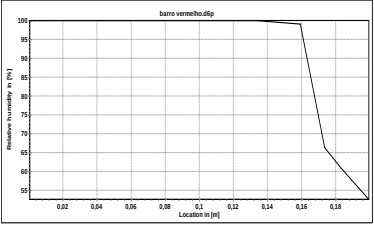
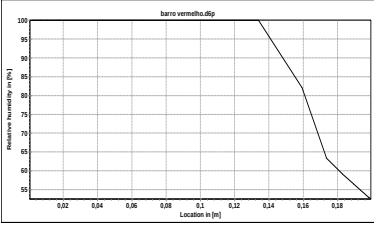
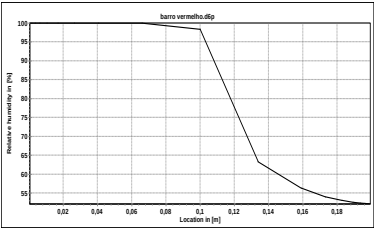
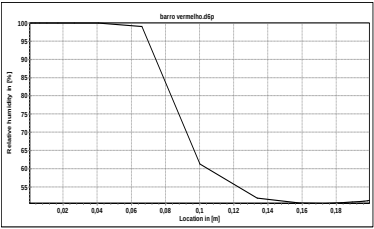
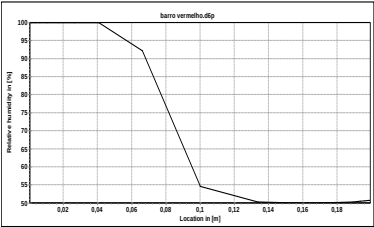
12 meses

Barro vermelho – Image Charts

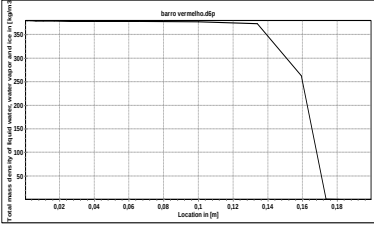
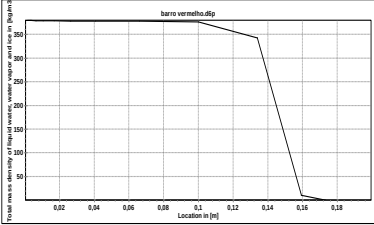
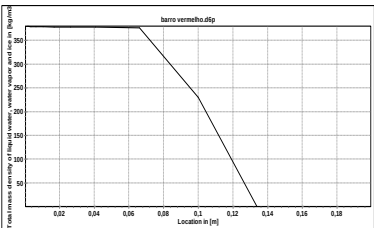
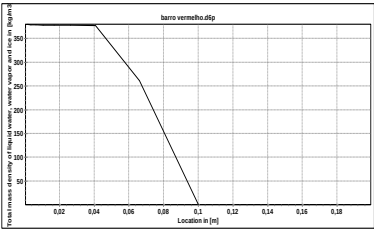
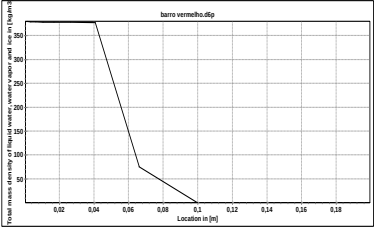


Barro vermelho . Profile Charts

Humidade Relativa



Teor de Humidade



3 horas

5 horas

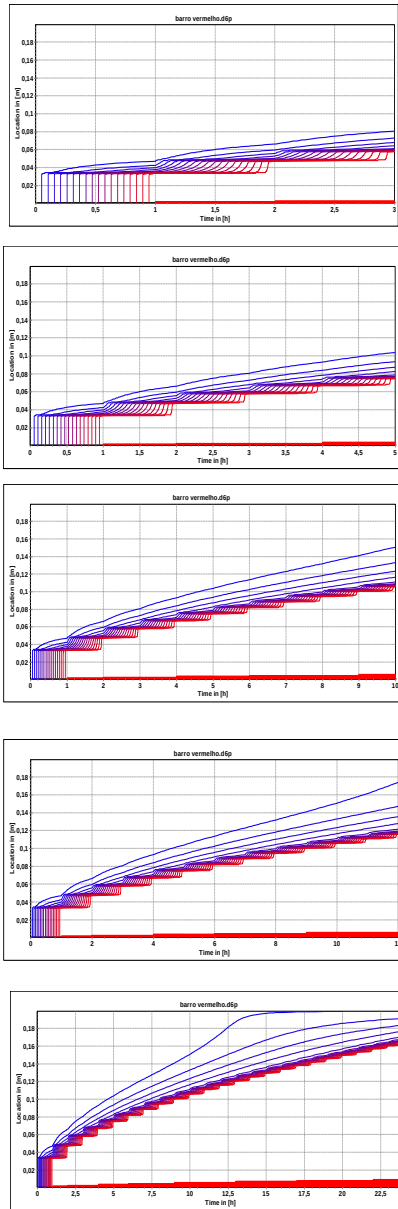
10 horas

12 horas

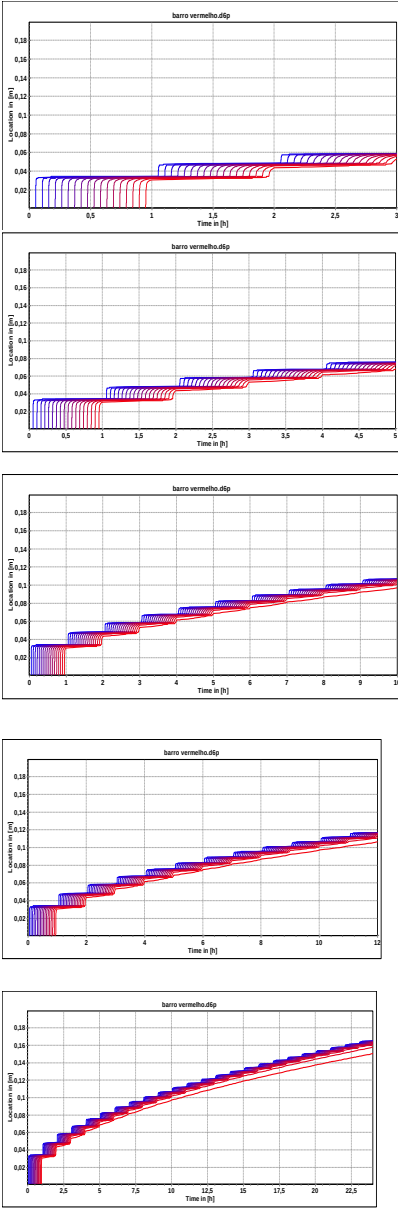
1 dia

Barro vermelho – Contour charts

Humidade Relativa



Teor de Humidade



3 horas

5 horas

10 horas

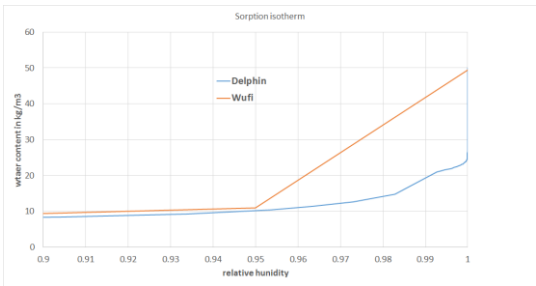
12 horas

1 dia

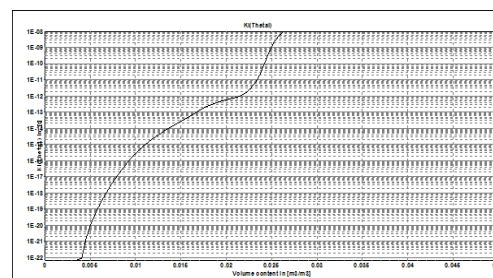
Anexo 8

DÚVIDAS E RESPOSTAS ACERCA DO PROGRAMA DELPHIN

Data	Questão	Resposta
08-03-2019	Pedido de recomendação de algumas teses de mestrado, ou mesmo teses de doutoramento de algum estudante que já tivessem utilizado o programa Delphin, preferencialmente documentos que contivessem informação como as equações iniciais, propriedades dos materiais.	Tese de Doutoramento de John Grunewald (que desenvolveu o programa Delphin) e a tese de doutoramento de Andreas Nicolai (que acabou mais tarde por trazer um grande contributo ao seu desenvolvimento).
18-03-2019	Após introduzir todos os dados necessários para simular uma experiência de absorção capilar, e após pressionar o comando “Correr Simulação”, inicialmente aparenta correr normalmente mas passado pouco tempo aparece a mensagem “Press any key to continue”. Após pressionar qualquer tecla, a caixa de diálogo desaparece. A dúvida seria se o sistema do computador era apropriado ou se eventualmente se estaria a fazer algo errado. Foi enviado o ficheiro em questão do programa.	Tudo parece estar bem visto que a simulação correu. A mensagem que aparece no fim da simulação é expectável.
25-03-2019	Pedido de ajuda acerca da forma de simulação de um ensaio de absorção. Explicação do que tinha sido no programa WUFI (utilização de um ficheiro de chuva que assegurasse água líquida permanente na superfície exterior). Apresentação dos resultados que seriam expectáveis. Pedido de conselho sobre que ficheiro de clima se deveria utilizar no Delphin com as mesmas condições, ou seja, qual o ficheiro no Delphin que simula um ensaio de absorção.	Existe uma condição fronteira especial chamada “Water Contact” que tem de ser criada na opção “Boundary Condition”. Adição em anexo de um manual com informação mais detalhada acerca da criação deste ficheiro e das suas especificidades.

25-03-2019	Dúvida em como criar um novo material no programa Delphin, sendo o utilizador a atribuir propriedades e características iguais a um material já existente. Apenas se sabe escolher um material da base de dados do material.	Para se criar um novo material teria de se saber algumas características que não são muito fáceis de determinar, como a função de armazenamento de humidade, a condutividade do vapor de água e a condutividade da água líquida. A melhor maneira seria importar um material já existente e alterá-lo. Para este feito teria de se utilizar a versão anterior do programa, Delphin 5. Nesta versão existe uma caixa de diálogo com a possibilidade de alterar as propriedades do material. Em seguida teria de se exportar de um programa para o outro.
27-03-2019	Após a simulação e após se carregar no comando "Post Processing" e seleccionar os gráficos desejados num determinado dado de saída, demora mesmo muito tempo a abrir, sendo que na maioria das vezes nem abre.	Os outputs utilizados são demasiado grandes, utilizando-se "timesteps" (unidades de tempo) muito pequenos para quem está a simular para 1 ano. Em vez de se usar timesteps de 1 hora, experimentar usar 1,5 dias ou 2,5 dias. Timesteps de 1 hora podem ser utilizados para dados de saída escalares como temperatura superficial ou massa total de humidade.
22-05-2019	Comparação dos gráficos de teor de humidade nos programas WUFI e Delphin para um material existente na base de dados do Delphin, a pedra calcária e constatação que a progressão da frente húmida no Delphin é demasiado vertical e parece não redistribuir a água.	
23-05-2019	O programa WUFI não utiliza a curva de retenção de humidade mas sim outras propriedades chamadas coeficiente de transporte líquido para sucção, D_{ws} (m^2/s) e o coeficiente de transporte líquido para redistribuição, D_{ww} (m^2/s). Contudo, apesar do Delphin não utilizar estas propriedades, é possível fazer uma aproximação através do conhecimento do coeficiente de absorção	A principal diferença dos programas encontra-se na função de armazenamento de humidade, tal como se mostra na figura. Pode ver-se uma grande diferença especialmente na zona onde há um crescimento exponencial e esta diferença influencia a forma dos perfis de teor de humidade. Caso se tenha calculado a absorção de água pelo A_w do Delphin é necessário destacar que por vezes este valor está errado em alguns materiais por que o Delphin não utiliza esta propriedade para o cálculo.

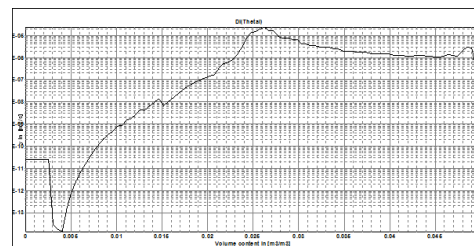
O que foi dito foi que a forma de função de condutividade líquida (e função de armazenamento de humidade) no arquivo do material determina a forma do perfil de humidade resultante. Como se pode ver na figura seguinte, há um crescimento muito rápido na condutividade líquida por volta dos 2,3% vol. Isto influencia o perfil.



Anteriormente, foi dito que os perfis que foram obtidos no Delphin eram o resultado da função de condutividade líquida. Desta forma, se se pretendesse obter os perfis de humidade ao longo da espessura do material, qual deveria ser o ficheiro de saída que deveria seleccionar.

03-06-2019

Em seguida foi criada uma função de difusividade líquida a partir dessa função, usando o armazenamento de humidade e obtendo a função que se pode ver no gráfico a seguir.



Aqui pode ver-se o máximo de transporte líquido em 2,5% vol. Isso é que cria os perfis estranhos e talvez esteja errado.

Calibramos as nossas funções de transporte, usando absorção de água e secagem de água. Não se sabe se esta experiência fornece muita informação nesta área. Irá debruçar-se sobre os resultados experimentais deste material.

Irá apropriar-se da informação que foi dada dos perfis enviados para melhorar as funções dos materiais.

