

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
Escola de Engenharia Mauá

ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VITOR CONTE

VINICIUS CHEN BEILI

ANÁLISE DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE PAREDES DE CONCRETO
LEVE

SÃO CAETANO DO SUL

2019

JOÃO VITOR CONTE

VINICIUS CHEN BEILI

**ANÁLISE DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE PAREDES DE CONCRETO
LEVE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dra. Cássia Silveira de Assis

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA CIVIL

SÃO CAETANO DO SUL

2019

AGRADECIMENTOS

Agradecemos amplamente a todos que de forma direta ou indireta nos auxiliaram para que fosse realizado na elaboração desse trabalho.

Aos nossos pais e familiares pelo amor, incentivo, compreensão e apoio incondicional.

Aos nossos professores que nos ajudaram em nossa formação profissional, especialmente à nossa orientadora Prof. Dra. Cássia Silveira de Assis.

Ao Eng. Jefferson Estefano de Oliveira da SMC Engenha e Consultoria Ltda., que nos ajudou ao longo da realização deste trabalho.

RESUMO

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foi criado pelo Governo Federal no ano de 2009, com financiamento da Caixa. Na época o programa tinha o intuito de diminuir o déficit habitacional do país, para isso precisava de um sistema construtivo que apresentasse vantagens em termos de prazo, custos e qualidades. E o sistema de paredes de concreto leve foi adotado no PMCMV pela sua velocidade de execução e otimização de obra. Porém na avaliação ocupacional após alguns anos, em certas regiões, as paredes começaram a apresentar umidade devido à condensação, e isso pode gerar problemas de saúde para os moradores por conta do bolor. Isso ocorre porque o concreto convencional, por ser um material denso tem uma alta condutibilidade térmica e assim transmite facilmente a energia térmica entre o ambiente externo e interno. Neste trabalho propõe-se a análise do desempenho higrotérmico para uma possível solução que é a parede de concreto com ar incorporado. O uso deste aditivo facilita a incorporação de micropartículas de ar, distribuídas uniformemente pelo concreto, tornando-o um material mais isolante que o concreto convencional, ou seja, diminuindo a condutibilidade térmica do material. Para a análise foi adotado o modelo de residência que se enquadra na Faixa 1 do PMCMV e, utilizando a metodologia de cálculo da norma ISO 13788, através do software CYPETHERM HYGRO, e foram consideradas as particularidades das atuais 8 zonas bioclimáticas brasileiras. Os resultados demonstraram que os métodos de avaliação, tanto da ISO 13788:2012 como o proposto pela Diretriz SiNAT 001 (2017a) são incomparáveis porém adaptáveis à avaliação de ocorrências de condensação e que a simulação já permite algumas observações de elementos de grande influência no processo como os já previsto efeitos da ventilação e da absorção solar das fachadas.

PALAVRAS-CHAVE: Condensação, umidade, EN ISO 13788, difusão de vapor e incorporador de ar.

ABSTRACT

The Minha Casa Minha Vida Program (PMCMV) was created by the Federal Government in 2009, with funding from Caixa. At the time, the program aimed to reduce the country's housing deficit, so it needed a building system that had advantages in terms of time, costs and qualities. And the lightweight concrete wall system was adopted at PMCMV for its speed of execution and job optimization. However in the occupational assessment after a few years, in certain regions, the walls began to show moisture due to condensation, and this can cause health problems for residents due to mold. This is because conventional concrete, being a dense material has a high thermal conductivity and thus easily transmits thermal energy between the external and internal environment. This work proposes the analysis of the hygrothermal performance for a possible solution that is the concrete wall with incorporated air. The use of this additive facilitates the incorporation of evenly distributed air microparticles into the concrete, making it a more insulating material than conventional concrete, ie, reducing the thermal conductivity of the material. For the analysis, the PMCMV Range 1 residence model was adopted and, using the methodology of calculation of ISO 13788 standard, using the CYPETHERM HYGRO software, and the particularities of the current 8 Brazilian bioclimatic zones were considered. The results showed that the evaluation methods of both ISO 13788: 2012 and the one proposed by SiNAT Directive 001 (2017a) are incomparable but adaptable to the evaluation of condensation occurrences and that the simulation already allows some observations of elements of great influence in the process. as already anticipated effects of ventilation and solar absorption of the facades.

KEY-WORDS: *Condensation, humidity, EN ISO 13788, vapor diffusion and air incorporator.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta Bioclimática de Givoni	20
Figura 2 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro	21
Figura 3 - Casas de parede de concreto	24
Figura 4 - Programa Minha Casa Minha Vida	25
Figura 5 - Diagrama Psicrométrico	40
Figura 6 - Funcionamento do programa	44
Figura 7 -Planta e corte da unidade habitacional padrão avaliada	48
Figura 8 - Parede de concreto leve	49
Figura 9 - Parede de alvenaria	50

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Cidades que representam o clima típico de cada zona	46
Quadro 2 - Orientação sobre a seleção da classe de umidade	51
Quadro 3 - Resistência térmica superficial interna (NBR 15220).....	52
Quadro 4 - - Resistência térmica superficial externa (NBR 15220).....	52
Quadro 5 - Relação média entre condensação no sistema cerâmico e em concreto leve pelo método da ISO13788:2012.....	54
Quadro 6 – Relação média entre condensação no sistema cerâmico e em concreto leve pelo método da DIRETRIZ SINAT 001 (2017a).....	55

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVO	13
3.	PESQUISA DE REFERÊNCIA	14
3.1	HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL (HIS)	14
3.2	PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA	14
3.3	ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS	19
3.4	PAREDES DE CONCRETO	23
3.5	ANÁLISE DE CONDENSAÇÃO	28
3.5.1	Umidade	29
3.5.2	Umidade e Saúde	30
3.5.3	Condensação	31
3.5.4	Patologias relacionadas à condensação	32
3.5.5	Patologias relacionadas à alta umidade relativa do ar	34
3.5.5.1	Proliferação de Microrganismos	34
3.5.5.2	Bolor em casas	35
3.5.5.3	Eflorescência	36
3.6	CONFORTO HIGROTÉRMICO	37
3.7	PSICROMETRIA	38
3.7.1	Umidade absoluta e Relativa do ar	38
3.7.2	Diagrama Psicrométrico	39
4.	METODOLOGIA	41
4.1	NORMA EN ISO 13788:2012	41
4.1.1	Geral	41
4.1.2	Princípio	41
4.1.3	Critério	42
4.2	PROGRAMA DE CÁLCULO – CYPETHERM	42
4.3	INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA	44
4.4	DESEMPENHO HIGROTÉRMICO NA DIRETRIZ SINAT 001	46
4.4.1	Desempenho Higrotérmico	46
4.4.2	Período de Condensação	47
4.5	PROJETO DE AVALIAÇÃO	47
4.5.1	Unidade habitacional padrão avaliada	47
4.5.2	Diretriz SiNAT 001 (2017a)	48
4.5.3	Propriedades térmicas da parede em análise	49
4.5.4	Propriedades térmicas da parede de referência	49
4.6	TEMPERATURA INTERNA MÉDIA E CLASSE DE HIGROMETRIA	50
4.7	COMPARAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS	51
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	57

APÊNDICE A – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 1	60
APÊNDICE B – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 1	67
APÊNDICE C – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2	74
APÊNDICE D– MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2	81
APÊNDICE E – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 3	88
APÊNDICE F – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 3	95
APÊNDICE G – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 4	102
APÊNDICE H – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 4	109
APÊNDICE I – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 5	116
APÊNDICE J – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 5	123
APÊNDICE K – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6	130
APÊNDICE L – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6	137
APÊNDICE M – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 7	144
APÊNDICE N – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 7	151
APÊNDICE O – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8	158
APÊNDICE P – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8	165
ANEXO A – EN ISO 13788:2012	172

1. INTRODUÇÃO

O efeito da umidade nos materiais que constituem os elementos de construção, devido à condensação de vapor de água, é uma das principais causas das patologias e consequente degradação. É por isso necessário e de grande importância, proceder ao desenvolvimento de estudos que permitam compreender melhor e mais claramente, os fenômenos de difusão de vapor. Essa é a definição da análise Higrotérmica, a consideração dos fatores de umidade junto com os fatores de temperatura.

Desta forma, será possível definir regras qualitativas e quantitativas, para a concepção e execução adequada dos elementos construtivos, face ao fenômeno das condensações internas.

Este trabalho tem como principal objetivo propor uma análise para as paredes externas, obedecendo a um conjunto de regras estabelecidas, que permita minimizar e evitar os riscos de condensações internas nos elementos construtivos dos edifícios, devido aos fenômenos de difusão de vapor.

Para proceder a análise de condensação das paredes de concreto leve armado, será utilizado a norma internacional ISO 13788:2012 como metodologia de cálculo, onde serão analisados diferentes elementos construtivos, seguindo as regras estabelecidas.

Dados recentes da Fundação Getúlio Vargas (FGV), calculados em 2015, com base na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad), do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), apontam que o Brasil tem um déficit habitacional de 7,757 milhões de moradias. Diminuir este número não é tarefa fácil e requer muito trabalho da iniciativa privada, segurança jurídica para empresários e agentes financeiros, e, principalmente, vontade política do poder público. Mais do que tecnologia construtiva para produzir em escala, e linhas de financiamento adequadas para atender empreendedores e compradores, é necessário preservar a destinação do FGTS (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço) no atendimento da necessidade habitacional de famílias de baixa renda.

Como afirma Costa (2013), para suprir as atuais demandas da construção brasileira, especificamente as do setor da construção habitacional, tem-se feito necessário utilizar de uma construção mais industrializada que contemple métodos construtivos mais eficazes, com características de produção em escala, velocidade de execução e melhor custo benefício. O sistema construtivo paredes de concreto leve armado moldadas *in loco* possui essas características e por isso tem se apresentado como solução a tais necessidades.

As paredes estruturais de concreto leve armado são obtidas a partir do concreto convencional (com adição de aditivo ar incorporado) apresentando resistência característica mínima à compressão de 15MPa.

Devido à grande extensão do território nacional, o Brasil tem seu clima mapeado, dividido em zonas bioclimáticas. Estas zonas têm relação com as características climáticas das diversas áreas do território, que não obedecem ao mapeamento político ou divisão em estados ou regiões econômicas. O mapa do zoneamento bioclimático brasileiro, feito pela ABNT, compreende 8 diferentes zonas. Estas zonas têm relação com as características climáticas das diversas áreas do território, que não obedecem ao mapeamento político ou divisão em estados ou regiões econômicas.

A partir destes estudos e do seu respectivo mapa, pode se obter o clima de cada cidade, e relacioná-lo através de tabelas que indicam as estratégias e diretrizes construtivas bioclimáticas recomendadas para cada local, onde será projetada e construída uma edificação.

2. OBJETIVO

Contribuir para a construção de um método de avaliação de desempenho higrotérmico de unidades habitacionais térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas das 8 Zonas Bioclimáticas Brasileiras analisando e discutindo o problema de condensação em parede de concreto leve.

3. PESQUISA DE REFERÊNCIA

3.1. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS)

Segundo a Caixa Econômica Federal (2009) o Programa Habitação de Interesse Social, por meio da Ação Apoio do Poder Público para Construção Habitacional para Famílias de Baixa Renda, objetiva viabilizar o acesso à moradia adequada aos segmentos populacionais de renda familiar mensal de até 3 salários mínimos em localidades urbanas e rurais.

A Secretaria do Patrimônio da União (SPU) desempenha um papel fundamental no que se refere à habitação de interesse social. Seu objetivo é identificar e disponibilizar áreas vazias ou subutilizadas da União para o desenvolvimento de projetos de provisão de moradia para a população de menor renda. O Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS e o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS, tem como um de seus princípios a utilização prioritária de terrenos públicos na implantação de projetos habitacionais de interesse social.

Com a criação do Programa Minha Casa Minha Vida em 2009, as destinações de imóveis da União, para fins de provisão habitacional, foram direcionadas prioritariamente para o fomento deste programa.

3.2. PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

O programa de habitação Minha Casa Minha Vida (PMCMV) lançado em março de 2009, pelo governo federal, tem como objetivo principal permitir às famílias brasileiras de baixa renda, o acesso à casa própria. Evidentemente, junta a estes outros objetivos de grande relevância como a geração de empregos, a ampliação do comércio e da indústria nacional, exercendo influência no crescimento do produto interno do país.

Observou-se, ao longo dos anos desde sua implantação, que o programa vem realizando esse projeto, porém observou-se também, uma relação crescente de insatisfações no que diz respeito às manifestações patológicas em grande número de obras entregues.

A definição de qualidade é muito subjetiva, pois está relacionada às necessidades íntimas de cada indivíduo, definido como grau de utilidade esperado ou adquirido de qualquer coisa, verificável através da forma e dos elementos constitutivos do mesmo e pelo resultado do seu uso. Logo a qualidade de uma obra de baixo custo como as do PMCMV, deve ser compreendida como o atendimento pleno dos requisitos de funcionalidade, estabilidade, e acabamento, dentro dos padrões estabelecidos.

O Programa Minha Casa Minha Vida, através de recursos oriundos do Ministério das Cidades, se estabelece como a solução para o problema crônico e crescente do déficit habitacional no país, especialmente destinado com forte apelo à camada mais desprovida financeiramente da população.

Em sua primeira fase, mais precisamente no período de 2009 a 2012, a meta do PMCMV era a construção de um milhão de moradias – o que, em volume populacional, representaria diretamente uma média de mais de três milhões de habitantes e incrementaria o volume de empregos e além dos investimentos no setor da Construção Civil, na ordem direta de 34 bilhões de reais, distribuídos em contratos para empreendimentos habitacionais em todas as unidades federativas (municípios, estados e Distrito Federal) (SOUZA, 2017).

Os recursos supracitados foram destinados especificamente à construção de unidades habitacionais para a população com renda familiar de 0 a 10 salários mínimos. O PMCV se caracterizava assim como projeto de uma política social de grande escala, atingindo camada significativa da população de baixa e média renda, fato inédito na história das políticas públicas no país em nada se comparando às ações anteriores a sua implantação, ainda quando da existência do extinto BNH – Banco Nacional de Habitação.

Boa parte dos subsídios disponibilizados pelo PMCMV são oriundos de recursos da União e do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço - FGTS e estão destinados diretamente à oferta e à produção por construtoras privadas e entidades sem fins lucrativos, para a produção de unidades habitacionais urbanas e rurais. Os recursos orçamentários da 1ª Fase do Programa Minha Casa, Minha Vida, no que concerne ao Fundo de Arrendamento Residencial – FAR, envolvem R\$ 16,9 bilhões. O universo de contratos desta fiscalização corresponde a R\$ 2,3 bilhões (13,6%) do total de recursos.

O PMCMV se constituía em dois grandes eixos e modalidades:

- PNHR – Programa Nacional de Habitação Rural;
- PNHU – Programa Nacional de Habitação Urbana:

- Faixa 1 (FAR ou Oferta Pública): renda familiar mensal de 0 a 3 salários mínimos;

- Faixa 2 e 3 (FGTS): renda familiar de 3 a 10 salários mínimos;

Em sua etapa, no período relacionado entre 2009 e 2012, a principal instituição financeira administradora dos recursos federais destinados ao PMCMV, era a Caixa Econômica Federal, e atendia prioritariamente a construção de empreendimentos habitacionais para municípios com população acima de 50 mil habitantes. Os demais municípios com população inferior a 50 mil habitantes, estavam condicionados ao repasse de recursos através de instituições financeiras imobiliárias de pequeno porte contratadas pelo Ministério das Cidades, através da modalidade Oferta Pública – denominada vulgarmente de SUB 50.

A Faixa 1 – denominada de interesse social, é destinada à população com renda familiar entre 0 a 3 salários mínimos estavam inseridas, dependendo da dimensão populacional dos municípios, no Fundo de Arrendamento Residencial – FAR ou na modalidade Oferta Pública e os valores das unidades habitacionais construídas deveriam girar entre 41 a 52 mil reais em municípios com mais de 50 mil habitantes e na faixa de valor de até 21 mil, em municípios com população menor que 50 mil habitantes.

Nas faixas imediatamente superiores, de 3 a 10 salários por família, ou de "mercado popular", são previstas 600 mil unidades. Os recursos são do FGTS e contemplam subsídios diretos de até 20 mil reais, mais redução nos juros, em montante inversamente proporcional ao rendimento familiar. Os valores ficam entre 73 a 130 mil reais, faixa que interessa às construtoras que já atuam nos chamados mercados "econômico" e "super-eco" para a classe média baixa. Nesse caso a comercialização é feita diretamente pelas empresas e o interessado vai diretamente aos estandes de vendas ou aos cada vez mais concorridos "Feirões da Casa própria", patrocinados pela Caixa Econômica Federal (SOUZA, 2017).

O PMCMV, para ter o alcance da meta grandiosa permitiu a criação de processos atenuantes no meio burocrático e de gestão pública que trariam aceleração ao modelo de provisão habitacional estabelecido, que por si indicava que o modelo dominante apostava em quase sua totalidade na iniciativa privada como principal parceira, além de agente motora de todo o processo, tendo suas etapas minimamente aqui expostas, em duas maneiras:

- FAR: a) inserção das entidades federativas na Sistemática do PMCMV, pleiteando cotas (nº de unidades habitacionais a serem construídas), b) a entidade federativa (FAR) define o terreno; c) credencia os potenciais beneficiários; d) publica em Diário Oficial Edital de Chamamento de construtoras para projeto e habilitação para a construção das unidades habitacionais, e) encaminha processo homologado oficialmente para a instituição financeira juntamente com os projetos, f) a instituição financeira contrata o empreendimento e provê a liberação e controle de recursos para a construção, g) a construtora faz a incorporação e, por último, h) a instituição financeira e a entidade federativa responsável entregam os imóveis aos beneficiários contemplados pelo cadastro e empreendimento.
- FGTS: a) a construtora define o terreno e o projeto, b) a instituição aprova, c) a construtora faz a incorporação e venda dos imóveis diretamente vinculadas à instituição financeira (sem ônus para esta), d) a instituição financeira define o acesso aos imóveis a partir da demanda de mercado imobiliário por compra de imóvel ou através de listas já previamente estabelecidas de cadastros junto aos órgãos gestores da política habitacional, tanto da esfera municipal quanto estadual.

Assim, através de mecanismos facilitadores e recursos financeiros disponíveis, permitiu alavancar a produção habitacional no país, desde a elaboração de projetos até a construção das unidades habitacionais, ressaltando sua autonomia em relação aos entraves burocráticos bem como desvinculados, em muitas das vezes, a uma estratégia local (entenda-se administrativo municipal), de desenvolvimento urbano, impactando em muito a questão urbana e ambiental, especialmente pela implantação de grande empreendimento – especialmente os destinados à habitação de interesse social (Faixa 1 – FAR).

A produção habitacional, através do cenário supracitado, mesmo que submetida à aprovação de órgãos responsáveis e vinculados ao PMCMV, é estritamente percebida como uma mercadoria altamente rentável aos seus proponentes (empresa privada) e portanto, ao maior volume de produção, maior sua rentabilidade. Por sua vez, o próprio PMCMV, ao tentar cumprir a sua meta, é o principal indutor pressionando em todas as instâncias do processo, a obtenção de resultados que sejam apenas quantitativos, em detrimento da qualidade das habitações.

A efetividade do programa deveria ser avaliada não só do ponto de vista quantitativo, mas principalmente qualitativo. A análise dos pressupostos e das decorrências dos parâmetros utilizados tanto na definição dos espaços das habitações como dos espaços externos resultantes, seus processos construtivos, além de seus impactos nas conformações das cidades, permitem considerar que as contribuições do programa são muito pequenas quando não inexistentes. O espaço não é ocupado ao acaso, e a transformação das dinâmicas que definem os padrões qualitativos e quantitativos desta ocupação é fundamental para o enfrentamento da questão habitacional brasileira, inerente dos padrões gerais de nossa urbanização, sendo que a habitação, aqui em destaque, se conforma mutuamente com a primeira.

O PMCMV não apresenta explicitamente possibilidades de transformação de muitos dos problemas de nossas cidades, reproduzindo a consideração isolada dos aspectos que condicionam a qualidade do habitat urbano. Ao reduzir o morar às unidades habitacionais, sem menção às questões que definem a localização, seu projeto, seu processo construtivo e suas relações com o espaço e a vida mais ampla das cidades, a União acaba por colaborar na reprodução de vários dos problemas, perdendo uma grande oportunidade de transformar os padrões perversos característicos da necessidade de moradia e agravados por sua ausência de qualidade construtiva.

Todavia, não há como permanecer indiferente à importância que uma ação governamental da dimensão do PMCMV como política pública de alcance nacional traria como impacto no incremento do cenário econômico nacional ao fomentar a produção em larga escala de moradia para a população, movimentando e alimentando o mercado imobiliário (SILVA, 2013), promovendo a criação de empregos diretos e indiretos, alavancando as indústrias de materiais, entre outros fatores relacionados ao setor da Construção Civil. Estabeleceu-

se assim, um período de euforia e aceleração, em todos os setores da economia onde houvesse reflexo direto do setor da Construção Civil.

Entretanto, independente de todos os avanços nas técnicas construtivas, a iniciativa privada não absorveu corretamente a necessidade de se produzir em larga escala suficiente para que se agregasse valor qualitativo na execução dos imóveis a serem entregues pelo PMCMV à população, sendo esse fator decorrente ou não, do que poderíamos denominar, de “oportunistas de mercado”.

A falta de qualidade no processo construtivo ou nos materiais empregados, falta de fiscalização devida, seja por instituições governamentais ou financeiras (neste caso entenda-se Caixa Econômica Federal), resultaram no surgimento de patologias da Construção Civil como fissuras trincas, infiltrações, falhas de execução em cobertura e instalações hidrossanitárias. (SOUZA, 2017).

3.3. ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

A NBR15220-3 (ABNT, 2003) apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados. O condicionamento térmico passivo é parte da arquitetura bioclimática, porém foca nas estratégias de projeto arquitetônico que devem ser assumidas para a garantia de um ambiente com mais conforto térmico adequado a condições específicas de clima e hábitos.

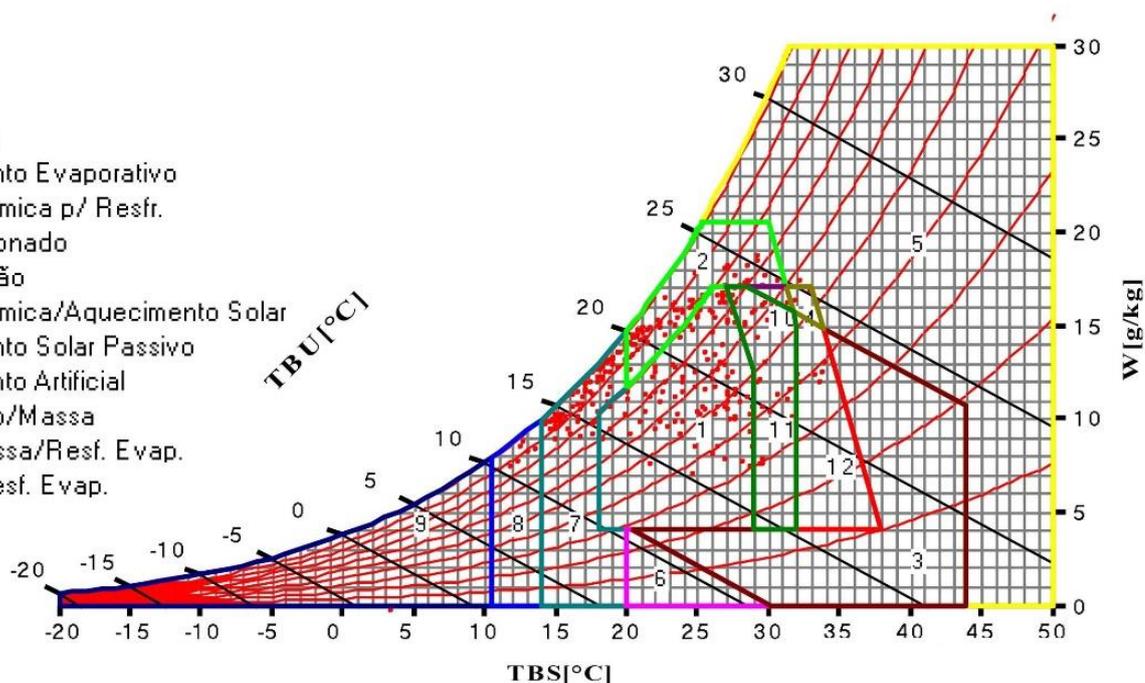
Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de

recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. Adaptou-se uma Carta Bioclimática (Figura 1) a partir da sugerida por Givoni (GIVONI, 1992).

Figura 1 - Carta Bioclimática de Givoni

ZONAS:

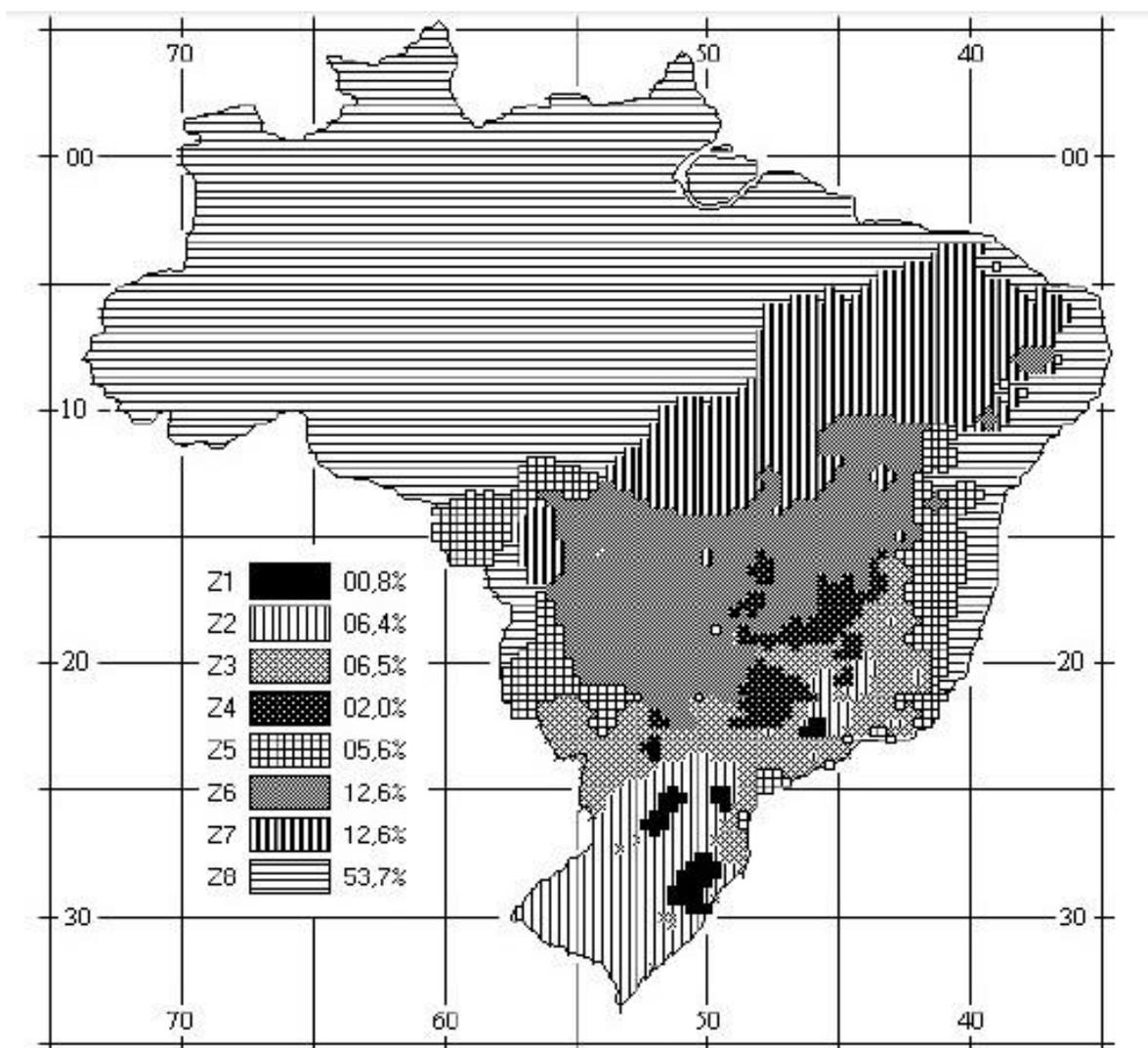
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
10. Ventilação/Massa
11. Vent./Massa/Resf. Evap.
12. Massa/Resf. Evap.



Fonte: AnalysisBio (1992).

O zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 2) faz parte da NBR 15220-3, em vigor desde 2005. Consiste na divisão do território brasileiro em 8 zonas climáticas. Para cada zona são feitas recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.

Figura 2 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT (2005c).

A elaboração de um mapeamento bioclimático para o Brasil vem sendo desenvolvida desde a década de 80 por diferentes instituições de pesquisa. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), em 1985, desenvolveu metodologia com o objetivo de avaliar o desempenho de habitações unifamiliares térreas, estabelecendo requisitos e critérios de desempenho para os componentes das edificações em situações de inverno e de verão. Foi definido um zoneamento climático de verão, com 11 zonas, e um zoneamento climático de inverno, com 9 zonas (MADEIRA, 1999). Segundo o Silva (1994) a partir do uso das normais climatológicas de 204 estações meteorológicas brasileiras, estabelece um zoneamento bioclimático em função dos desvios da zona de conforto proposta por Givoni. Tal zoneamento foi composto de 3 grandes zonas e suas

respectivas subzonas, representando um total de 13 zonas bioclimáticas para fins de edificações.

Em 1997, institutos de pesquisas dentro do contexto do Programa Brasileiro de Construção Habitacional elaboraram critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social.

Em 2003, foi apresentado o primeiro zoneamento bioclimático de caráter normativo para o Brasil, como parte da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que entrou em vigor em 2005. O atual zoneamento consiste na divisão do território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas, para as quais são apresentadas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. A metodologia utilizada na definição do atual zoneamento bioclimático brasileiro baseia-se nos desvios da zona de conforto adaptada do diagrama psicrométrico proposto por Givoni. Para a classificação das cidades brasileiras, foram utilizados dados das normais climatológicas divulgadas pelo INMET para 330 cidades, as quais foram utilizadas, também, para estimar, através de interpolação, o clima das demais cidades.

Inicialmente, o território brasileiro foi dividido em 6.500 células, estas caracterizadas pela posição geográfica e pelas variáveis climáticas referentes às médias mensais de temperatura, máxima e mínima, e médias mensais de umidade relativa do ar, das quais, para apenas 330 células, contou-se com os dados das Normais Climatológicas medidos de 1961 a 1990 em 206 cidades; e com dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos de 1931 a 1960 em 124 cidades (ABNT, 2005).

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) define Normais como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos. No caso de estações para as quais a mais recente Normal Climatológica não esteja disponível, seja porque a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos ou por outra razão qualquer, Normais Provisórias podem ser calculadas. Normais Provisórias são médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos.

Os pontos referentes a cada uma das variáveis climáticas mencionadas foram plotados no diagrama psicrométrico adaptado de Givoni, definindo-se assim, uma reta por mês. As estratégias bioclimáticas são definidas pelo cálculo do percentual do comprimento da reta mensal encontrada sobre cada uma das estratégias indicadas no diagrama. O conjunto das estratégias obtidas ao longo de um ano climático de referência para cada localidade foi comparado com os critérios de classificação definidos pela norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), definindo sua zona bioclimática.

Num segundo momento, o documento propõe a formulação de diretrizes construtivas para cada uma das 8 Zonas Bioclimáticas, para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo. Para isso, foram considerados no documento parâmetros e condições de contorno relativos ao tamanho das aberturas para ventilação, à proteção das aberturas, às vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura) e às estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005).

3.4. PAREDES DE CONCRETO

O sistema de paredes de concreto teve seu início a partir do final da 2ª Guerra Mundial, quando a Europa foi arrasada por esse momento histórico. Nesse período, não diferente da realidade habitacional brasileira, se fez necessária a construção, em ritmo muito acelerado, de habitações para atenderem aos grandes problemas decorrentes.

Muito utilizado em países como Chile, Colômbia e México, por apresentar vantagens em termos de prazos, custos e qualidade, é um sistema que, em função da velocidade de execução e otimização de obra, tem sido uma das escolhas das empresas que ingressaram no mercado econômico de habitação. O sistema possibilita a construção de casas térreas, assobradadas, edifícios de até cinco pavimentos padrão, edifícios de oito pavimentos padrão com esforços de compressão, de até 30 pavimentos padrão e com mais de 30 pavimentos - considerados casos especiais e específicos (PINHEIRO E PINHO, 2010).

Segundo uma entrevista publicada em 2016 feito pelo jornalista Altair Santos com Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Núcleo de Referência Paredes de Concreto e Canopus Construções, dados da Caixa Econômica Federal mostram que o sistema construtivo que utiliza paredes de concreto moldadas no local da obra tem

prevalecido no programa Minha Casa Minha Vida. Em 2014, a tecnologia estava presente em 36% das unidades produzidas. A partir do segundo semestre de 2015, o percentual cresceu para 52%.

Figura 3 - Casas de parede de concreto



Fonte - Ecopore

Com a implantação do PMCMV, Programa Minha Casa Minha Vida, três entidades representativas do segmento da indústria da construção civil, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem (ABESC) e o Instituto Brasileiro de Tela Soldada (IBTS), junto com algumas construtoras, passaram a estudar e conhecer outras realidades no continente americano, e adaptá-las às condições brasileiras os sistemas construtivos, por sua cadeia produtiva e visão sistêmica.

Figura 4 - Programa Minha Casa Minha Vida



Fonte - Portal VGV

Havia algumas etapas a serem trilhadas no Brasil, de modo a não perder as grandes vantagens do referido sistema, ou seja, a integração da cadeia: construtoras, projetistas e fornecedores, desenvolvendo estudos de viabilidade para saber o número ideal de unidades a serem construídas por canteiros de obras, além da construção de obras piloto e desenvolver e apresentar os laudos para os estudos do DATec, Documentos de Avaliação Técnica, de modo a atender às normativas do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), e da Caixa Econômica Federal, principal agente financeiro do PMCMV. Com o início da vigência da Norma de Desempenho – (ABNT NBR 15575, 2013) –, os projetos também passaram a ter que atender as exigências da referida Norma, no que tange ao desempenho térmico e acústico, segurança estrutural e durabilidade, segurança contra o fogo e estanqueidade.

Hoje a realidade do sistema de paredes de concreto responde por 52% das unidades em construção e em projeto do PMCMV, o que demonstra sua competitividade e atendimento às Normas vigentes no Brasil (BELISÁRIO, 2017).

Outra conquista importante obtida pelo Grupo de Trabalho de Paredes de Concreto, com a liderança da ABCP, ABESC e do IBTS foi a edição da Norma ABNT NBR 16055:2012, em tempo recorde, onde o sistema deixou da categoria inovador, para sistema tradicional,

com Norma brasileira para sua regulamentação técnica, fato que permitiu a inserção de construtoras médias, a diversificação regional e a viabilidade do sistema em empreendimentos menores.

No sistema construtivo parede de concreto, a vedação e a estrutura são compostas por um único elemento, e o método se resume basicamente na montagem de fôrmas que depois são preenchidas com concreto tendo embutidas as instalações elétricas e hidráulicas. O sistema foi utilizado no Brasil nas décadas de 70 e 80, em experiências consagradas e bem sucedidas do sistema Gethal (concreto celular) e sistema Outinor (concreto convencional), mas devido à falta de escala e de continuidade de obras nesses padrões e também pela escassez de financiamentos e programas habitacionais, essas tecnologias não se consolidaram no mercado brasileiro (ABCP, 2007).

Atualmente, paralelamente à formação de um comitê para estudo e redação da norma brasileira, os apoiadores do sistema de paredes de concreto desenvolvem práticas recomendadas para dimensionamento de estruturas de pequeno porte – casas térreas, assobradadas e edifícios de até cinco pavimentos. No Brasil, quatro tipos de concreto são recomendados para o sistema: concreto celular, concreto com elevado teor de ar incorporado de até 9%, concreto com agregados leves ou com baixa massa específica e concreto convencional ou concreto auto-adensável.

Trata-se de um expediente construtivo racionalizado bastante utilizado nos dias de hoje. Nesse sistema consiste na moldagem de paredes e lajes maciças de concreto armado com telas metálicas, no entanto, as paredes são executadas na espessura final, eliminando-se o reboco.

Em uma pesquisa realizada pela ABCP (2008), foi constatado que o concreto auto-adensável é o tipo mais utilizado para executar paredes de concreto. Quando economicamente viável, é a melhor opção técnica para paredes de concreto, pois as espessuras de paredes e lajes nesse sistema são muito pequenas, dificultando o lançamento e a vibração do material nas fôrmas. Este concreto possui dois atributos relevantes: a sua aplicação rápida, feita por bombeamento, e a mistura extremamente plástica, dispensando o uso de vibradores.

O principal motivo de moldar *in loco* é evitar o duplo trabalho, o que gera economia. Afinal, quando a moldagem é feita no local definitivo, evita-se uma série de gastos de mão de obra. Além disso, a estrutura monolítica pode se tornar mais resistente, pois todas as paredes formam um único elemento estrutural, fazendo com que as tensões sejam distribuídas e absorvidas de maneira sistêmica.

Normalmente a espessura das paredes de concreto e das lajes é de 10 cm. Ambas são armadas com telas de aço eletrosoldadas de malha quadrada de 100 mm e fios com diâmetro de 4,2 mm. Basicamente, um projeto estrutural metálico é montado e apoiado com escoras, deixando um vão na estrutura. Esse vão deverá ser preenchido com concreto.

Antes da concretagem, deve-se montar todas as tubulações elétricas e de água, visto que as paredes serão feitas com concreto usinado. A escolha do concreto é de suma importância. O material deve possuir a resistência adequada para a obra, além da maleabilidade correta. Tudo depende das características das estruturas. Geralmente, para chegar ao ponto de aplicação nas paredes, o concreto usinado precisa ser bombeado do caminhão betoneira. O concreto não necessita de adensamento mecânico, exceto em locais bem específicos.

Após o processo, espera-se um dia para que as paredes adquiram resistência suficiente para se sustentarem sozinhas. Depois, as fôrmas metálicas são removidas e toda a estrutura está preparada para a próxima fase de execução, como pintura, acabamento.

Uma das características que mais pesa na escolha da utilização das paredes de concreto é a diminuição do tempo da obra, que chega a ser 50% menor em relação a uma construção convencional. Isso influencia diretamente na redução de custo no canteiro de obra e na contratação de profissionais.

As vantagens da parede de concreto "*in loco*" seriam na agilidade na construção devido às placas serem montadas previamente, todas as instalações hidráulicas e elétricas podem ser feitas antes da etapa de concretagem. Além disso, o tempo entre a concretagem e o desmolde é de cerca de 12 horas. Acabamento simples sem necessidade da utilização de chapisco e reboco para o acabamento das paredes, que pode ser feito diretamente sobre a estrutura, com aplicação de textura.

As paredes confeccionadas conforme descrito oferecem mais qualidade do que os demais sistemas construtivos. As fôrmas são estruturas provisórias cujo objetivo é moldar o concreto fresco, compondo-se assim as paredes estruturais. A resistência as pressões de lançamento do concreto até a sua solidificação, é fator decisivo. Para isso, as fôrmas devem ser estanques e favorecer rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas. Todo conjunto de fôrmas deve vir acompanhado de projeto e deve ser checado se todos os materiais estão presentes. O material deve ser armazenado adequadamente, seguindo orientação do fornecedor, a fim de aproveitar ao máximo a sua vida útil.

As paredes de concreto *in-loco* são ideais para serem revestidas por massas niveladoras, visto que são mais lisas do que os outros tipos de construção. Assim, o processo de revestimento é reduzido. E as paredes ganham ainda mais qualidade por terem as estruturas hidráulicas e elétricas previamente construídas. No geral, além de gerar menos resíduo, esse sistema resulta em um canteiro de obras mais organizado e limpo.

A armação adotada no sistema de parede de concreto *in loco* tem como requisitos básicos resistir a esforços de flexo-torção nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás.

Uma das poucas desvantagens da parede de concreto “*in loco*” é o custo de uma eventual reforma, o custo será alto, já que a resistência das paredes de concreto é elevada. Isso resulta em um maior trabalho para quebrá-las. A mesma dificuldade se encontra no caso da necessidade de alguma mudança não planejada. Devido ao custo alto das fôrmas, essa tecnologia é usada apenas quando as fôrmas podem ser reaproveitadas em outras unidades, mas em contrapartida, dificilmente um conjunto de fôrmas poderá ser utilizado em mais de um projeto de construção. Isso porque elas são feitas com base em um projeto, tendo as dimensões e os encaixes específicos para determinada obra.

3.5. ANÁLISE DE CONDENSAÇÃO

O Brasil não possui norma técnica que trate diretamente sobre controle da condensação em edificações, apenas exigências municipais e estaduais, como o Código Sanitário do Estado de São Paulo, que legislam sobre a necessidade de ventilação mínima nos ambientes residenciais.

O Reino Unido conta com o BS 5250:2002 – *Code of practice for control of condensation in buildings* (Código de práticas para controle de condensação nas edificações); na Austrália o comitê ABCB (*Australian Building Codes Board*), publicou em 2014 um guia para Condensação nas construções, de caráter não mandatário; e por fim tem a norma internacional (*International Organization for Standardization*) - ISO 13788 - *Hygrothermal performance of building components and building elements -- Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation* (Desempenho higrotérmico de componentes de construção e elementos de construção – Temperatura interna da superfície para evitar umidade superficial crítica e condensação intersticial).

A dificuldade em eliminar este fenômeno passa pela substituição de elementos construtivos (como janelas e aberturas) e a instalação de dispositivos de ventilação ou controle de temperatura interna. O que constituem intervenções dispendiosas e morosas, pela influência de múltiplos fatores. (BS 5250, 2002)

O SiNAT, como indutor e regulamentador de produtos inovadores, apresentou sua contribuição para a análise da eventual ocorrência de condensação naquelas paredes de concreto não contempladas na norma brasileira NBR 16.055:2012, por meio da Diretriz SiNAT001. Assim, como não há critérios para se abordar o risco de condensação, estabeleceu-se na última revisão da Diretriz SiNAT 0001 (revisão 3, em 2017) requisito, critério e método para avaliação do potencial de surgimento de problemas de umidade nas superfícies internas das paredes de concreto (risco de ocorrer condensação nas paredes internas).

3.5.1 UMIDADE

O ar é composto por diversos gases, incluindo vapor d'água. O termo umidade geralmente se refere à quantidade de vapor d'água presente na atmosfera ou em um ambiente, inclusive quando este vapor está condensado.

Cada gás presente na atmosfera tem sua própria pressão de vapor, uma medida do número de moléculas presentes em uma determinada temperatura. A pressão de vapor d'água mede, assim, a quantidade de vapor de água no ar.

O ar pode conter uma certa quantidade de água sob a forma de vapor a uma determinada temperatura e pressão. Quanto mais quente estiver o ar, maior a sua capacidade para conter vapor d'água, a umidade relativa marca a relação entre a umidade absoluta do ar e a máxima quantidade de vapor d'água que esse ar poderia conter à mesma temperatura e pressão e é normalmente indicada em porcentagem (% de umidade relativa ou UR).

Segundo Watt (2009), a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar, de modo que ao se diminuir apenas a temperatura do ar a sua capacidade de conter o vapor d'água diminuirá, aumentando assim a umidade relativa até seu ponto de saturação, onde o vapor d'água irá condensar também conhecido como ponto de orvalho. Ao se aumentar a temperatura, a capacidade do ar em conter vapor d'água aumentará, assim, se não houver aumento da quantidade de vapor d'água a umidade relativa diminui.

A umidade relativa do ar também regula a taxa de evaporação da superfície de um corpo de água líquida em contato com o ar, no sentido que esta será mais rápida quando a pressão do vapor d'água for baixa (menor umidade relativa do ar) e mais lenta quando a umidade relativa do ar for alta. Quando a umidade relativa atinge a saturação (UR = 100%), atinge-se um equilíbrio dinâmico entre a evaporação e a condensação, assim não será percebida a evaporação (ESGANZELA, 2014).

Conforme Miranda et al. (2003), condensação é o processo no qual a água contida no ar pode se tornar líquida e que ocorre, geralmente, no caso de um esfriamento do ar. Esse fenômeno ocorre quando a pressão de vapor do ar se torna superior à pressão de vapor saturado, que é função de sua temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a sua pressão de vapor saturado, ou seja, mais água o ar pode conter.

3.5.2 UMIDADE E SAÚDE

Tromp (1980, apud Gonçalves, Nedel e Alves, 2012) enfatiza que fungos e ácaros preferem ambientes com umidade relativa superiores 70%, em geral e que concluem que a faixa ideal de umidade relativa seria entre 40 % e 60%, com o uso de umidificadores e desumidificadores para os extremos, e citam o trabalho de (ARUNDEL, STERLING, *ET AL.*, 1986) que identificou que as infecções por bactérias e fungos são minimizadas em ambientes com umidade relativa entre 40 % e 70%; que a infestação por ácaros é

minimizada com umidade relativa inferior a 50% e maximizada com umidades próximas de 80% e; que a maioria dos fungos não se desenvolvem em ambientes com umidade relativa inferior a 60%. Os dois grupos indicam que a umidade relativa ideal para a salubridade humana se situa entre 40% e 70% sendo que valores inferiores ou superiores se tornam problemáticos para a saúde.

Segundo Alsmo e Alsmo (2014), os dados disponíveis sobre a sobrevivência bacteriana e viral, com umidade relativa variável, indicam que, em um nível de umidade relativa entre 40% e 70%, a sobrevivência combinada ou a infectividade desses organismos é minimizada.

3.5.3 CONDENSAÇÃO

Condensação é uma das fases em que ocorre a transformação da matéria, do estado gasoso para o estado líquido. A condensação pode ser classificada de duas formas: intersticial e superficial.

A condensação intersticial ocorre dentro de um objeto permeável como resultado de processos de transportes de umidade, como difusão e capilaridade. À medida que o vapor d'água se move através de um objeto, ele pode ser resfriado, assim aumentando a saturação de umidade do ar e, caso alcance o ponto de orvalho, o vapor d'água no ar irá se condensar.

A condensação superficial ocorre quando o ar ambiente resfria em contato com uma superfície. Ao resfriar, esse ar diminui sua capacidade de conter vapor de água e o excesso desde se deposita sobre a parede (KLÜPPEL; SANTANA, 2000). Ocorre, principalmente, em cozinhas e banheiros, onde a produção de vapor de água, é intensa e pode ocorrer diariamente, gerando condições para que a umidade seja permanente.

Materiais não porosos, como o vidro, embora não possuam mecanismos de armazenamento de umidade estão sujeitos à condensação superficial. Segundo o Código de Práticas de Condensação em Edificações (BS 5250:2002), a condensação de vapor d'água em superfícies impermeáveis, nem sempre causa danos quando ocorre, mas pode correr ou escorrer para áreas mais vulneráveis.

O risco de condensação de vapor d'água em superfícies internas de um ambiente é afetado pelas condições ambientais presentes, tais como qualidade de ventilação (tanto a circulação do ar quanto a taxa de renovação do ar com o meio externo), temperatura e umidade relativa do ar. Portanto, o tipo de janelas utilizadas, as suas disposições e o dimensionamento adequado da ventilação dos ambientes é de extrema importância para a prevenção deste tipo de umidade.

A temperatura das superfícies e a pressão de vapor são importantes para que ocorra a condensação. O Código de Práticas de Condensação em Edificações (BS 5250, 2002) lista os fatores que influenciam as temperaturas das superfícies e a pressão de vapor.

A temperatura da superfície depende dos seguintes fatores:

- a) A taxa de ventilação do ambiente;
- b) As propriedades térmicas e o acabamento das superfícies da construção;
- c) A temperatura externa.

A pressão de vapor do ar é determinada por:

- a) Produção de vapor de água dentro do edifício;
- b) A taxa de ventilação do ambiente;
- c) O teor de umidade do ar externo que infiltra no ambiente;

A capacidade da envoltória do edifício e de seus materiais para absorver ou expelir o vapor de água (efeito de esponja). O que pode reduzir ou aumentar a pressão de vapor, dependendo se o prédio está a resfriar ou a aquecer.

3.5.4 PATOLOGIAS RELACIONADA À CONDENSAÇÃO

O termo patologia é utilizado para designar os problemas que podem surgir nas mais diversas edificações. As infiltrações e a umidade são problemas comuns e são responsáveis por desencadear inúmeras patologias construtivas.

Estes problemas podem acometer qualquer tipologia construtiva, ou seja, qualquer edificação pode estar sujeita a apresentar patologias, estas "doenças" que afetam as

construções atacam silenciosamente, exigindo cuidados especiais justamente por se agravarem sem serem visíveis, dificilmente notadas, e quando começam a apresentar características já estão graves.

Segundo VERÇOSA (1991) a água não é apenas uma causa de patologias, ela age também como um meio necessário para que grande parte das patologias em construções ocorra. Portanto, é um fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas, de rebocos e até a causa de acidentes estruturais.

A presença de elevado teor de vapor d'água é fator suficiente para o desenvolvimento de algumas patologias, de modo que é possível dividir as patologias relacionadas ao fenômeno da condensação em dois grupos: patologias relacionadas à alta umidade do ar e patologias relacionadas à presença de água líquida. É importante ressaltar que as patologias relacionadas à alta umidade do ar se intensificam quando a condensação ocorre.

Segundo (CÂNOVAS, 1988), a Patologia das Construções não é uma ciência moderna, mesmo que tenha ganhado proeminência recentemente. A presença de problemas nas edificações nas primeiras construções rusticamente pelo homem primitivo já era relatada, como se pode constatar pelo próprio Código de Hamurabi.

Os materiais usados nas construções podem sofrer deterioração pela presença de elevadas taxas de umidades. Esta umidade em ação pode causar problemas físicos, químicos e biológicos:

- Problemas físicos: a água condensada pode transportar contaminantes (como sais) para materiais onde se precipitar.
- Problemas químicos: a água condensada pode reagir com agentes contaminantes e com o próprio material onde se precipitou causando danos.
- Problemas biológicos: a umidade também pode atuar como um substrato para o crescimento de bactérias, fungos, algas e outros microrganismos com possíveis danos físicos, químicos e, possíveis riscos para a saúde.

3.5.5 PATOLOGIAS RELACIONADAS À ALTA UMIDADE RELATIVA DO AR

3.5.5.1 PROLIFERAÇÃO DE MICRORGANISMOS

A umidade ocasionada pelo fenômeno de condensação do vapor d'água cria um ambiente propício ao surgimento de mofos que constituem um sintoma específico desse tipo de anomalia. Caso as seguintes condições possam ser verificadas em uma área afetada por umidade, o problema ocorrido é devido ao ataque de microrganismos que se estabelecem sobre o material úmido:

- manchas cinzentas ou esverdeadas associadas a manchas de umidade.
- Condições de umidade e temperatura do ar propícias ao desenvolvimento de micro-organismos (acima de 20° C e acima de 60% de umidade relativa).
- Aparecimento de manchas nas áreas menos ventiladas do cômodo – quinas de paredes, atrás de móveis, quadros, etc.

Conforme explicado no Anexo A da norma ABNT NBR 13749:2013 (Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Especificação), a proliferação de microrganismos geralmente provoca manchas escuras que ocorrem geralmente em áreas permanentemente úmidas dos revestimentos. Os fungos e líquens que se proliferam na superfície do revestimento produzem ácidos orgânicos que reagem e destroem progressivamente os aglomerantes da argamassa endurecida.

Alguns microrganismos são causadores de patologias nas edificações. Ecossistemas microbianos criam biofilmes gelatinosos a partir da umidade presente na edificação e permitem a fixação de outras partículas. Os microrganismos envolvidos neste processo geralmente são fungos, algas, protozoários, bactérias e líquens. Estes organismos causam biodegradação das edificações, pois de seu metabolismo surge como produto final substâncias de pH ácido que comprometem a durabilidade das estruturas de concreto armado, de madeiras e metálicas. A presença de umidade é fundamental para manutenção do habitat destes microrganismos.

3.5.5.2 BOLOR EM CASAS

Segundo Alucci, Flauzino e Milano (1985), o desenvolvimento de bolor ou mofo em edificações pode ser considerado como um grande problema com grandeza econômica e ocorrência comum em regiões tropicais. Essa patologia provoca alteração na superfície, exigindo na maioria das vezes a recuperação ou até mesmo a necessidade de se refazer revestimentos, gerando gastos dispendiosos.

O crescimento de bolor está diretamente ligado, conforme os autores citados acima, à existência de. É comum o emboloramento em paredes umedecidas por infiltração de água ou vazamento de tubulações. O emboloramento é uma alteração que pode ser constatada macroscopicamente na superfície de diferentes materiais, sendo consequência do desenvolvimento de microrganismos pertencentes ao grupo dos fungos. Assim, como todos os organismos vivos, estes possuem seus desenvolvimentos afetados com as condições ambientais, sendo a umidade um fator essencial.

Os fungos precisam sempre de um teor de umidade elevado no material onde se desenvolvem ou uma umidade relativamente bastante elevada no ambiente. As formas dessa presença de água nos componentes internos e externos da edificação, tais como, por exemplo, umidade proveniente de vazamentos, da obra, do solo.

Para se evitar que o bolor aconteça nas edificações, já na fase de projeto, medidas devem ser tomadas. Essas medidas visam garantir uma ventilação, iluminação e insolação adequada aos ambientes, assim como idealizar a diminuição de risco de condensação nas superfícies internas dos componentes e também evitar riscos de infiltração de água através de paredes, pisos e/ou tetos, (Alucci; Flauzino; Milano, 1985).

Caso não seja possível prevenir, e a patologia ocorra, a limpeza da superfície é necessária, com emprego de soluções fungicidas podendo até ocorrer a troca de materiais, que estavam contaminados por outros que resistam a ação de crescimento do bolor gerando assim gastos dispendiosos já que provoca alteração nas superfícies afetadas, o que exige, na maioria das vezes, trabalhos de recuperação dos revestimentos.

Com umidades relativas acima de 60% surgem problemas que podem ser vistos mais facilmente. Os fungos e bolores, por exemplo, podem se desenvolver em várias

superfícies presentes em uma edificação quando seus esporos estão presentes com um suprimento de nutrientes, as temperaturas permanecendo entre 4°C e 40°C e a umidade relativa acima de 70% na superfície. Ao se desenvolver, esses organismos produzem toxinas que podem afetar a saúde respiratória. As primeiras duas condições para o crescimento são facilmente atendidas porque os esporos estão sempre presentes no ar e a maioria dos materiais de construção e as mobílias podem fornecer os nutrientes. Para impedir esse desenvolvimento, é necessário um controle da umidade relativa do ar adjacente às superfícies da edificação. Ou seja, minimizar os níveis de vapor de água e aumentar as temperaturas nas superfícies, uma vez que a umidade relativa depende da temperatura e da concentração de vapor de água.

O acúmulo de fungos nas camadas de revestimento, seja ele dos mais variados tipos, geram colônias que se alimentam de materiais orgânicos. Os locais ideais para a sua proliferação são áreas que apresentam umidade por condensação e que não haja água corrente (Pitan, 2013, apud Macedo et al., 2017).

3.5.5.3 EFLORESCÊNCIA

Eflorescências são depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície do revestimento, como piso (cerâmicos ou não), paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas. Os depósitos acontecem quando os sais solúveis nos componentes das alvenarias, nas argamassas de emboço, de fixação, de rejuntamento ou nas placas cerâmicas são transportados pela água utilizada na construção, na limpeza ou vinda de infiltrações, através dos poros dos componentes de revestimento. Esses sais em contato com o ar se solidificam, causando depósitos.

Em situações com ambientes constantemente molhados e com algum tipo de sais de difícil secagem, estes depósitos apresentam-se com uma “exsudação” na superfície, aparentando então a cor branca nas áreas revestida, comprometendo os aspectos relacionados à estética. As placas cerâmicas e a argamassa possuem vazios em seu interior, como cavidades, bolhas, poros abertos e fechados e uma enorme rede de microcanais. A água então pode passar para o seu interior por capilaridade ou mesmo por força do gradiente hidráulico.

A eflorescência é originada por três fatores, que possuem o mesmo grau de importância. São eles: o teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes, a presença de água e a pressão hidrostática, que faz com que a migração da solução ocorra, indo para a superfície. Todos os três fatores devem existir e, caso algum deles não esteja presente, não haverá a formação desta patologia. Alguns fatores externos também ajudam para que este tipo de manifestação patológica ocorra, tais como: a quantidade de solução que irá aflorar; o aumento do tempo de contato que atua na solubilização de maior teor de sais; a elevação de temperatura, a qual aumenta a velocidade de evaporação e gera um favorecimento na solubilização dos sais; e fechando, a porosidade dos elementos, permitindo que esta migração da solução para a superfície ocorra.

3.6. CONFORTO HIGROTÉRMICO

A origem dos estudos de critérios de conforto ambiental tem o interesse em estabelecer critérios de conforto térmico, na Europa, do começo do século dezanove, quando começou o movimento por reforma das condições das indústrias e das moradias. Critérios para níveis de calor foram primeiro estabelecidos para minas e indústrias, metálicas e têxteis, porque acidentes e doenças eram muito comuns pelo desgaste causado por calor e umidade. Em 1916 a Comissão Americana de Ventilação efetuou estudos e pesquisas com o intuito de determinar a influência das condições higrotérmicas no rendimento do trabalho.

Segundo A.A.S.H.R.A.E (*AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS*) o rendimento do trabalho físico cai de 15% quando a temperatura se eleva de 20 para 24 °C e cai de 28% se a temperatura for de 30 °C com umidade relativa de 80%. Considera para os climas mais quentes dos EUA. 25 °C como temperatura ótima, no inverno, podendo variar entre 23 e 27 °C.

A higrometria é um parâmetro que traduz o aumento da pressão do vapor de água no interior de um local em relação ao exterior e, conseqüentemente, define o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente. A produção de vapor de água no interior e a renovação de ar dos locais são os dois fatores que permitem atribuir classes aos locais em função da sua higrometria.

O conforto térmico é um conceito que não pode ser definido com exatidão. Para um mesmo ambiente com várias pessoas com vestuário diferente e a praticar diferentes atividades, é difícil conceber um ambiente agradável a todos. A zona de conforto não é algo objetivo, pois varia consoante as pessoas e depende de fatores quantificáveis como a temperatura e umidade do ar, e não quantificáveis como os hábitos e o estado mental.

De modo geral os edifícios estão constantemente sujeitos à ventilação natural, como por exemplo através das frinchas das portas. Assim, e tendo em conta que a grande maioria das pessoas passam muitas horas em espaços fechados, nomeadamente no local de trabalho ou em casa, foi necessário desenvolver métodos que permitissem uma ventilação natural mais eficaz, de modo a aumentar o grau de conforto térmico.

3.7. PSICROMETRIA

3.7.1 UMIDADE ABSOLUTA E RELATIVA DO AR

A ocorrência de condensações internas em elementos de construção é um fenómeno que depende da sua constituição, das condições climáticas e dos mecanismos de comportamento do ar úmido. O ar úmido é uma mistura de ar seco com vapor de água.

A quantidade de vapor de água que um determinado volume de ar pode conter é limitada. O ar, acima de um determinado valor, correspondente a uma umidade relativa de 100%, já que não tem capacidade para absorver mais vapor de água, condensando as quantidades em excesso. Este limite tem como designação, limite de saturação é função da temperatura, crescendo ou decrescendo consoante se aumente ou diminua a temperatura, respectivamente.

Em geral, a umidade absoluta do ar é inferior ao limite de saturação não tendo o ar saturado de umidade.

Em determinadas condições quando o ar entra em contato com as zonas mais frias dos elementos construtivos, o valor da umidade absoluta pode ultrapassar o limite de saturação, ocorrendo condensações.

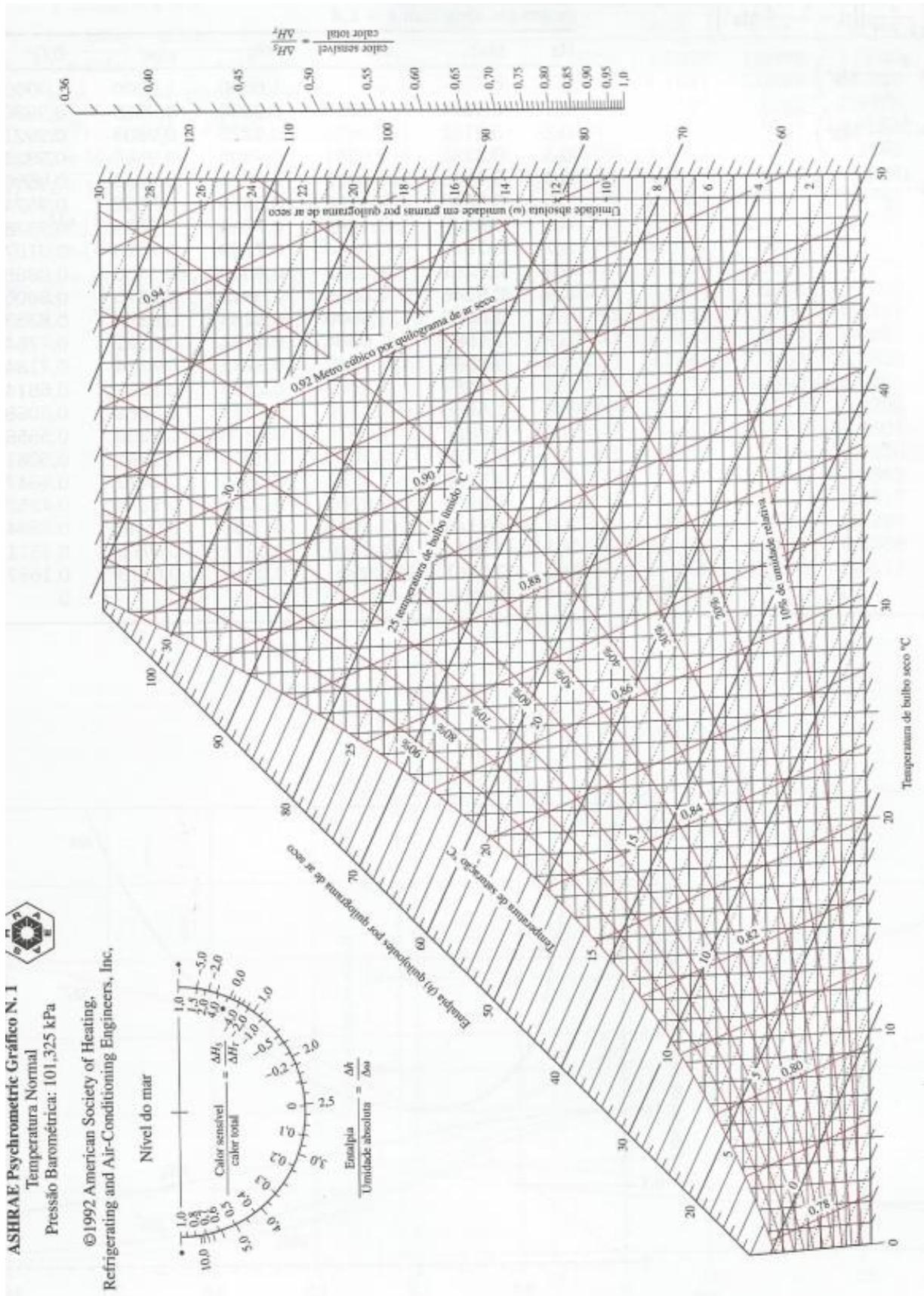
O conceito de umidade relativa é então, a relação percentual entre a massa de vapor contida no ar e a quantidade máxima de vapor que o ar pode conter, a uma determinada temperatura.

3.7.2 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

As relações existentes entre a umidade absoluta e umidade relativa, temperatura do ar e a pressão parcial de vapor de água podem ser expressas através de um diagrama específico designado por diagrama psicrométrico que se apresenta na Figura 5.

Este diagrama é relativo a uma determinada pressão atmosférica, em geral a pressão atmosférica de referência, pelo que se deve proceder às devidas correções se a pressão atmosférica for diferente daquele a que corresponde o diagrama (Fig. 5).

Figura 5 - Diagrama Psicrométrico



Fonte: American Society of Hearing (1992)

4. METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para avaliação do desempenho higrotérmico do sistema construtivo em Paredes de Concreto Leve armado moldadas no local conforme a ISO 13788:2012 (Anexo A), que apresenta um método para determinar o fluxo total anual condensado e o máximo valor de umidade de condensação acumulado no interior dos elementos.

Além disso, considera ainda que ocorre evaporação de qualquer umidade de condensação no elemento construtivo.

4.1. NORMA EN ISO 13788:2012

4.1.1 GERAL

A norma EN ISO 13788 apresenta um método com a finalidade de determinar o fluxo total anual condensado e o máximo valor de umidade de condensação acumulado no interior dos elementos.

Além disso, considera ainda que ocorre evaporação de qualquer umidade de condensação no elemento construtivo.

4.1.2 PRINCÍPIO

A umidade de condensação pode ocorrer em uma ou mais interfaces, bem como a evaporação no elemento construtivo.

O valor acumulado de umidade de condensação no final dos meses em que esta ocorre é comparado com o total de evaporação durante o resto do ano. Se o fluxo de evaporação compensar o fluxo condensado durante os doze meses do ano, significará que não haverá problemas no elemento construtivo.

O cálculo começa num qualquer mês do ano determinando-se a temperatura, a pressão de saturação e a distribuição da pressão de vapor ao longo dos constituintes dos elementos

de conforme a metodologia de cálculo da norma ISO 13788:2012, prevendo-se a existência de algumas condensações no mês considerado.

4.1.3 CRITÉRIO

A ocorrência de condensações internas nos elementos construtivos torna-se prejudicial, degradando os materiais, afetando a sua durabilidade e o seu desempenho térmico.

Se a umidade existente nos elementos construtivos produzir degradação do material, as condensações deverão ser obrigatoriamente nulas. Nos casos em que essa umidade não afete de forma significativa o desempenho dos materiais, sendo facilmente eliminada pelos processos de secagem durante os meses de verão, as condensações serão consideradas desprezíveis.

É necessário ter atenção no fato de ocorrerem condensações em elementos que se localizem em zonas muito frias, em que as temperaturas se encontram negativas durante algum período. O consequente congelamento da água não permite a absorção da mesma pelo elemento construtivo, aumentando também a dificuldade na sua secagem.

4.2. PROGRAMA DE CÁLCULO – CYPETHERM

A avaliação do risco de ocorrência de condensações nos elementos construtivos pode ser realizada de uma forma mais rápida e simples utilizando o software desenvolvido pela CYPE Ingenieros.

Os programas de cálculo automático existentes, como o CYPETHERM, baseados em métodos que assumem que o transporte de umidade por difusão de vapor e dados climáticos mensais, são instrumentos essenciais que permitem facilmente simular o comportamento dos elementos construtivos e consequentemente quantificar as suas condensações.

Os resultados deste programa são apresentados através de um conjunto de gráficos que permitem visualizar a zona onde ocorrem as condensações, que através de tabelas, nos fornecem os respectivos valores das pressões de saturação, e dos fluxos condensados mensais e condensados acumulados, em cada mês do ano. Estes resultados obtêm-se para

diferentes composições do elemento em estudo, desde que sejam conhecidas as características das ambiências interiores e exteriores e as características e propriedades higrotérmicas dos materiais que compõem as camadas do elemento de construção.

Cypetherm ISO 13788 foi concebido para calcular o fator de resistência superficial interior tendo em conta a umidade superficial crítica e a condensação intersticial em elementos construtivos, com base no comportamento higrotérmico dos materiais e produtos de edificação, e conforme a metodologia de cálculo da norma ISO 13788:2012.

- **RESULTADOS DE CÁLCULO**

- **CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL**

No cálculo tem-se em conta a umidade superficial crítica e contempla-se a:

- Verificação para prevenir o risco de formação de bolores
- Verificação para prevenir a corrosão
- Verificação definido pelo utilizador

- **CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL**

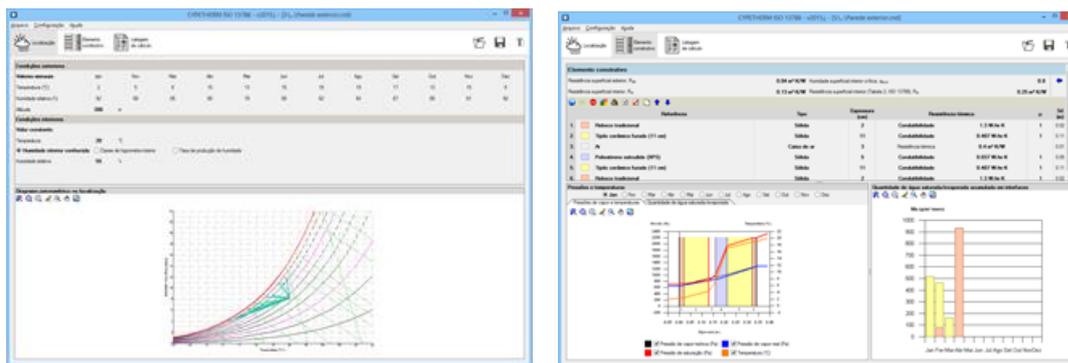
O cálculo da condensação intersticial contempla a geração de gráficos:

- Gráficos pressão/temperaturas
- Pressão de vapor teórico
- Pressão de saturação
- Pressão de vapor real
- Temperaturas
- Gráficas de quantidade de água saturada/evaporada acumulada nas interfaces

- **FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA**

No "CYPETHERM ISO 13788", existem três seções identificadas pelos ícones situados na parte superior: Localização, Elemento construtivo e Listagem de cálculo.

Figura 6 - Funcionamento do programa



Fonte - Software CYPETHERM ISO 13788



Localização

Localização

Definem-se os dados climáticos, no que diz respeito às condições interiores e exteriores que se refere.



Elemento construtivo

Elemento construtivo

Define-se o modelo do elemento construtivo introduzindo as distintas camadas que o compõe.



Listagem de cálculo

Listagem de cálculo

A partir desta seção é possível imprimir ou exportar para diversos formatos (texto, HTML, PDF, RTF e DOCX), a seguinte

informação:

- Resultados do cálculo de condensações
- Condições higrotérmicas de cálculo
- Descrição do elemento construtivo
- Cálculo do fator de temperatura superficial interior necessário para evitar a umidade superficial crítica
- Cálculo de condensações intersticiais
- Anexo de representação gráfica das condensações intersticiais previstas

4.3. INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

Os dados climáticos mensais necessários para a modelagem no software CYPETHERM foram obtidos através do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e

Pesquisa) que abriga dados meteorológicos em forma digital, de séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais da rede de estação do INMET com milhões de informações, referentes às medições, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológicas Mundial.

No início para a obtenção de dados teve o objetivo de coletar os dados do ano mais recente de cada uma das cidades representativas das 8 zonas bioclimáticas brasileiras, mas surgiram algumas dificuldades em algumas dessas cidades, como anos que não possuíam os valores anuais completos ou até mesmo a não existência de estações meteorológica na cidade que representam o clima típico de sua respectiva zona, então adotamos os seguintes critérios na coleta de dados na plataforma do INMET:

- Nos casos em que a cidade representante de uma zona bioclimática não possui uma estação meteorológica, foram utilizados registros da cidade com estação instalada mais próxima.
- Nos casos das estações meteorológicas já adotadas que não possuísem registros completos do ano de 2018, foi utilizado o ano mais recente com os dados completos.

O Quadro 1 indica para as referidas Zonas Bioclimáticas, as principais características climáticas das respectivas cidades adotadas como de clima típico, as temperaturas médias mensais, umidades relativas médias do ar e altitudes fornecidos pelo INMET (2018).

Quadro 1 - Cidades que representam o clima típico de cada zona

ZONA	CIDADE	UF	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	ALTITUDE (M)
1	Curitiba*	PR	25,42	49,27	924
2	São Lourenço	MG	22,1	45,01	953
3	São Paulo	SP	23,5	46,62	792
4	Brasília	DF	15,78	47,93	1160
5	Morro do Chapéu**	BA	11,21	41,21	1003
6	Bom Jesus Da Lapa	BA	13,26	43,41	440
7	Cuiabá	MT	15,55	56,12	151
8	Manaus	AM	3,13	60,02	72

* Para a Zona Bioclimática 1, os registros de 2018 não estavam completos, portanto foram utilizados os registros do ano de 2017.

** Para as Zonas Bioclimáticas 5 e 6, as cidades Vitória da Conquista (BA) e Campo Grande (MS) não possuem estações meteorológicas, considerou-se como clima típico anual os registros da cidade de Morro do Chapéu (BA) e Bom Jesus da Lapa (BA) respectivamente, o mais próximo com registros completos.

Fonte: Elaborado pelos autores

4.4. DESEMPENHO HIGROTÉRMICO NA DIRETRIZ SINAT 001

4.4.1 DESEMPENHO HIGROTÉRMICO

A edificação deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico estabelecidas na ABNT NBR 15575-4, respeitando as características bioclimáticas das diferentes regiões brasileiras definidas na ABNT NBR 15220-3 e considerando que o desempenho térmico da edificação depende do comportamento interativo entre paredes externas e cobertura.

A simulação deve ser feita com as cidades representativas de cada zona bioclimática. Para o verão, é necessário considerar todas as condições (padrão, sombreado, ventilado e sombreado e ventilado).

Considera-se, para efeito de avaliação técnica, que as edificações com paredes estruturais de concreto tratadas nesta Diretriz destinadas a casas térreas, sobrados, casas sobrepostas e a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, com as características abaixo apresentadas, atendem ao critério mínimo de desempenho térmico.

Características: pé direito mínimo de 2,5 m, de piso a teto; espessura mínima das paredes de 100 mm; espessura mínima das lajes de 100 mm (de forro ou de piso); telhado de telhas de fibrocimento (espessura mínima de 6 mm), ou telhas de concreto (espessura mínima de 11 mm) ou telhas cerâmicas; presença de ático entre a laje horizontal e o telhado (altura mínima de 500 mm); faces externas das paredes externas em cores de tonalidades médias ou claras para as zonas bioclimáticas Z1 a Z7 e tonalidades claras para a zona bioclimática Z8; emprego de produto isolante térmico na cobertura, com resistência térmica mínima de 0,67 m².K/W na zona bioclimática Z8.

4.4.2 PERÍODO DE CONDENSAÇÃO

O número de horas em que há risco de condensação para o sistema de paredes objeto desta Diretriz, em um período de um ano, considerando as condições estabelecidas no item 1.2 e a região bioclimática, pode ser, no máximo, 20% maior que aquele de uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos de 140 mm de espessura com revestimento de argamassa de 20 mm de espessura em ambas as faces no mesmo período.

Considerar a taxa de condensação máxima que pode ocorrer entre as paredes avaliadas, considerando os resultados da edificação ocupada, conforme condições estabelecidas no Anexo A (Procedimento para simulação computacional de taxa de condensação por ano).

Para isso deve-se fazer simulação, considerando as condições do item 1.2, utilizando software que faça balanço simultâneo de calor e umidade em regime transitório, como exemplo o Energy Plus.

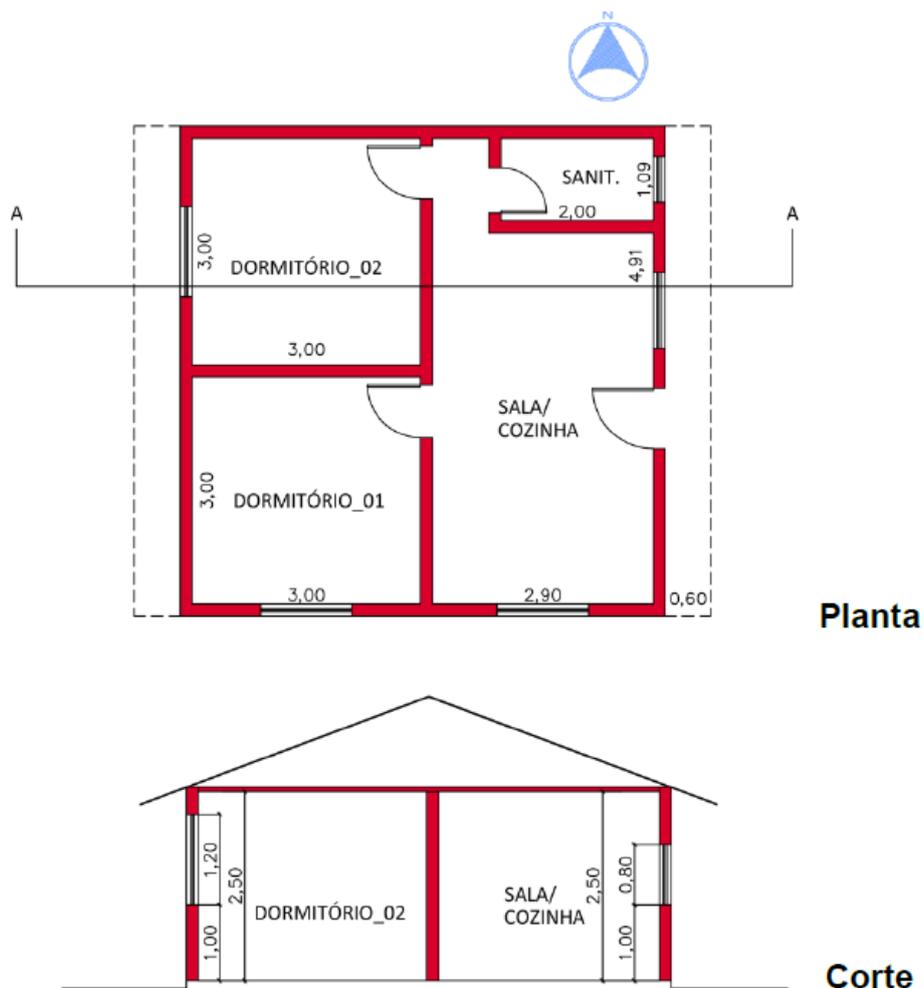
4.5. PROJETO DE AVALIAÇÃO

4.5.1 UNIDADE HABITACIONAL PADRÃO AVALIADA

O projeto a ser avaliado se refere a uma unidade habitacional padrão térrea composta por dois quartos, um banheiro e uma sala e uma cozinha integrada, conforme planta esquemática apresentada na Figura 4. Esse modelo utilizado corresponde o embrião do Projeto Minha Casa Minha Vida no padrão de 0 a 3 salários mínimos classificada como

Faixa 1 pelas especificações da Caixa, tendo aproximadamente 36 m² de área externa e 32 m² de área interna.

Figura 7 -Planta e corte da unidade habitacional padrão avaliada



Fonte: Caixa Econômica Federal.

4.5.2 DIRETRIZ SINAT 001 (2017A)

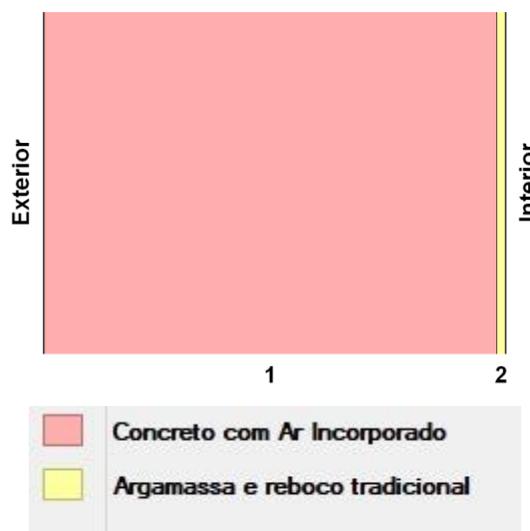
Conforme as Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos – DIRETRIZ SINAT 001 (2017a), para a avaliação da taxa de condensação por ano, o desempenho do sistema sob análise deve ser confrontado ao de paredes de referência, considerando o mesmo projeto arquitetônico apresentado.

4.5.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE EM ANÁLISE

Parede Concreto Leve armado moldadas no local, com 10 cm de espessura (densidade de 1950 kg/m³, condutividade térmica de 1,05 W/m.K e calor específico de 740 J/kg.K), revestidas internamente com acabamento em gesso (0,2 cm) como apresentada na figura 8.

Quanto aos quesitos relacionados à condensação, foi considerado que as paredes externas são as mais suscetíveis a este fenômeno. Este comportamento é coerente, uma vez que a condensação nas superfícies ocorre quando a temperatura da superfície é inferior a temperatura de ponto de orvalho do ar, assim, uma vez que estão expostas a temperaturas mais baixas do ambiente externo, as paredes externas apresentam maior amplitude chegando a temperaturas superficiais menores e, portanto, tendo maior risco a condensação. Portanto o perfil do elemento construtivo a ser analisado (Figura 8), representa uma parede externa.

Figura 8 - Parede de concreto leve

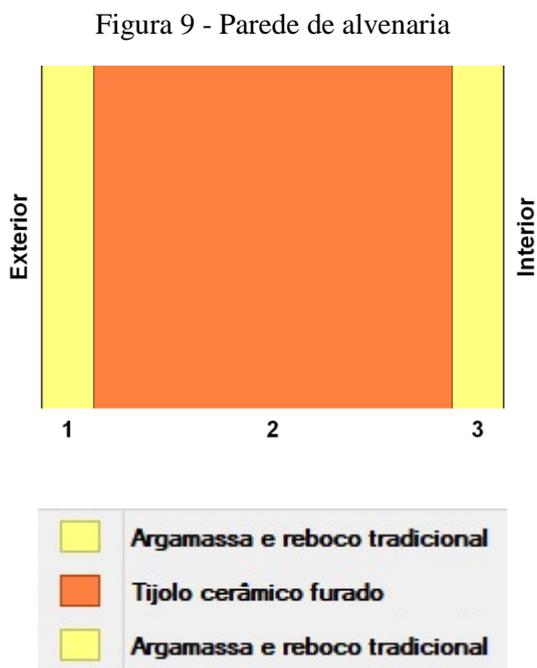


Fonte: Elaborado pelos autores

4.5.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PAREDE DE REFERÊNCIA

De acordo com as Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos – DIRETRIZ SINAT 001 (2017^a), o sistema de parede de referência é definido como: Parede de alvenaria de blocos cerâmicos de 140 mm de espessura com revestimento de argamassa de 20 mm de espessura em ambas as faces como apresentada na Figura 9.

Foi adotado a parede com espessura total de 180 mm, considerando o bloco de 6 furos, com revestimento de argamassa de 20 mm. Considerou-se as características térmicas dos materiais segundo as definições normatizadas, seguindo as referências da norma ABNT NBR 15270 (2005).



Fonte: Elaborado pelos autores

4.6. TEMPERATURA INTERNA MÉDIA E CLASSE DE HIGROMETRIA

Apesar de todo o mérito de tratarmos de uma metodologia proposta por uma ISO, esse método não é o mais convencional para tratamento de assuntos sobre Conforto Térmico no Brasil, portanto houve a necessidade de realizar considerações baseadas em regulamentos das características de comportamento térmico de edifícios internacionais. Segundo a ISO 9241:1998, estabelece que o ideal é manter a temperatura entre 20 e 24 graus no verão e 23 e 26 no inverno. Para melhor aplicação dessas informações no modelo de cálculo, considerou-se uma temperatura interior constante de 25°C.

Em relação a umidade relativa interna da habitação, a própria ISO 13788:2012 descreve que a carga de umidade interna pode ser descrita por cinco classes de umidade.

Quadro 2 - Orientação sobre a seleção da classe de umidade

CLASSE DE UMIDADE	CONSTRUÇÃO
1	EDIFÍCIOS DESOCUPADOS, ARMAZENAGEM DE MERCADORIAS SECAS
2	ESCRITÓRIOS, HABITAÇÕES COM OCUPAÇÃO NORMAL E VENTILAÇÃO
3	EDIFÍCIOS COM OCUPAÇÃO DESCONHECIDA
4	EVENTOS DESPORTIVOS, COZINHAS, CANTINAS
5	EDIFÍCIOS ESPECIAIS, POR EXEMPLO, LAVANDARIA, CERVEJARIA, PISCINA

Fonte – EN ISO 13788 (2012)

Considerando o mesmo projeto arquitetônico apresentado, adotou-se que a habitação se enquadra na Classe de umidade 3 – Edifícios com ocupação desconhecida proposto pela ISO 13788:2012.

4.7. COMPARAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Uma vez que a situação de ocupação desconhecida foi avaliada como cenário de maior coerência, realizou-se uma comparação considerando os dois sistemas construtivos (parede de concreto leve e parede cerâmica) e as relações entre os fatores de resistência superficial interior, que representa o risco de ocorrências de condensação apresentados para cada sistema construtivos para as diferentes zonas. O cálculo dessa relação foi uma adaptação da Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos - DIRETRIZ SINAT 001 (2017a).

O fator de resistência superficial interior de risco de condensação para o sistema de paredes objeto desta análise, em um período de um ano, considerando as condições estabelecidas no item 4.5 e a região bioclimática, pode ser, no máximo, 20% maior que aquele de uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos de 140 mm de espessura com revestimento de argamassa de 20 mm de espessura em ambas as faces no mesmo período. Considerar a taxa de condensação máxima que pode ocorrer entre as paredes avaliadas, considerando os resultados da edificação ocupada.

Com relação às resistências térmicas superficiais, na norma brasileira NBR 15220 (ABNT 2005) são apresentados alguns valores médios recomendados no seu anexo A, conforme as Tabelas 1 e 2. Por estarem na norma NBR, estes valores são amplamente utilizados no

Brasil, para o dimensionamento da perda ou ganho de calor da edificação, independente das características ambientais de cada região.

Quadro 3 - Resistência térmica superficial interna (NBR 15220)

Rsi (m ² K)/W		
Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	↑	↓
0,13	0,10	0,17

Fonte - ISO 6946 (1997)

Quadro 4 - - Resistência térmica superficial externa (NBR 15220)

Rse (m ² K)/W		
Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	↑	↓
0,04	0,04	0,04

Fonte - ISO 6946 (1997)

É importante observar que os valores sugeridos na norma são constantes, e a mesma não apresenta explicitamente a metodologia utilizada para o cálculo, contudo, a norma alerta que a resistência térmica superficial pode variar de acordo com diversos fatores, tais como emissividade da superfície, velocidade do ar sobre a superfície e temperatura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se as considerações finais sobre os principais assuntos analisados e propostos neste trabalho de conclusão de curso.

Aplicando toda a metodologia descrita no item 4 e com os resultados obtidos comparados com os resultados do relatório AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – Roriz (2017), podemos afirmar que a transferência de umidade é um processo muito complexo e o conhecimento de mecanismos de transferência de umidade, propriedades do material, as condições iniciais e as condições de fronteira é muitas vezes limitado. Mesmo a ISO 13788:2012

que estabelece métodos de cálculo simplificados, que assumem que o transporte de umidade é por difusão de vapor e usar dados climáticos mensais. A semelhança entre os resultados desse método de cálculo não exclui o uso de métodos mais avançados como o recomendado pela diretriz SiNAT N° 01 - revisão 03 (2017).

A comparação dos resultados obtidos permite notar o efeito dos pontos em comum entre os métodos e das diferentes variáveis consideradas entre eles e assim podemos afirmar que o clima externo obviamente tem grande influência na análise de desempenho em ambos os métodos, observa-se que em climas mais frios, existe uma maior dependência entre a ocorrência da condensação com a capacidade das paredes em isolar termicamente o ambiente. Quanto mais baixa a temperatura externa maior a chance de ocorrência da condensação. Da mesma forma quanto maior a umidade do ar, mais alta a temperatura do ponto de orvalho e, portanto, mais facilmente se atinge esse limite.

Em relação às características da parede de referência vale lembrar que as combinações de características dos materiais e geométricas definem a transmitância térmica dos sistemas construtivos. A condutividade dos materiais é um fator determinante nas duas metodologias, mas é de grande influência da geometria, pelas câmaras de ar existentes nos elementos e pelas resistências superficiais das paredes. Desta forma não exatamente a espessura ou outra característica isolada da parede deve ser considerada como determinante em seu desempenho higrotérmico e sim todo o conjunto destas. Assim, a definição de características claras e objetivas de todo o conjunto destas propriedades é imprescindível para a correta avaliação e comparação de desempenho.

No Quadro 5 apresenta-se em resumo os resultados obtidos neste trabalho através da metodologia apresentada no item 4, e conforme a ISO 13788:2012 as Zonas 6, 7 e 8 não apresentam riscos de formação de condensações superficiais, já que o fator de resistência superficial interior mínimo ($f_{R_{si,min}}$) tem seu valor nulo, por conta das temperaturas do ar exterior serem maiores que a temperatura interior adotada de 25°C.

Para a comparação justa entre os métodos, foi aplicado a condição de aprovação do uso do sistema construtivo sugerido pelo SiNAT N° 01 - revisão 03 (2017) onde, neste caso, a relação entre os fatores de resistência superficial interior da parede de concreto leve e

da parede de alvenaria cerâmica devem ser de no máximo 20% no mesmo período, como no caso das Zonas 3, 4 e 5 não apresentarem riscos de condensações superficiais.

No Apêndice, encontram-se os resultados referentes às simulações efetuadas para cada uma das Zonas Bioclimática utilizando os dois diferentes sistemas construtivos, recorrendo ao programa de cálculo automático, CYPETHERM.

Quadro 5 - Relação média entre condensação no sistema cerâmico e em concreto leve pelo método da ISO13788:2012

ZONA BIOCLIMÁTICA	Cerâmica	Concreto	Cerâmica	Concreto	Relação
	f_{Rsi}	f_{Rsi}	$f_{Rsi} - f_{Rsi,min}$	$f_{Rsi} - f_{Rsi,min}$	
ZONA 1	0,401	0,275	0,126	0,338	37,28%
ZONA 2	0,351	0,275	0,076	0,288	26,39%
ZONA 3	0,311	0,275	0,036	0,248	14,52%
ZONA 4	0,305	0,275	0,030	0,242	12,40%
ZONA 5	0,327	0,275	0,052	0,264	19,70%
ZONA 6	0,000	0,275	0,000	0,000	0,00%
ZONA 7	0,000	0,275	0,000	0,000	0,00%
ZONA 8	0,000	0,275	0,000	0,000	0,00%

Fonte – Elaborado pelos autores

O Quadro 6 foi retirada do relatório AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – Roriz (2017), ela apresenta os resultados da análise feita utilizando o método convencional no Brasil e podemos observar que os resultado são muito semelhantes, mas com algumas divergências, tanto no número de zonas onde o sistema construtivo de parede de concrete leve foi aprovado como na valor da relação desse sistema com o sistema de paredes de cerâmica.

Quadro 6 – Relação média entre condensação no sistema cerâmico e em concreto leve pelo método da DIRETRIZ SINAT 001 (2017a)

ZONA BIOCLIMÁTICA	Horas de condensação		
	Cerâmica	Concreto	Relação
ZONA 1	24400	31150	27,70%
ZONA 2	23913	29534	23,50%
ZONA 3	20386	25659	25,90%
ZONA 4	16115	19157	18,90%
ZONA 5	26429	31252	18,20%
ZONA 6	14848	17965	20,90%
ZONA 7	30310	32672	7,80%
ZONA 8	46192	43344	-6,20%

Fonte – AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – Roriz (2017)

Por serem métodos de abordagem muito distintos em relação à análise de condensação interna, existem diferentes variáveis consideradas entre esses dois métodos.

Uma dessas variáveis é a não consideração da arquitetura, como disposição dos ambientes internos e aberturas de janelas e portas na metodologia proposta pela a ISO 13788:2012. Outra questão é a descrição específica da ocupação da edificação, que é de grande importância, pois incluir a ocupação, o calor dissipado por pessoas e demais elementos da ocupação, eleva as temperaturas do ar interno, reduzindo o risco de condensação. Por outro lado, esta mesma ocupação (e suas atividades) libera vapor d'água no ambiente, elevando a umidade, portanto consideramos de extrema importância a análise desses fatores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho realizou-se uma avaliação da possibilidade de ocorrências da condensação superficial através de um procedimento proposto para simulação computacional do desempenho higrotérmico de edifícios pela ISO 13788:2012. A comparação do método proposto pela ISO 13788:2012 direta não é possível com o método utilizado atualmente no Brasil, que é o método proposto pelo SiNAT pois, depois de aplicados ambos os métodos, os valores de saída são em unidades distintas, na ISO temos os valores de fator de resistência superficial, já no SiNAT, a saída é em horas de condensação.

Mas observou-se que com poucas alterações nos quesitos descritos é possível se adaptar o método, permitindo observações dos aspectos integrados dos elementos de influência no processo como os efeitos da ventilação e da absorção solar das fachadas. Este estudo é limitado às imperfeições de qualquer modelo de simulação, onde não é possível observar todos os efeitos pontuais, “Pontes Térmicas”, detalhes de esquadrias e às simplificações inerentes à criação de qualquer modelo.

Incertezas quanto à correta emissividade de superfícies e a real temperatura externa poderiam alterar os resultados, bem como o método de cálculo dos coeficientes de convecção ou transmissão de calor. Porém, não se espera aqui, ter a falsa ideia de perfeição, mas sim aplicar um mecanismo poderoso de observação da natureza e de solução de problemas de engenharia.

Para trabalhos futuros é interessante saciar lacunas e carências percebidas ao longo do desenvolvimento desde trabalho de conclusão de curso:

- Estudos para adaptação na ISO 13788:2012 para climas tropicais, visto que a mesma foi elaborada com a intenção de atender o clima temperado europeu.
- Parametrização das diferentes variáveis consideradas no CYPETHERM, assim como foi feito para o EnergyPlus, assim dando maiores opções de simulação computacional para o projetista.
- O recolhimento e tratamento de dados climáticos mais confiáveis e atuais, afim de evitar a propagação de erro dos bancos de dados disponíveis atualmente.

REFERÊNCIAS

ABNT , N. 1.-3. **ABNT NBR 15220-3 : DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES PARTE 3: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO E DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. RIO DE JANEIRO. 2003.

ABNT NBR 13749. **REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS DE ARGAMASSAS INORGÂNICAS - ESPECIFICAÇÃO.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [S.L.]. 2013.

ABNT NBR 15270. **COMPONENTES CERÂMICOS - BLOCOS CERÂMICOS PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [S.L.]. 2005.

ABNT NBR 15575. **ABNT NBR 15575 : DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [S.L.]. 2013.

ABNT NBR 16055. **ABNT NBR 16055: PAREDE DE CONCRETO MOLDADA "IN LOCO" PARA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES - REQUISITOS E PROCEDIMENTOS).** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. RIO DE JANEIRO. 2012.

ALSMO, ; ALSMO, C. **VENTILATION AND RELATIVE HUMIDITY IN SWEDISH BUILDINGS.** OLTEN. [S.L.], p. 1022 - 1036. 2014.

ALUCCI, M. P. **INADEQUAÇÃO CLIMÁTICA DA EDIFICAÇÃO: DO EXCESSIVO CONSUMO DE ENERGIA AO COMPROMETIMENTO DA SAÚDE DO USUÁRIO.** SÃO PAULO, p. 499 A 502. 1988.

ARUNDEL, A. V. ET AL. **INDIRECT HEALTH EFFECTS OF RELATIVE HUMIDITY IN INDOOR ENVIRONMENTS.** [S.L.]. 1986.

BS 5250. **CODE OF PRACTICE FOR CONTROL OF CONDENSATION IN BUILDINGS.** BRITISH STANDARDS INSTITUTION. [S.L.]. 2002.

BUSCH, J. F. **ENERGY AND BUILDINGS: A TALE OF TWO POPULATIONS: THERMAL COMFORT IN AIR-CONDITIONED AND NATURALLY VENTILATED OFFICES IN THAILAND.** [S.L.], p. 235 A 249. 1992.

CÂNOVAS, M. F. **PATOLOGIA E TERAPIA DO CONCRETO ARMADO**. [S.L.], p. 522. 1988.

CYPE ENGINIEROS. **CYPETHERM HYGRO**. [S.L.]. 2019.

EN ISO 13788. **HYGROTHERMAL PERFORMANCE OF BUILDING COMPONENTS AND BUILDING ELEMENTS -
- INTERNAL SURFACE TEMPERATURE TO AVOID CRITICAL SURFACE HUMIDITY AND INTERSTITIAL
CONDENSATION**. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. [S.L.]. 2012.

ESGANZELA, J. A. **MATERIAL DE ESTUDO PARA O ENSINO UMIDADE RELATIVA DO AR**. UNIVERSIDADE
FEDERAL DE MATO GROSSO. [S.L.]. 2014.

GIVONI, B. **ENERGY AND BUILDING - COMFORT, CLIMATE ANALYSIS AND BUILDING DESIGN GUIDELINES**.
[S.L.]: ELSEVIER, v. 18, 1992.

ISO 9241. **ERGONOMIC REQUIREMENTS FOR OFFICE WORK WITH VISUAL DISPLAY TERMINALS**.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. [S.L.]. 1998.

KLÜPPEL, G. P.; SANTANA, M. C. **MANUAL DE CONSERVAÇÃO PREVENTIVA PARA EDIFICAÇÕES**.
IPHAN. BRASÍLIA. 2000.

LEMONS MARTINS, T. A. **CONTRIBUIÇÃO AO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO: REFLEXÕES
SOBRE O SEMINÁRIO NORDESTINO**. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO.
PORTO ALEGRE. 2012.

LOPES, R. P.; SILVA, J. D. S.; REZENDE, R. C. **PRINCÍPIOS BÁSICOS DE PSICROMETRIA**. [S.L.]. 2014.

MACEDO, J. V. ET AL. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS CAUSADAS PELA UMIDADE DEVIDO À FALHA OU
AUSÊNCIA DE IMPERMEABILIZAÇÃO: ESTUDO DE CASO**. CONPAR - CONFERÊNCIA NACIONAL DE
PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS. [S.L.]. 2017.

MADEIRA, A. D. Q. **ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO ESTADO DO PARANÁ**. DISSERTAÇÃO (MESTRADO)
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. FLORIANÓPOLIS. 1999.

MIRANDA, J. H. **FÍSICA DO AMBIENTE AGRÍCOLA**. SÃO PAULO. 2003.

PINHEIRO E PINHO, D. D. T. **SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDE DE CONCRETO - UM ESTUDO DE CASO.** UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. FORTALEZA. 2010.

RORIZ, M.; LAMBERTS, R.; GHISI, . **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS: PROJETO INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.** FLORIANÓPOLIS. 1998.

RTQ-R: REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS. [S.L.].

SANTOS, A. PAREDES DE CONCRETO JÁ DOMINAM MINHA CASA MINHA VIDA. **MASSA CINZENTA**, 12 MAIO 2016. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.CIMENTOITAMBE.COM.BR/PAREDES-DE-CONCRETO-MINHA-CASA-MINHA-VIDA/](https://www.cimentoitambe.com.br/paredes-de-concreto-minha-casa-minha-vida/)>.

SEARS, ; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **FISICA 2 - MECANICA DOS FLUIDOS , CALOR, MOVIMENTO ONDULATORIO.** RIO DE JANEIRO, P. 385 - 387. 1984.

SILVA, A. C. S. B. **ANTONIO CÉSAR SILVEIRA BAPTISTA DA.** PORTO ALEGRE. 1994.

SINAT (001). **DIRETRIZ PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA DE PAREDES ESTRUTURAIS DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL.** SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. BRASÍLIA. 2017.

SOUZA, J. A. C. PROBLEMAS EM OBRAS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA. **REVISTA ESPECIALIZE ON LINE IPOG**, 2017. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.IPOG.EDU.BR/REVISTA-ESPECIALIZE-ONLINE/EDICAO-N14-2017/PROBLEMAS-EM-OBRAS-DO-PROGRAMA-MINHA-CASA-MINHA-VIDA/](https://www.i Pog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n14-2017/problemas-em-obras-do-programa-minha-casa-minha-vida/)>.

SOUZA, M. F. **PATOLOGIAS OCASIONAIS PELA UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. BELO HORIZONTE. 2008.

VERÇOZA, Ê. J. **PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES.** PORTO ALEGRE. 1991.

WATT, D. **BUILDING PATHOLOGY: PRINCIPLES AND PRACTICE.** OXFORD: BLACKWELL PUBLISHING. [S.L.], P. 320. 2009.

APÊNDICE A – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 1

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.275 \geq F_{RSI,MIN} = 0.401$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 2.900 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI,MIN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

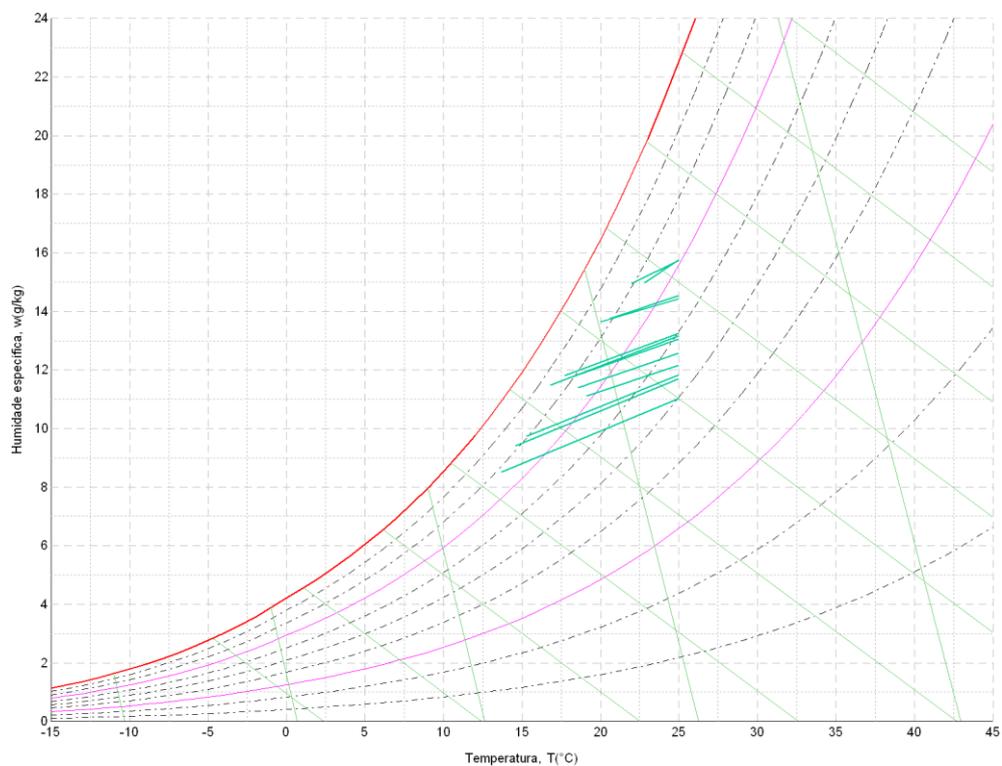
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

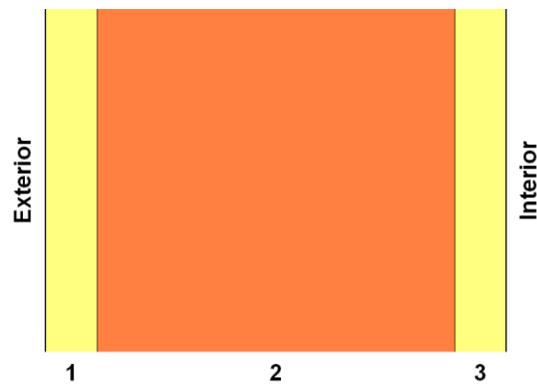
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	22.0	22.8	20.0	17.7	16.8	14.6	13.7	15.3	19.1	18.2	18.6	20.6
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	81	77	83	84	86	81	78	81	72	81	76	81
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)							25.0					
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR								3					

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **924 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2	TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	22.0	80.5	2127.14	100.00	2237.14	2796.42	22.9	25.0	70.7	0.311
FEVEREIRO	22.8	76.8	2130.45	100.00	2240.45	2800.56	23.0	25.0	70.8	0.071
MARÇO	20.0	83.2	1944.34	100.00	2054.34	2567.93	21.5	25.0	64.9	0.306
ABRIL	17.7	83.5	1690.24	181.65	1890.06	2362.57	20.2	25.0	59.7	0.339
MAIO	16.8	86.0	1644.53	213.60	1879.49	2349.36	20.1	25.0	59.4	0.401
JUNHO	14.6	81.4	1352.06	291.70	1672.93	2091.17	18.2	25.0	52.8	0.348
JULHO	13.7	78.1	1223.74	323.65	1579.76	1974.70	17.3	25.0	49.9	0.319
AGOSTO	15.3	80.5	1398.77	266.85	1692.31	2115.38	18.4	25.0	53.5	0.320
SETEMBRO	19.1	72.0	1591.12	131.95	1736.27	2170.33	18.8	25.0	54.8	0.000
OUTUBRO	18.2	80.6	1683.66	163.90	1863.95	2329.94	20.0	25.0	58.9	0.258
NOVEMBRO	18.6	76.1	1630.02	149.70	1794.69	2243.36	19.3	25.0	56.7	0.116
DEZEMBRO	20.6	80.8	1959.53	100.00	2069.53	2586.92	21.7	25.0	65.4	0.239

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 < F_{RSI,MÍN} = 0.401$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	22.00	2642.408	2127.139	80.5		
FACE EXTERIOR	22.35	2698.983	2127.139	78.8	--	--
INTERFACE 1-2	22.50	2723.909	2139.361	78.5	--	--
INTERFACE 2-3	23.72	2931.992	2224.917	75.9	--	--
FACE INTERIOR	23.87	2958.785	2237.139	75.6	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2237.139	70.7		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

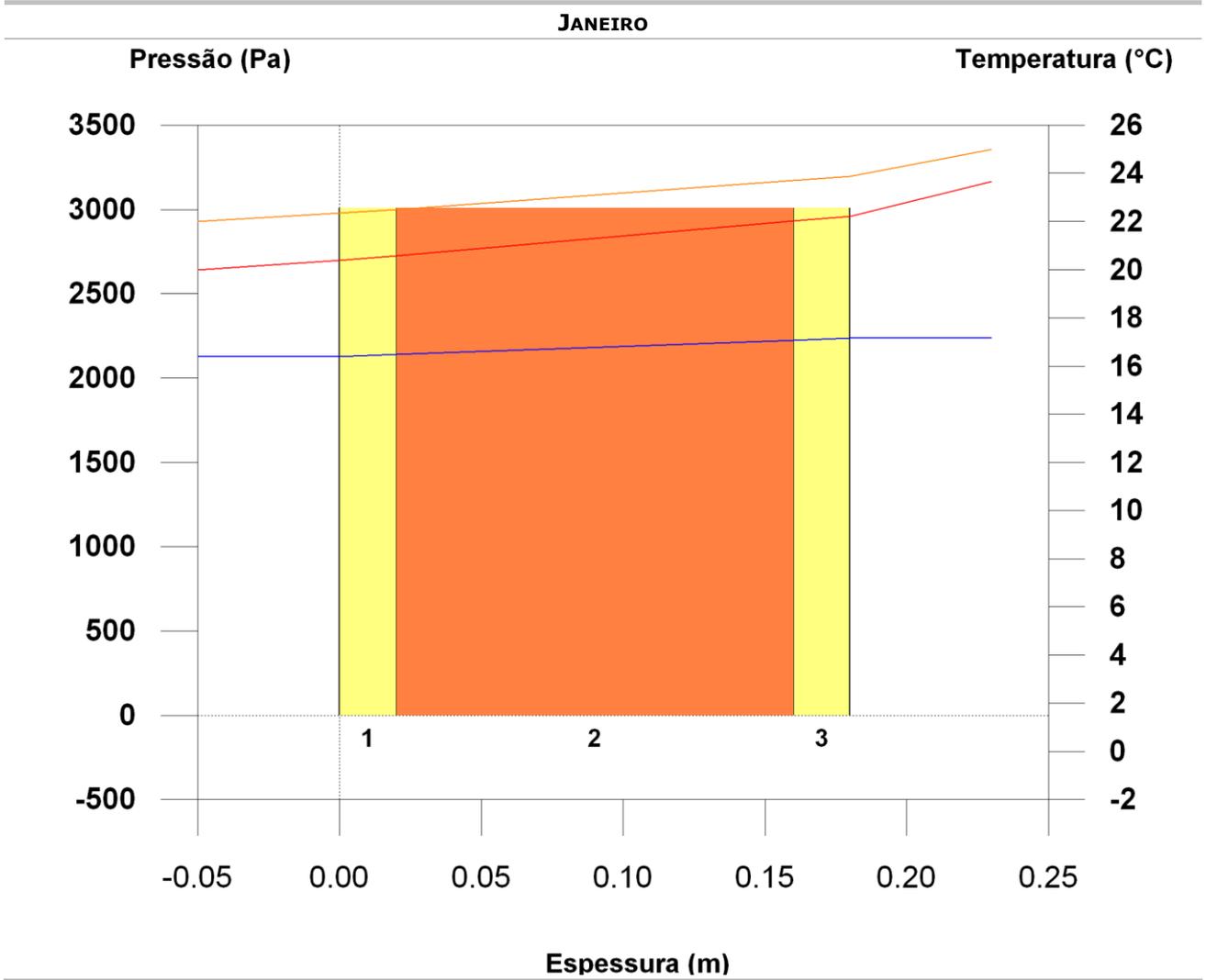
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE B – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 1

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.063 \geq F_{RSI,MIN} = 0.401$$

○ ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{Si})$, EM QUE $U = 3.748 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{Si} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

F_{RSI,MIN}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{Si,CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

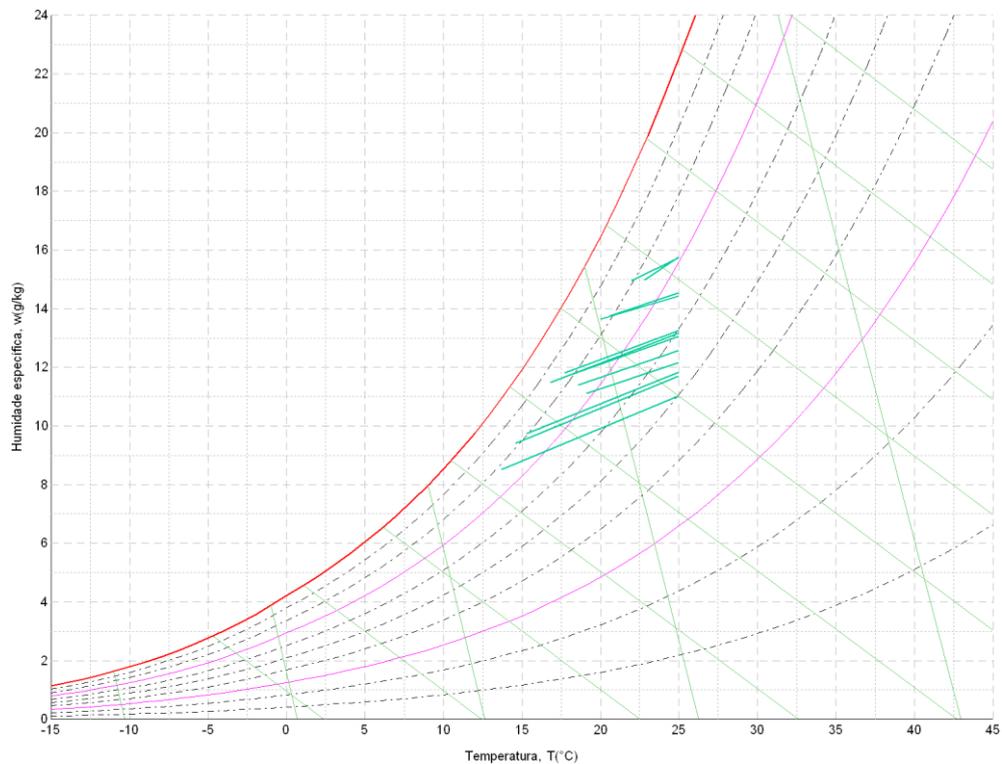
○ ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

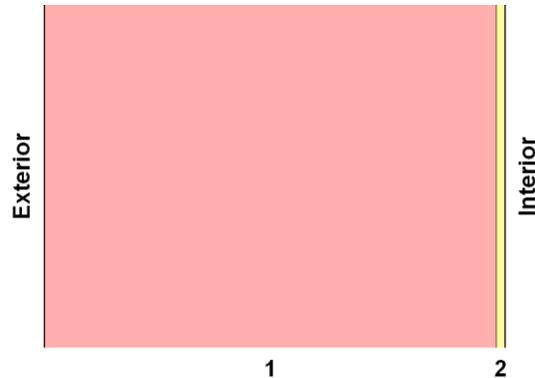
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	22.0	22.8	20.0	17.7	16.8	14.6	13.7	15.3	19.1	18.2	18.6	20.6
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	81	77	83	84	86	81	78	81	72	81	76	81
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **924 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.063

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\Phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	Θ_E (°C)	Φ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\Theta_{SI})$ (PA)	$\Theta_{SI,MÍN}$ (°C)	Θ_I (°C)	Φ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	22.0	80.5	2127.14	100.00	2237.14	2796.42	22.9	25.0	70.7	0.311
FEVEREIRO	22.8	76.8	2130.45	100.00	2240.45	2800.56	23.0	25.0	70.8	0.071
MARÇO	20.0	83.2	1944.34	100.00	2054.34	2567.93	21.5	25.0	64.9	0.306
ABRIL	17.7	83.5	1690.24	181.65	1890.06	2362.57	20.2	25.0	59.7	0.339
MAIO	16.8	86.0	1644.53	213.60	1879.49	2349.36	20.1	25.0	59.4	0.401
JUNHO	14.6	81.4	1352.06	291.70	1672.93	2091.17	18.2	25.0	52.8	0.348
JULHO	13.7	78.1	1223.74	323.65	1579.76	1974.70	17.3	25.0	49.9	0.319
AGOSTO	15.3	80.5	1398.77	266.85	1692.31	2115.38	18.4	25.0	53.5	0.320
SETEMBRO	19.1	72.0	1591.12	131.95	1736.27	2170.33	18.8	25.0	54.8	0.000
OUTUBRO	18.2	80.6	1683.66	163.90	1863.95	2329.94	20.0	25.0	58.9	0.258
NOVEMBRO	18.6	76.1	1630.02	149.70	1794.69	2243.36	19.3	25.0	56.7	0.116
DEZEMBRO	20.6	80.8	1959.53	100.00	2069.53	2586.92	21.7	25.0	65.4	0.239

ONDE:

Θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

Φ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

Θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\Theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\Theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

Φ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 < F_{RSI,MÍN} = 0.401$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	22.00	2642.408	2127.139	80.5		
FACE EXTERIOR	22.45	2715.724	2127.139	78.3	--	--
INTERFACE 1-2	23.52	2897.477	2237.111	77.2	--	--
FACE INTERIOR	23.54	2900.498	2237.139	77.1	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2237.139	70.7		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

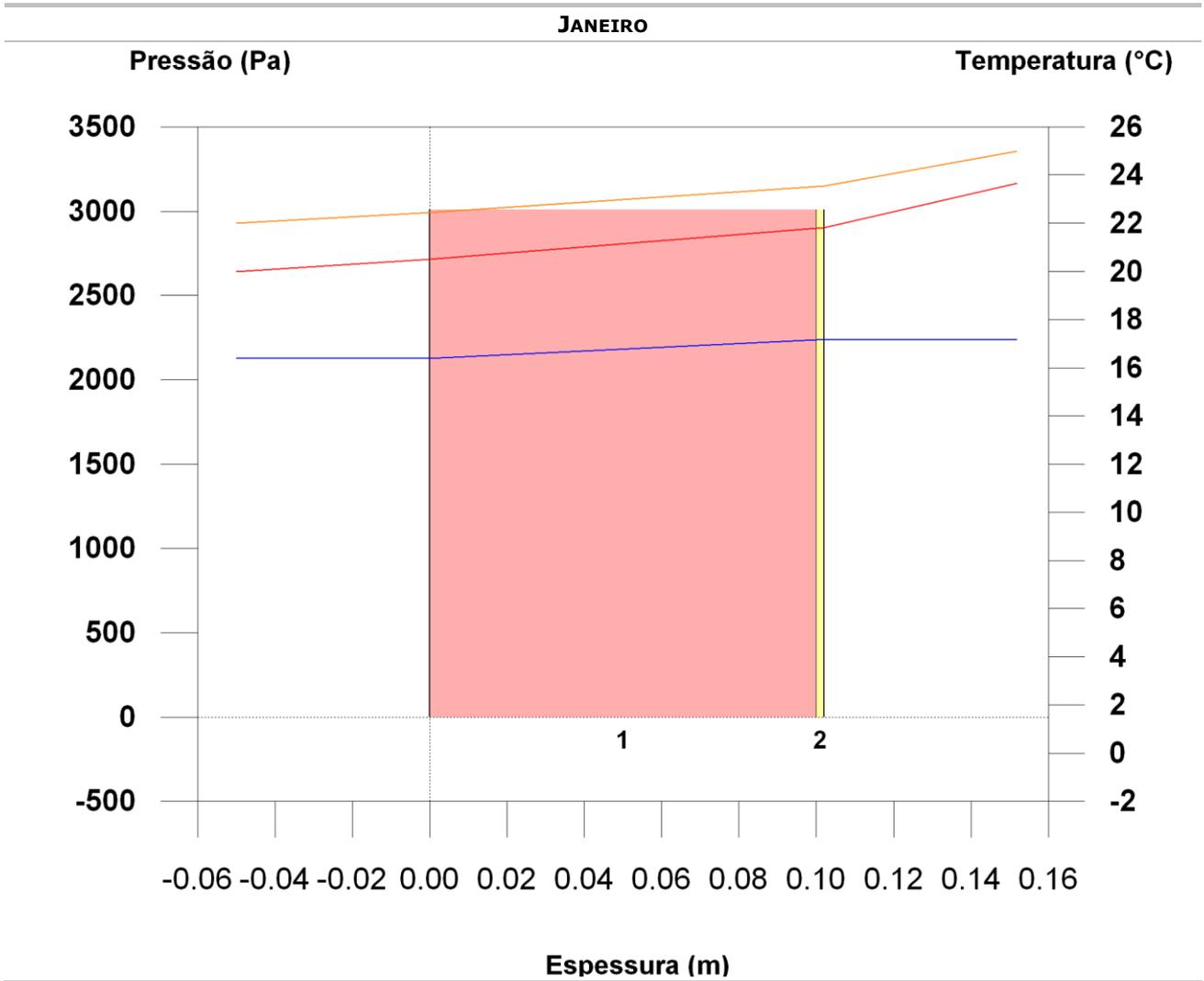
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE C – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.275 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.351$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 2.900 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

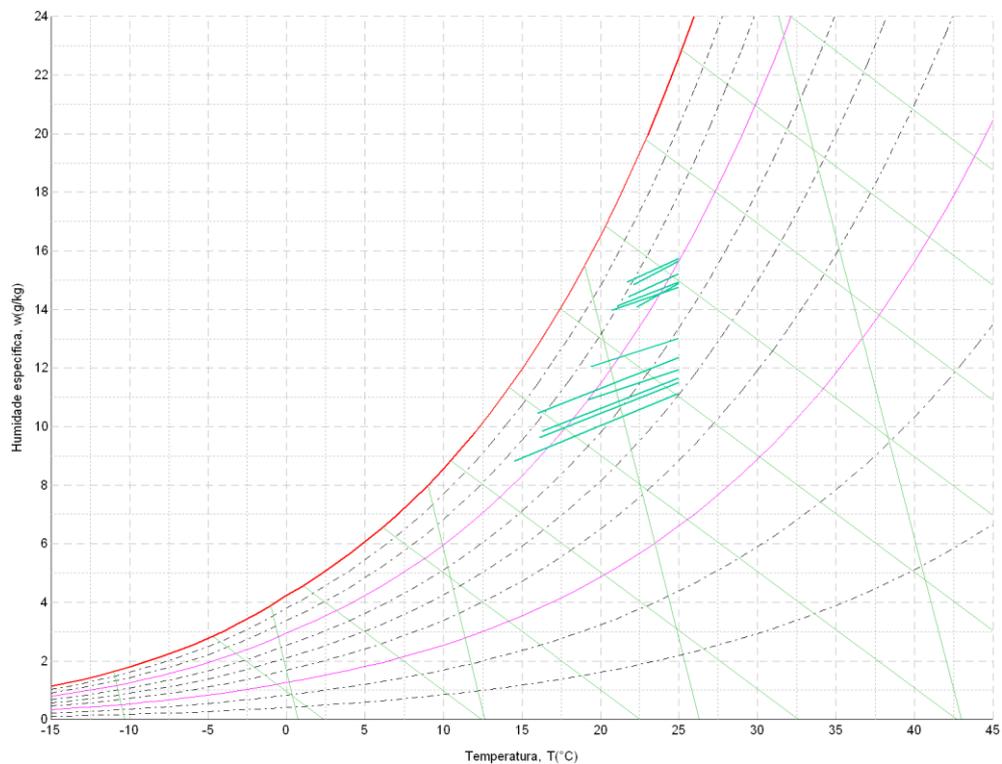
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDIÇÕES DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

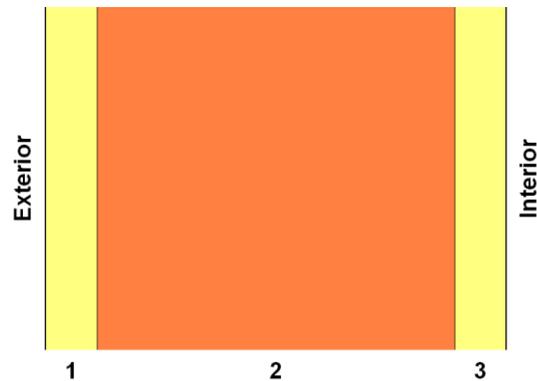
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_E	(°C)	21.7	21.8	22.1	19.4	16.3	16.0	14.5	16.1	19.2	20.7	21.1	22.3
HUMIDADE RELATIVA, Φ_E	(%)	82	78	79	76	76	82	77	75	70	81	80	74
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **953 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	21.7	81.6	2117.09	100.00	2227.09	2783.87	22.9	25.0	70.3	0.351
FEVEREIRO	21.8	78.4	2046.53	100.00	2156.53	2695.66	22.3	25.0	68.1	0.165
MARÇO	22.1	79.2	2105.58	100.00	2215.58	2769.47	22.8	25.0	70.0	0.232
ABRIL	19.4	76.2	1715.68	121.30	1849.11	2311.39	19.8	25.0	58.4	0.075
MAIO	16.3	76.0	1407.82	231.35	1662.30	2077.88	18.1	25.0	52.5	0.209
JUNHO	16.0	82.2	1493.80	242.00	1760.00	2200.00	19.0	25.0	55.6	0.336
JULHO	14.5	76.6	1264.14	295.25	1588.91	1986.14	17.4	25.0	50.2	0.276
AGOSTO	16.1	75.3	1377.18	238.45	1639.47	2049.34	17.9	25.0	51.8	0.202
SETEMBRO	19.2	70.1	1558.81	128.40	1700.05	2125.07	18.5	25.0	53.7	0.000
OUTUBRO	20.7	81.3	1983.84	100.00	2093.84	2617.30	21.8	25.0	66.1	0.266
NOVEMBRO	21.1	80.2	2005.71	100.00	2115.71	2644.64	22.0	25.0	66.8	0.234
DEZEMBRO	22.3	74.3	1999.50	100.00	2109.50	2636.87	22.0	25.0	66.6	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 < F_{RSI,MÍN} = 0.351$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	21.70	2594.478	2117.094	81.6		
FACE EXTERIOR	22.08	2655.781	2117.094	79.7	--	--
INTERFACE 1-2	22.25	2682.827	2129.316	79.4	--	--
INTERFACE 2-3	23.59	2909.451	2214.871	76.1	--	--
FACE INTERIOR	23.76	2938.737	2227.094	75.8	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2227.094	70.3		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

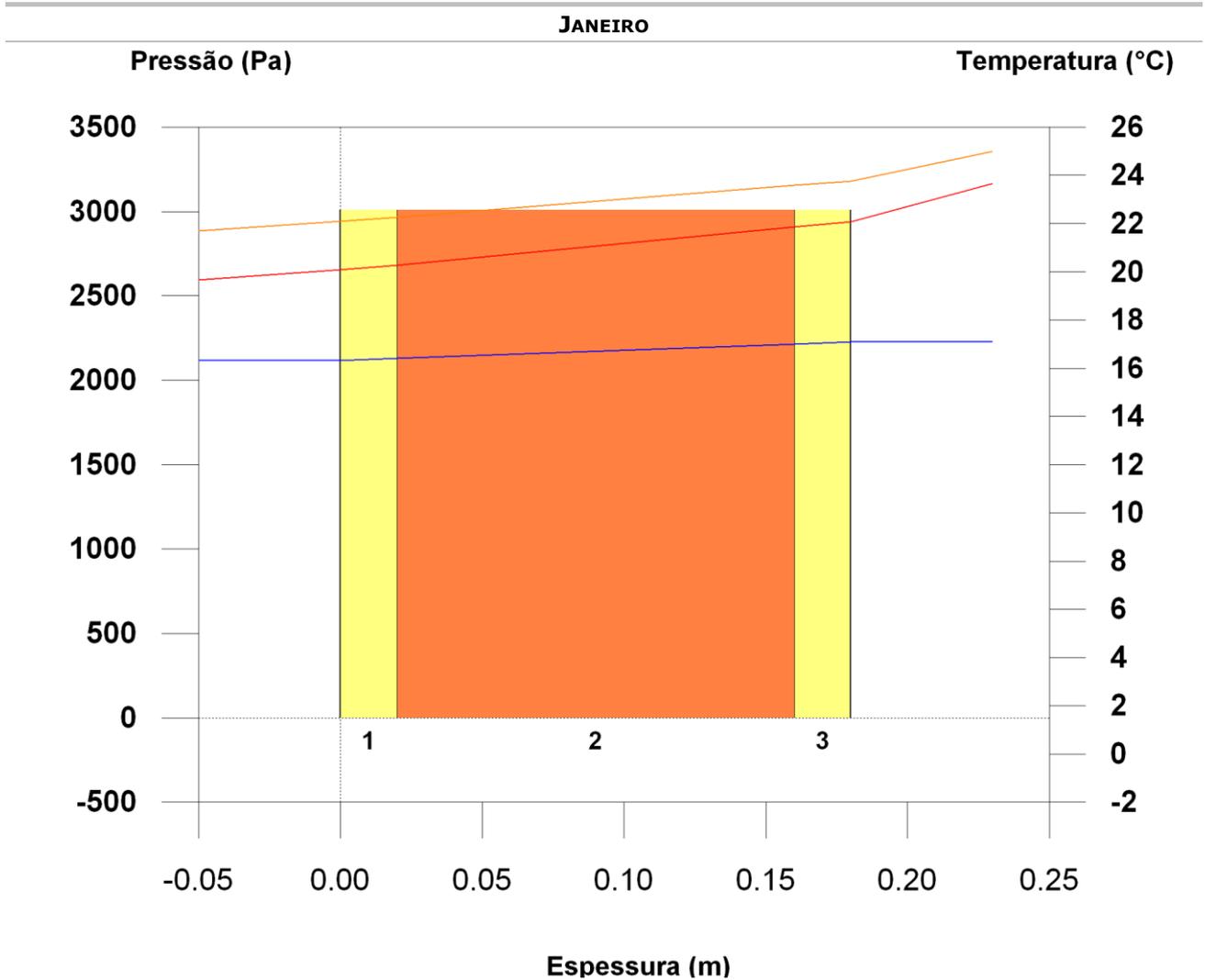
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE D– MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.063 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.351$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 3.748 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

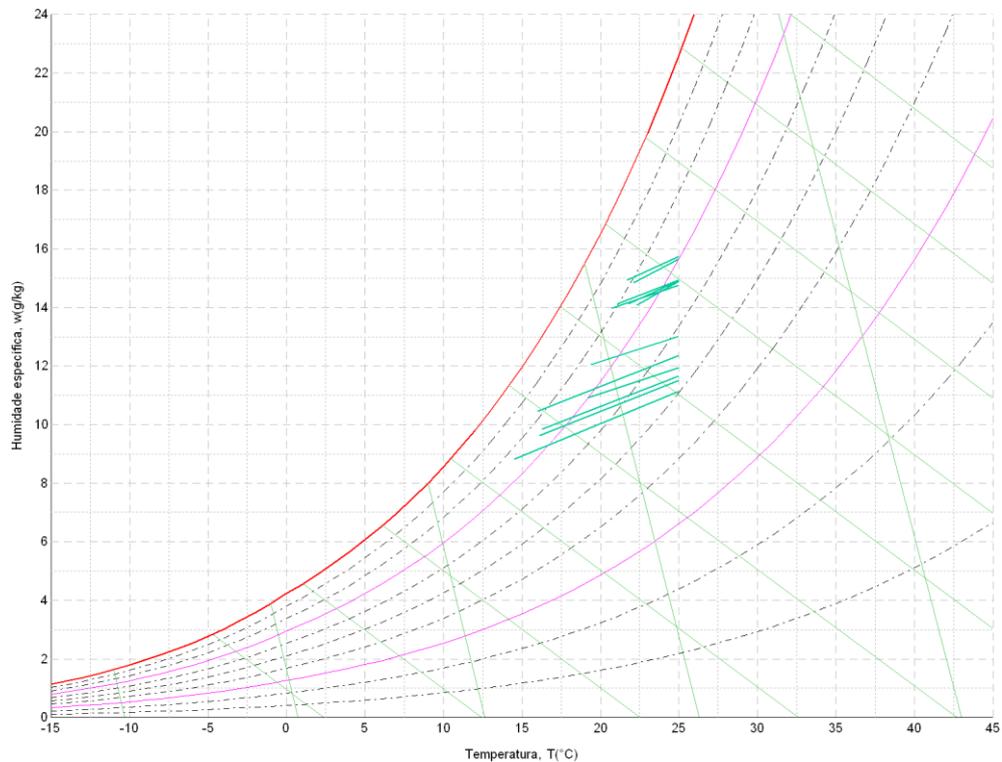
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

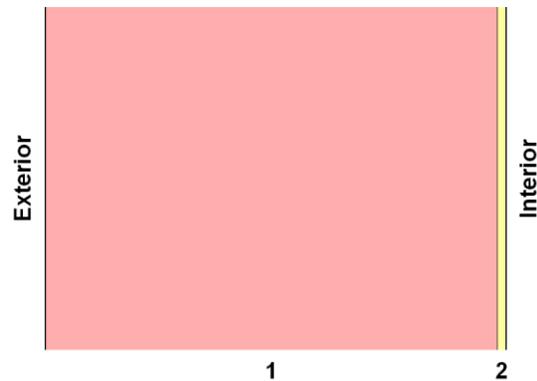
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_E	(°C)	21.7	21.8	22.1	19.4	16.3	16.0	14.5	16.1	19.2	20.7	21.1	22.3
HUMIDADE RELATIVA, Φ_E	(%)	82	77	79	76	76	82	77	75	70	81	80	74
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **953 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.063

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	21.7	81.6	2117.09	100.00	2227.09	2783.87	22.9	25.0	70.3	0.351
FEVEREIRO	21.8	76.8	2004.76	100.00	2114.76	2643.45	22.0	25.0	66.8	0.065
MARÇO	22.1	79.2	2105.58	100.00	2215.58	2769.47	22.8	25.0	70.0	0.232
ABRIL	19.4	76.2	1715.68	121.30	1849.11	2311.39	19.8	25.0	58.4	0.075
MAIO	16.3	76.0	1407.82	231.35	1662.30	2077.88	18.1	25.0	52.5	0.209
JUNHO	16.0	82.2	1493.80	242.00	1760.00	2200.00	19.0	25.0	55.6	0.336
JULHO	14.5	76.6	1264.14	295.25	1588.91	1986.14	17.4	25.0	50.2	0.276
AGOSTO	16.1	75.3	1377.18	238.45	1639.47	2049.34	17.9	25.0	51.8	0.202
SETEMBRO	19.2	70.1	1558.81	128.40	1700.05	2125.07	18.5	25.0	53.7	0.000
OUTUBRO	20.7	81.3	1983.84	100.00	2093.84	2617.30	21.8	25.0	66.1	0.266
NOVEMBRO	21.1	80.2	2005.71	100.00	2115.71	2644.64	22.0	25.0	66.8	0.234
DEZEMBRO	22.3	74.3	1999.50	100.00	2109.50	2636.87	22.0	25.0	66.6	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 < F_{RSI,MÍN} = 0.351$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	21.70	2594.478	2117.094	81.6		
FACE EXTERIOR	22.19	2673.943	2117.094	79.2	--	--
INTERFACE 1-2	23.37	2871.759	2227.066	77.6	--	--
FACE INTERIOR	23.39	2875.056	2227.094	77.5	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2227.094	70.3		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

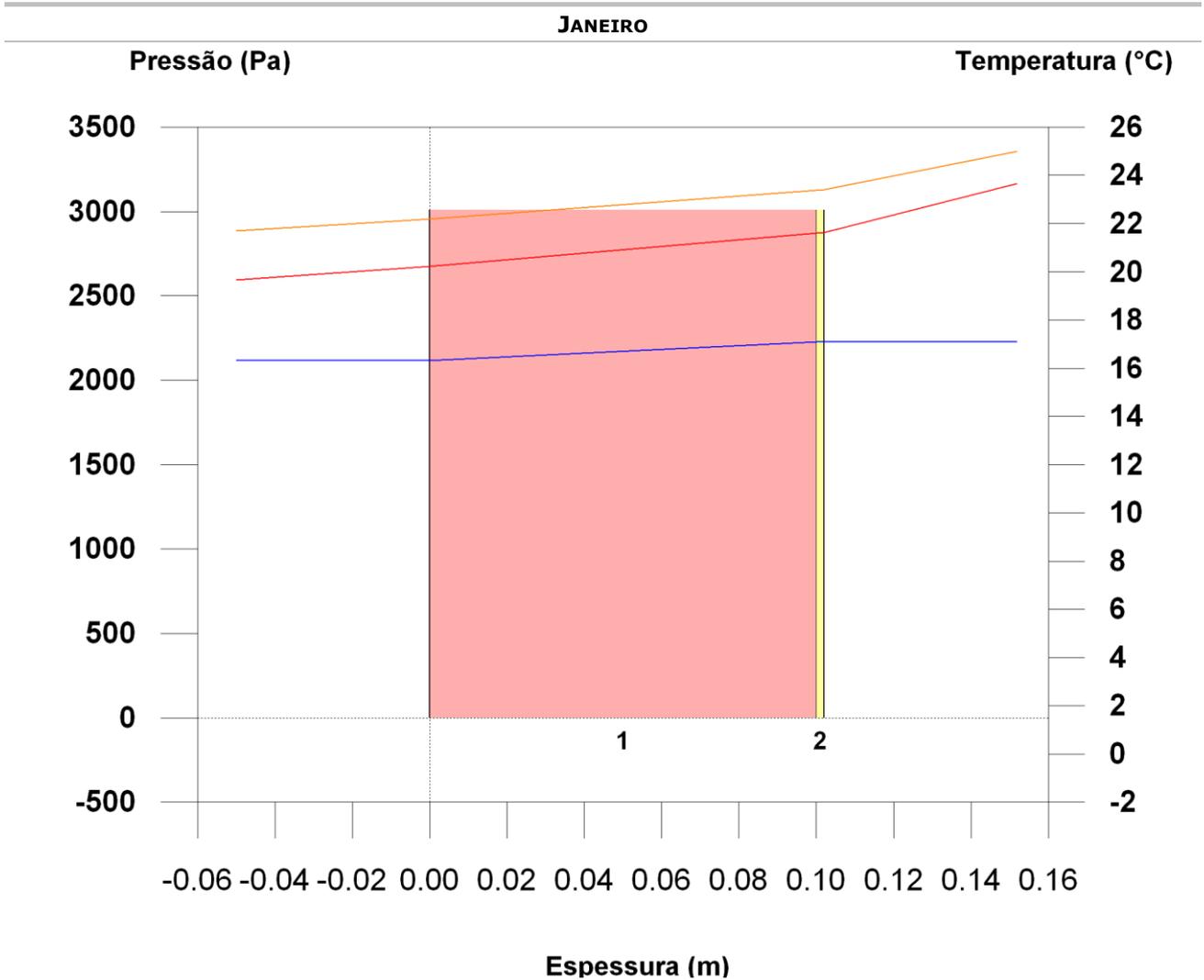
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE E – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 3

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.275 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.311$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 2.900 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

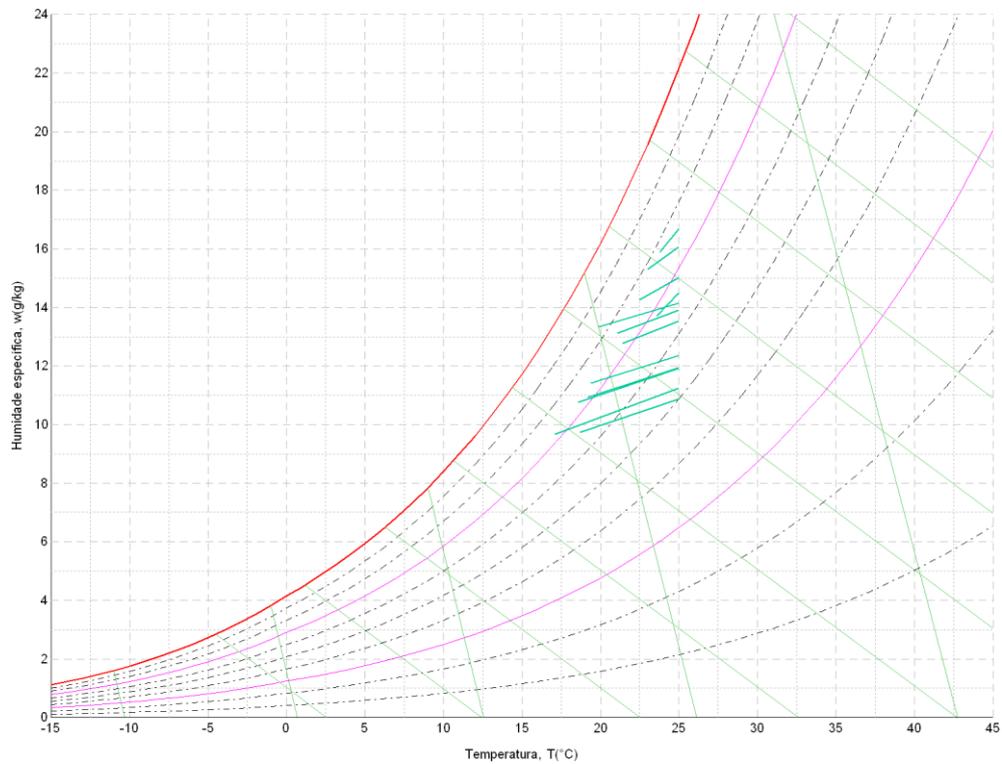
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

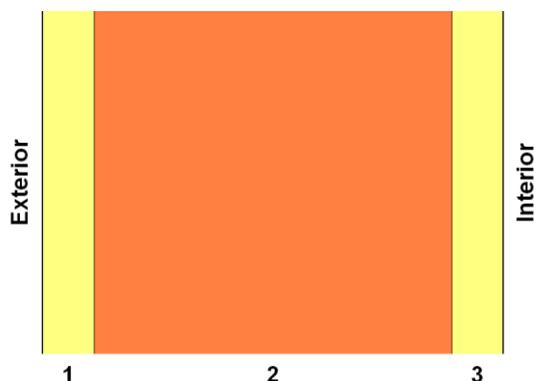
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	23.0	22.5	23.8	21.4	19.2	18.6	18.7	17.1	19.4	19.9	21.1	23.6
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	79	76	78	73	72	73	66	72	74	83	76	68
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **792 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	23.0	78.7	2209.75	100.00	2319.75	2899.68	23.5	25.0	73.3	0.267
FEVEREIRO	22.5	75.7	2062.08	100.00	2172.08	2715.10	22.4	25.0	68.6	0.000
MARÇO	23.8	77.9	2295.38	100.00	2405.38	3006.72	24.1	25.0	76.0	0.281
ABRIL	21.4	72.7	1851.89	100.00	1961.89	2452.37	20.8	25.0	62.0	0.000
MAIO	19.2	71.6	1592.17	128.40	1733.41	2166.76	18.8	25.0	54.8	0.000
JUNHO	18.6	73.1	1565.76	149.70	1730.43	2163.04	18.8	25.0	54.7	0.024
JULHO	18.7	65.9	1420.40	146.15	1581.16	1976.45	17.3	25.0	49.9	0.000
AGOSTO	17.1	72.4	1411.04	202.95	1634.29	2042.86	17.8	25.0	51.6	0.094
SETEMBRO	19.4	73.8	1661.65	121.30	1795.08	2243.85	19.3	25.0	56.7	0.000
OUTUBRO	19.9	83.3	1934.66	103.55	2048.57	2560.71	21.5	25.0	64.7	0.311
NOVEMBRO	21.1	76.1	1903.18	100.00	2013.18	2516.47	21.2	25.0	63.6	0.026
DEZEMBRO	23.6	68.2	1985.53	100.00	2095.53	2619.41	21.9	25.0	66.2	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 < F_{RSI,MÍN} = 0.311$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	23.00	2807.810	2209.746	78.7		
FACE EXTERIOR	23.23	2847.455	2209.746	77.6	--	--
INTERFACE 1-2	23.33	2864.844	2221.968	77.6	--	--
INTERFACE 2-3	24.15	3008.233	2307.524	76.7	--	--
FACE INTERIOR	24.25	3026.475	2319.746	76.6	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2319.746	73.3		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

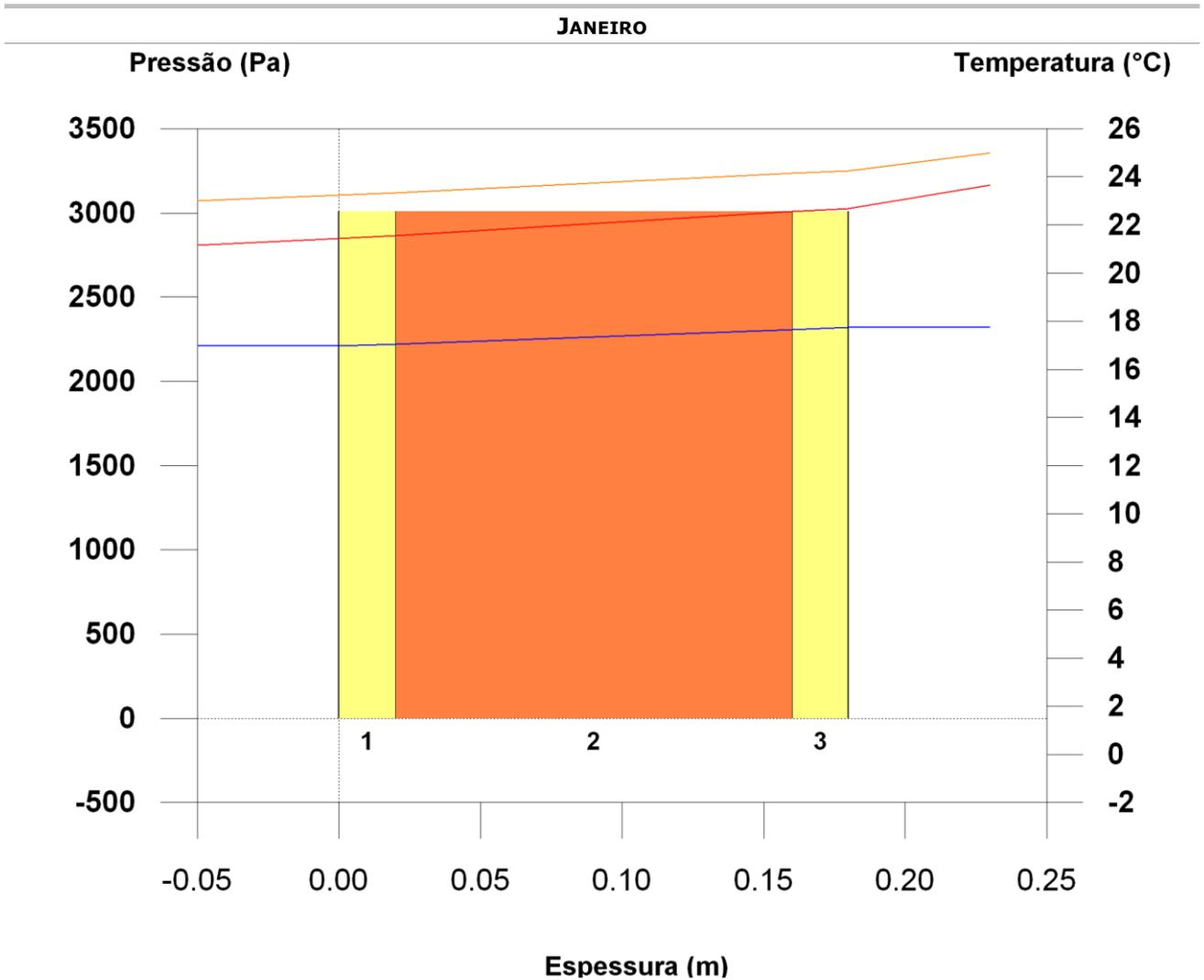
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE F – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 3

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.063 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.311$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 3.748 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

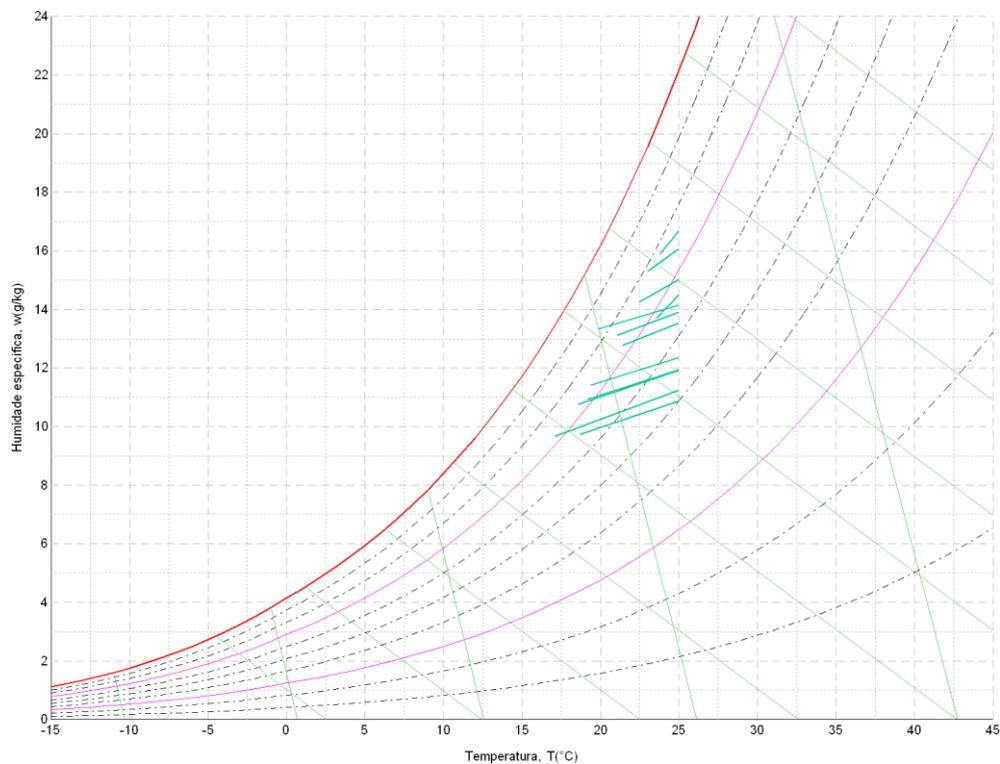
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

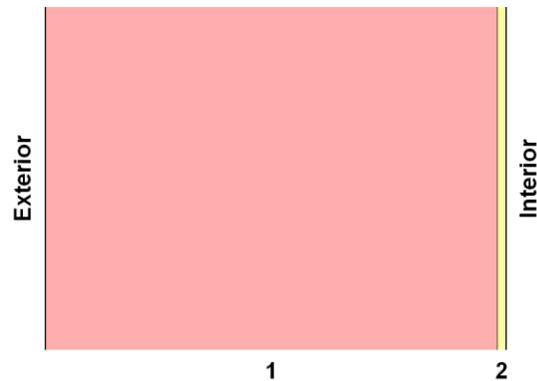
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_E	(°C)	23.0	22.5	23.8	21.4	19.2	18.6	18.7	17.1	19.4	19.9	21.1	23.6
HUMIDADE RELATIVA, Φ_E	(%)	79	76	78	73	72	73	66	72	74	83	76	68
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **792 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.063

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	23.0	78.7	2209.75	100.00	2319.75	2899.68	23.5	25.0	73.3	0.267
FEVEREIRO	22.5	75.7	2062.08	100.00	2172.08	2715.10	22.4	25.0	68.6	0.000
MARÇO	23.8	77.9	2295.38	100.00	2405.38	3006.72	24.1	25.0	76.0	0.281
ABRIL	21.4	72.7	1851.89	100.00	1961.89	2452.37	20.8	25.0	62.0	0.000
MAIO	19.2	71.6	1592.17	128.40	1733.41	2166.76	18.8	25.0	54.8	0.000
JUNHO	18.6	73.1	1565.76	149.70	1730.43	2163.04	18.8	25.0	54.7	0.024
JULHO	18.7	65.9	1420.40	146.15	1581.16	1976.45	17.3	25.0	49.9	0.000
AGOSTO	17.1	72.4	1411.04	202.95	1634.29	2042.86	17.8	25.0	51.6	0.094
SETEMBRO	19.4	73.8	1661.65	121.30	1795.08	2243.85	19.3	25.0	56.7	0.000
OUTUBRO	19.9	83.3	1934.66	103.55	2048.57	2560.71	21.5	25.0	64.7	0.311
NOVEMBRO	21.1	76.1	1903.18	100.00	2013.18	2516.47	21.2	25.0	63.6	0.026
DEZEMBRO	23.6	68.2	1985.53	100.00	2095.53	2619.41	21.9	25.0	66.2	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 < F_{RSI,MÍN} = 0.311$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	23.00	2807.810	2209.746	78.7		
FACE EXTERIOR	23.30	2859.139	2209.746	77.3	--	--
INTERFACE 1-2	24.01	2984.661	2319.719	77.7	--	--
FACE INTERIOR	24.03	2986.728	2319.746	77.7	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2319.746	73.3		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

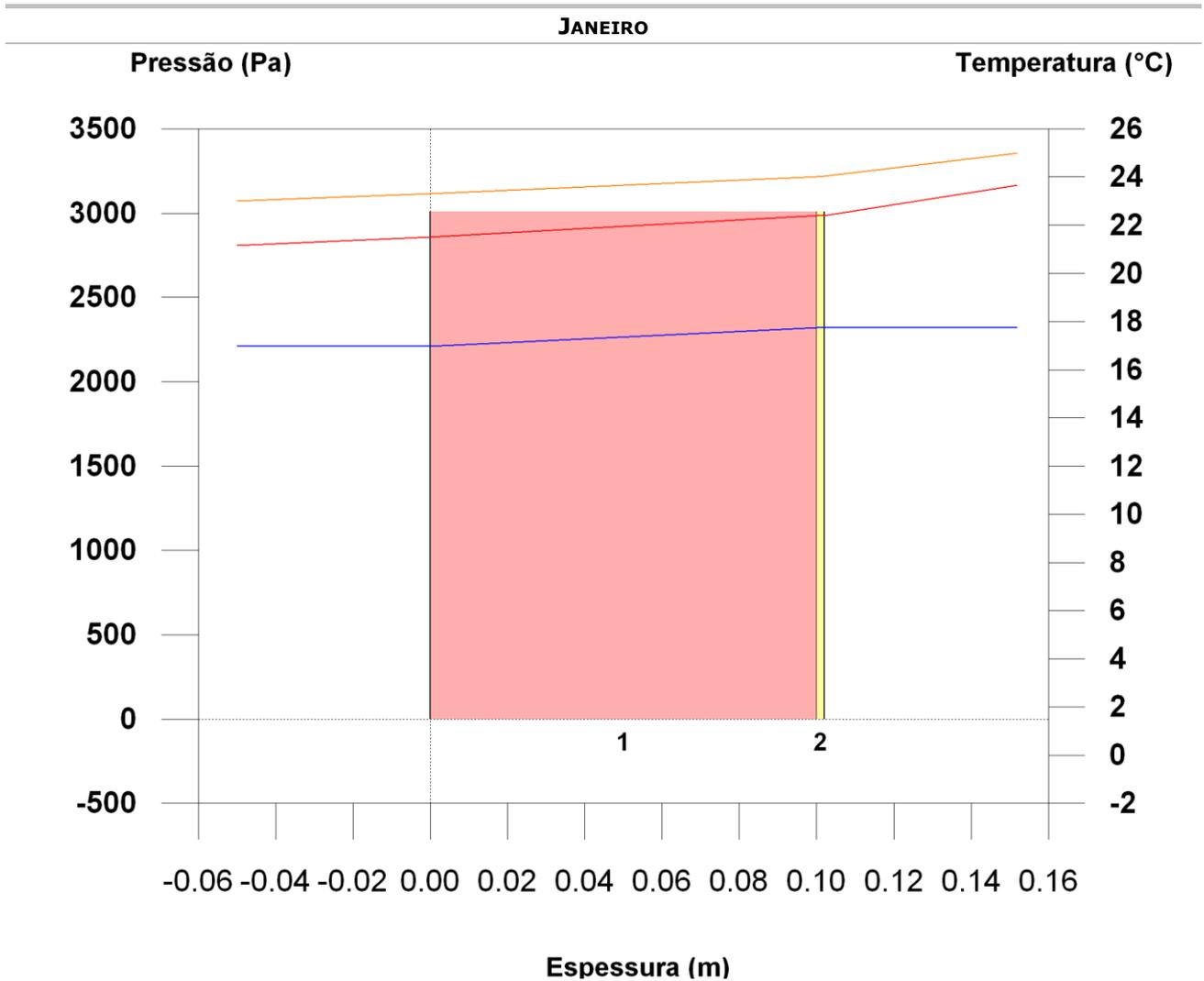
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE G – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 4

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.275 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.305$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 2.900 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

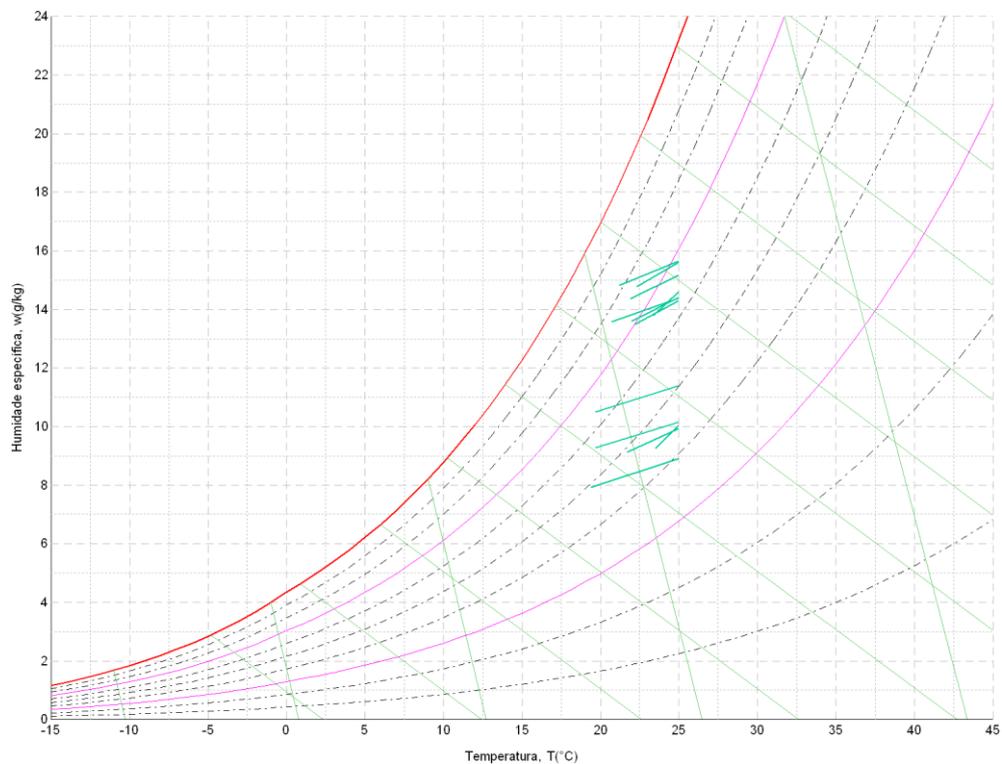
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

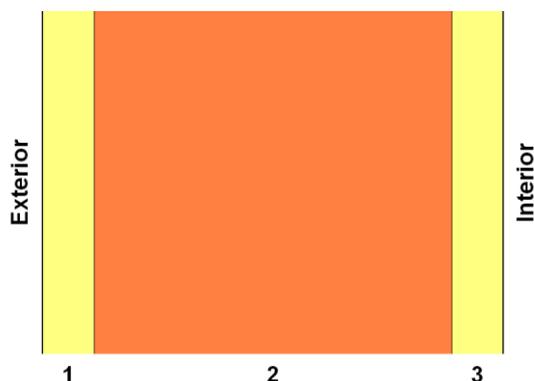
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_E	(°C)	22.2	21.9	22.3	20.7	19.7	19.7	19.4	21.7	23.5	23.4	21.2	22.0
HUMIDADE RELATIVA, Φ_E	(%)	70	76	76	77	64	56	49	49	45	66	82	71
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **1159 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	22.2	69.9	1869.68	100.00	1979.68	2474.60	20.9	25.0	62.5	0.000
FEVEREIRO	21.9	75.7	1988.14	100.00	2098.14	2622.68	21.9	25.0	66.3	0.000
MARÇO	22.3	76.0	2045.24	100.00	2155.24	2694.06	22.3	25.0	68.1	0.007
ABRIL	20.7	77.1	1881.35	100.00	1991.35	2489.19	21.0	25.0	62.9	0.075
MAIO	19.7	63.8	1463.51	110.65	1585.23	1981.53	17.4	25.0	50.1	0.000
JUNHO	19.7	56.4	1293.76	110.65	1415.48	1769.35	15.6	25.0	44.7	0.000
JULHO	19.4	49.3	1110.02	121.30	1243.45	1554.31	13.6	25.0	39.3	0.000
AGOSTO	21.7	49.1	1273.89	100.00	1383.89	1729.86	15.2	25.0	43.7	0.000
SETEMBRO	23.5	44.6	1290.66	100.00	1400.66	1750.82	15.4	25.0	44.2	0.000
OUTUBRO	23.4	66.4	1909.97	100.00	2019.97	2524.96	21.3	25.0	63.8	0.000
NOVEMBRO	21.2	81.5	2050.77	100.00	2160.77	2700.96	22.4	25.0	68.3	0.305
DEZEMBRO	22.0	71.3	1884.04	100.00	1994.04	2492.55	21.0	25.0	63.0	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 < F_{RSI,MÍN} = 0.305$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	22.20	2674.790	1869.678	69.9		
FACE EXTERIOR	22.52	2728.124	1869.678	68.5	--	--
INTERFACE 1-2	22.67	2751.601	1881.901	68.4	--	--
INTERFACE 2-3	23.80	2947.104	1967.456	66.8	--	--
FACE INTERIOR	23.94	2972.216	1979.678	66.6	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	1979.678	62.5		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

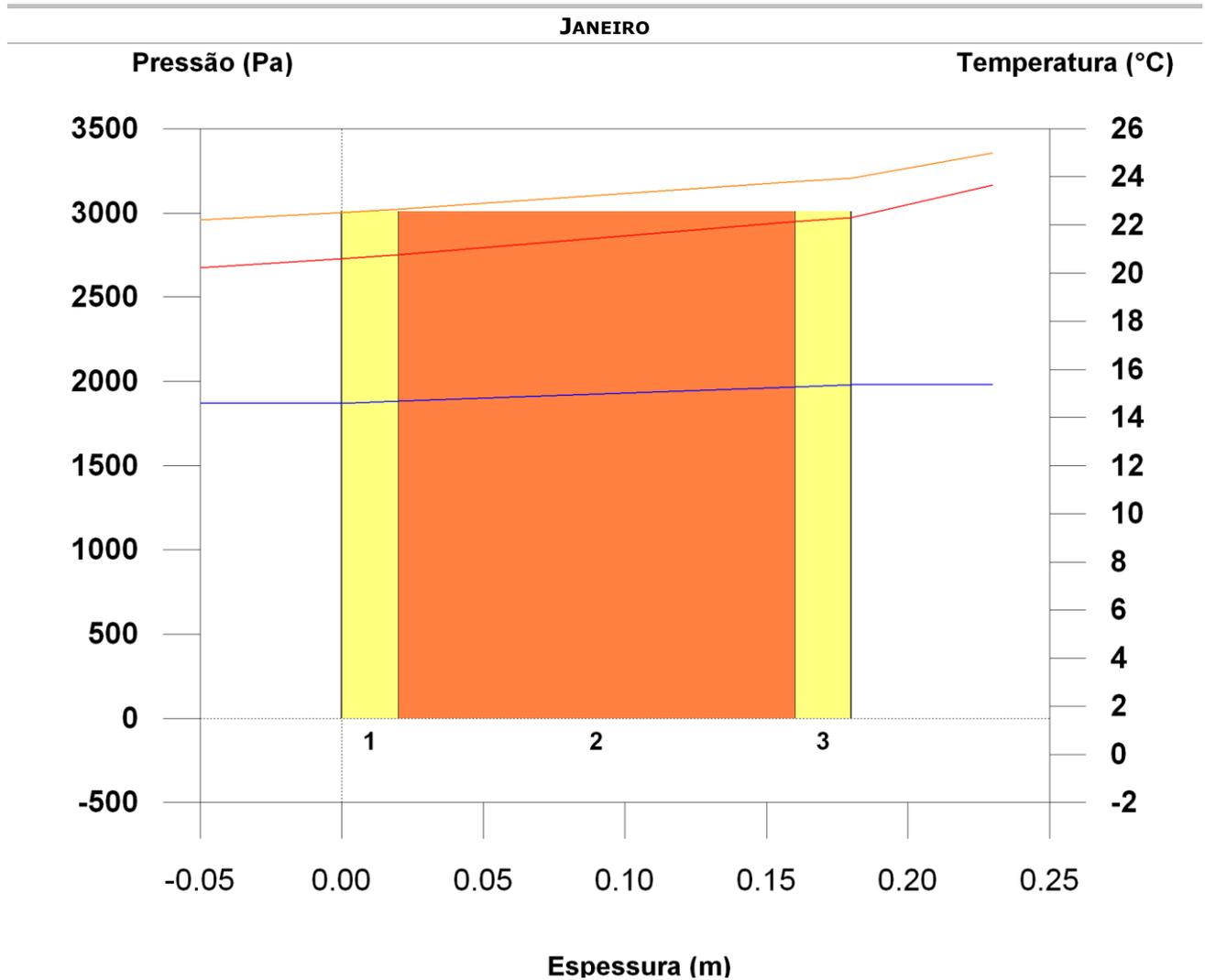
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE H – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 4

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.544 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.305$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 1.823 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

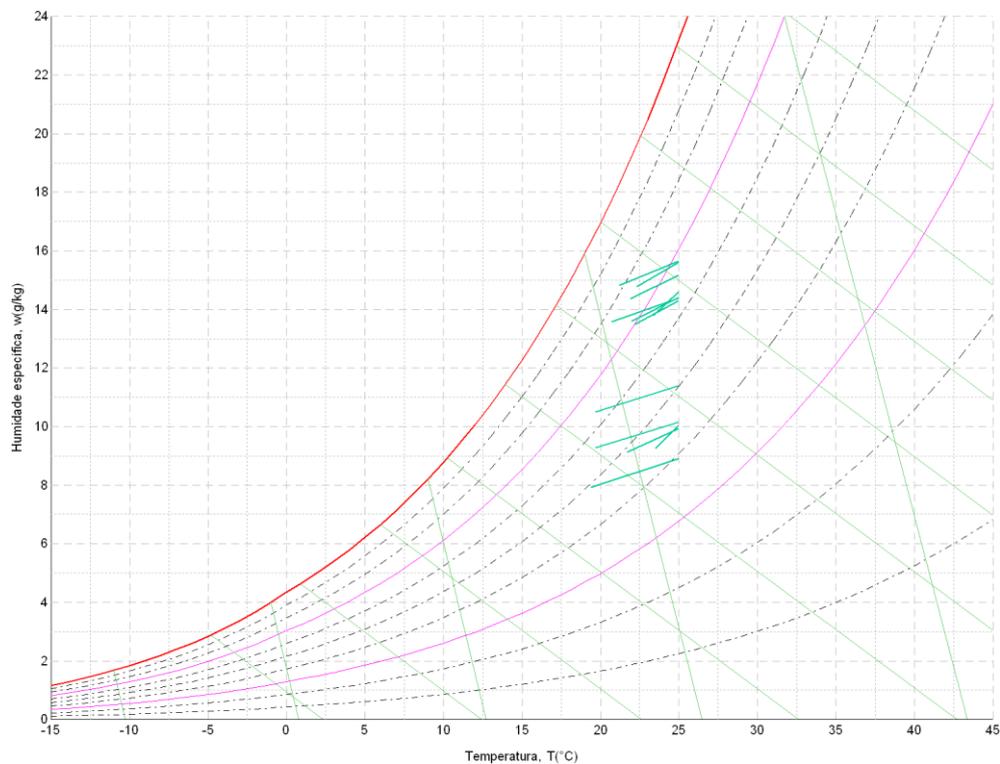
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDIÇÕES DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

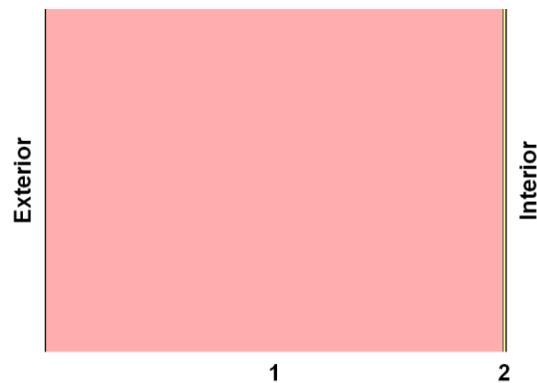
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	22.2	21.9	22.3	20.7	19.7	19.7	19.4	21.7	23.5	23.4	21.2	22.0
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	70	76	76	77	64	56	49	49	45	66	82	71
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **1159 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	30.0	0.20000	80	24
2	GYPSTUM (DENSITY 1500)	0.2	0.17857	4	0.008
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ: CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	30.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.5486
ESPESURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	24.01
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	1.823
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.544

ONDE:

E_T: ESPESURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 1.823 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	22.2	69.9	1869.68	100.00	1979.68	2474.60	20.9	25.0	62.5	0.000
FEVEREIRO	21.9	75.7	1988.14	100.00	2098.14	2622.68	21.9	25.0	66.3	0.000
MARÇO	22.3	76.0	2045.24	100.00	2155.24	2694.06	22.3	25.0	68.1	0.007
ABRIL	20.7	77.1	1881.35	100.00	1991.35	2489.19	21.0	25.0	62.9	0.075
MAIO	19.7	63.8	1463.51	110.65	1585.23	1981.53	17.4	25.0	50.1	0.000
JUNHO	19.7	56.4	1293.76	110.65	1415.48	1769.35	15.6	25.0	44.7	0.000
JULHO	19.4	49.3	1110.02	121.30	1243.45	1554.31	13.6	25.0	39.3	0.000
AGOSTO	21.7	49.1	1273.89	100.00	1383.89	1729.86	15.2	25.0	43.7	0.000
SETEMBRO	23.5	44.6	1290.66	100.00	1400.66	1750.82	15.4	25.0	44.2	0.000
OUTUBRO	23.4	66.4	1909.97	100.00	2019.97	2524.96	21.3	25.0	63.8	0.000
NOVEMBRO	21.2	81.5	2050.77	100.00	2160.77	2700.96	22.4	25.0	68.3	0.305
DEZEMBRO	22.0	71.3	1884.04	100.00	1994.04	2492.55	21.0	25.0	63.0	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.544 > F_{RSI,MÍN} = 0.305$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	22.20	2674.790	1869.678	69.9		
FACE EXTERIOR	22.40	2708.204	1869.678	69.0	--	--
INTERFACE 1-2	23.43	2880.797	1979.642	68.7	--	--
FACE INTERIOR	24.34	3042.933	1979.678	65.1	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	1979.678	62.5		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

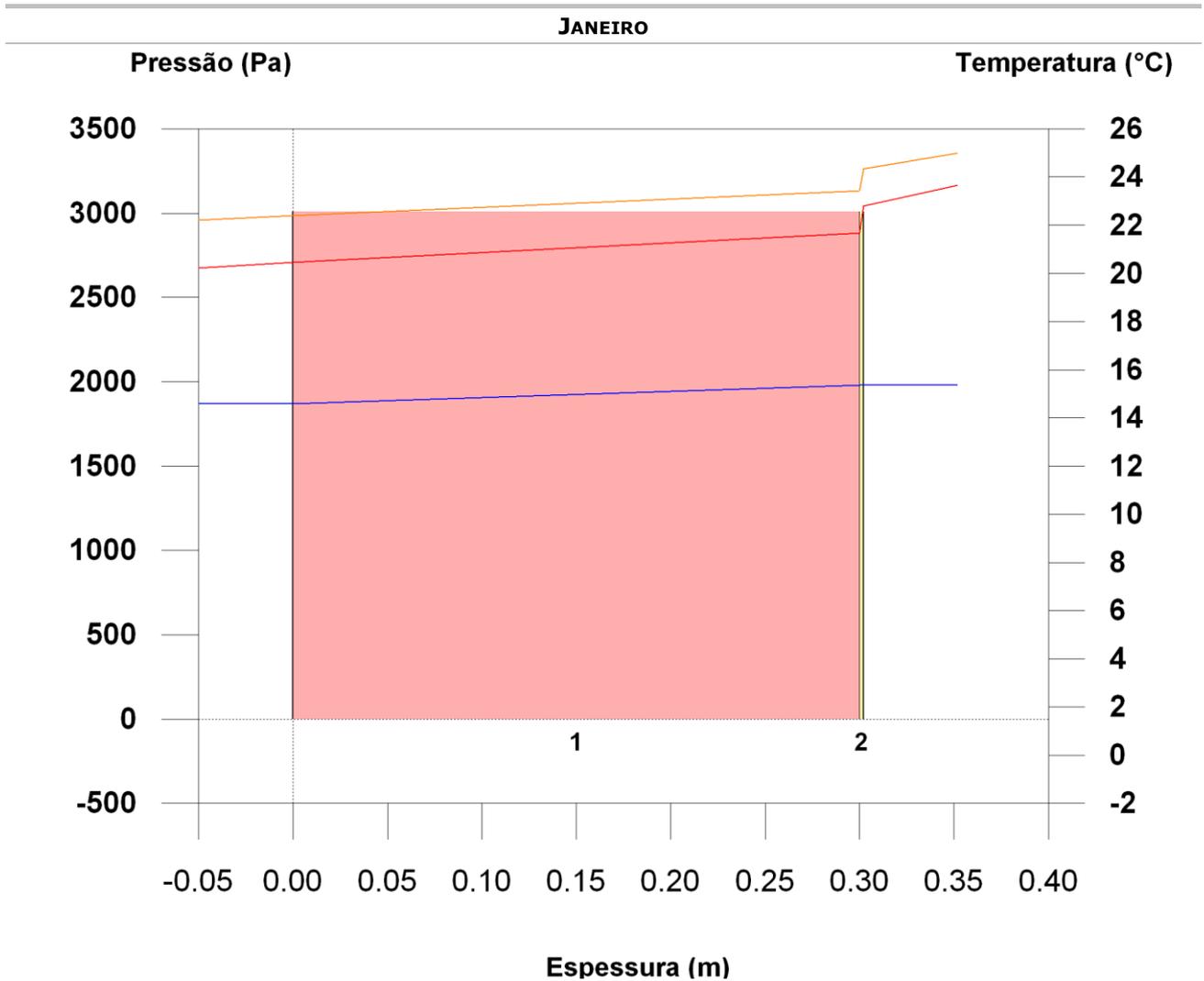
P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS

APÊNDICE I – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 5

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.275 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.327$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 2.900 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

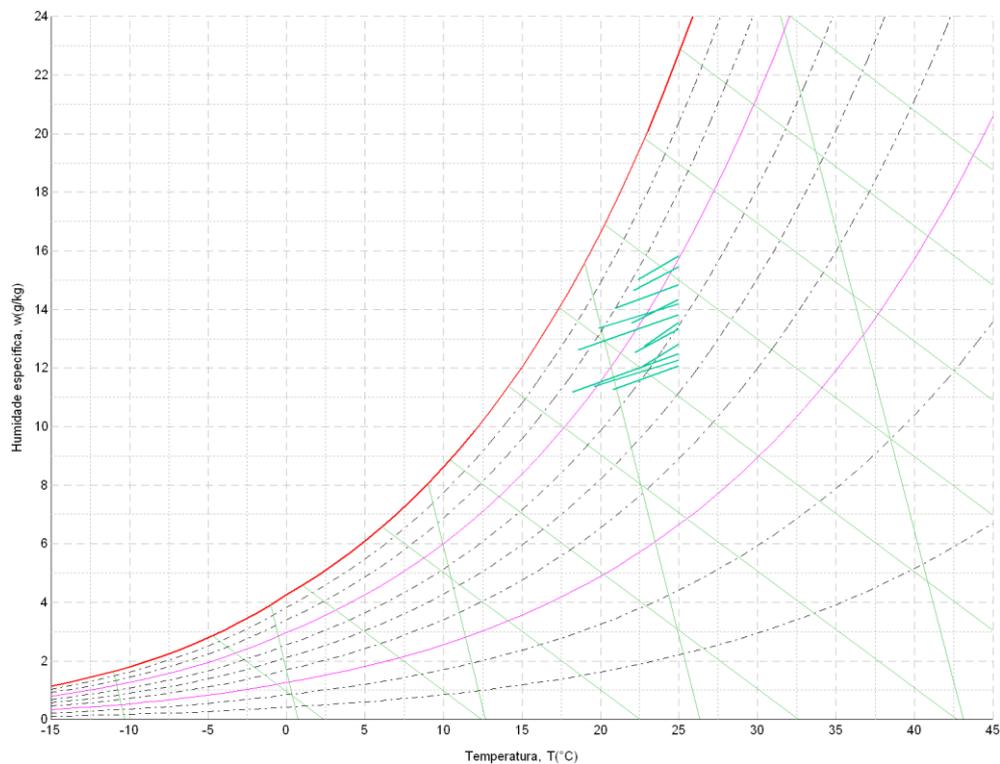
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

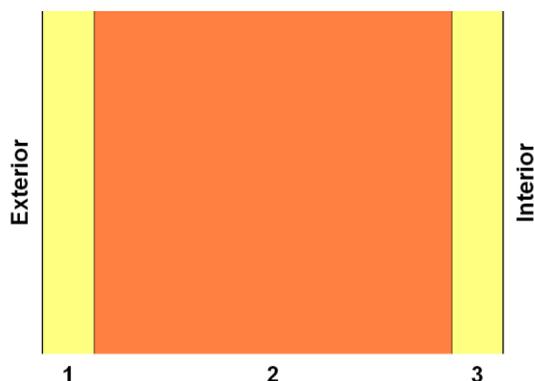
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	22.8	22.1	22.4	20.9	19.9	18.6	18.2	19.6	20.8	22.6	22.2	22.0
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	65	78	78	80	81	83	76	71	65	62	66	72
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICOMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **1003 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	22.8	65.0	1803.12	100.00	1913.12	2391.40	20.4	25.0	60.4	0.000
FEVEREIRO	22.1	77.7	2065.70	100.00	2175.70	2719.62	22.5	25.0	68.7	0.129
MARÇO	22.4	78.2	2117.28	100.00	2227.28	2784.10	22.9	25.0	70.4	0.177
ABRIL	20.9	80.2	1981.23	100.00	2091.23	2614.03	21.8	25.0	66.1	0.225
MAIO	19.9	81.3	1888.21	103.55	2002.12	2502.65	21.1	25.0	63.2	0.238
JUNHO	18.6	83.4	1786.38	149.70	1951.05	2438.81	20.7	25.0	61.6	0.327
JULHO	18.2	75.9	1585.48	163.90	1765.77	2207.22	19.1	25.0	55.8	0.130
AGOSTO	19.6	70.7	1611.76	114.20	1737.38	2171.72	18.8	25.0	54.9	0.000
SETEMBRO	20.8	65.1	1598.34	100.00	1708.34	2135.43	18.6	25.0	54.0	0.000
OUTUBRO	22.6	62.1	1701.91	100.00	1811.91	2264.89	19.5	25.0	57.2	0.000
NOVEMBRO	22.2	66.3	1773.39	100.00	1883.39	2354.23	20.1	25.0	59.5	0.000
DEZEMBRO	22.0	72.4	1913.10	100.00	2023.10	2528.88	21.3	25.0	63.9	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 < F_{RSI,MÍN} = 0.327$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	22.80	2774.025	1803.116	65.0		
FACE EXTERIOR	23.06	2817.203	1803.116	64.0	--	--
INTERFACE 1-2	23.17	2836.158	1815.338	64.0	--	--
INTERFACE 2-3	24.06	2992.848	1900.894	63.5	--	--
FACE INTERIOR	24.17	3012.830	1913.116	63.5	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	1913.116	60.4		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

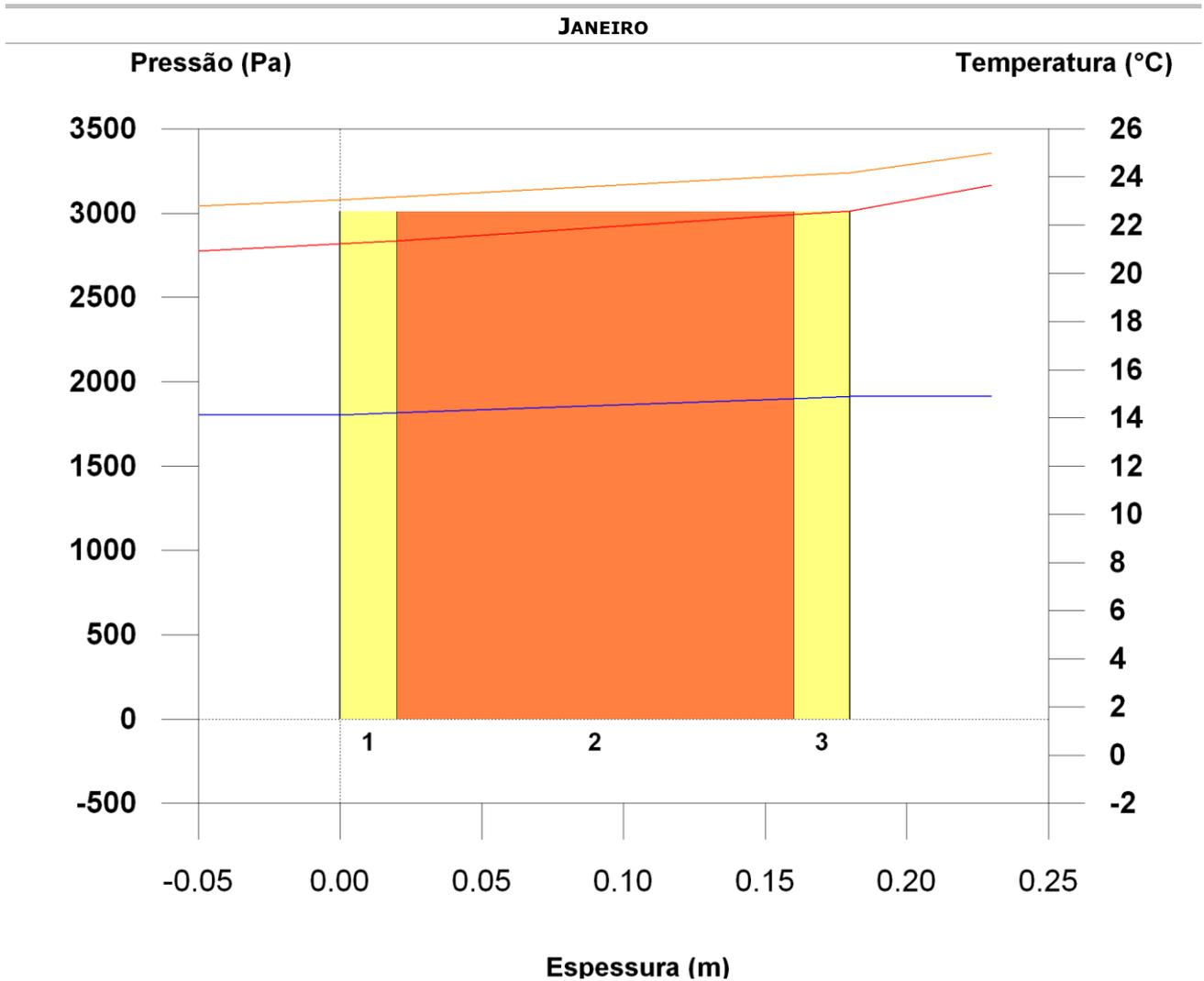
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE J – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 5

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.063 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.327$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FATOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 3.748 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FATOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

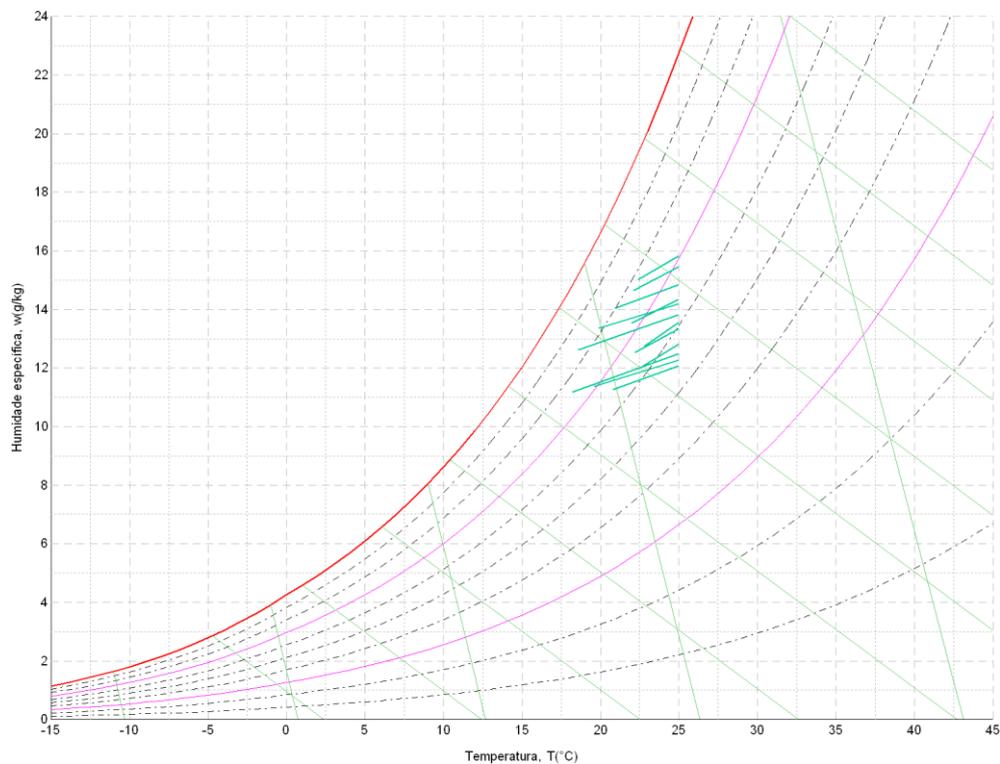
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDIÇÕES DE CONDENSAÇÃO SÃO AS SEGUINTE:

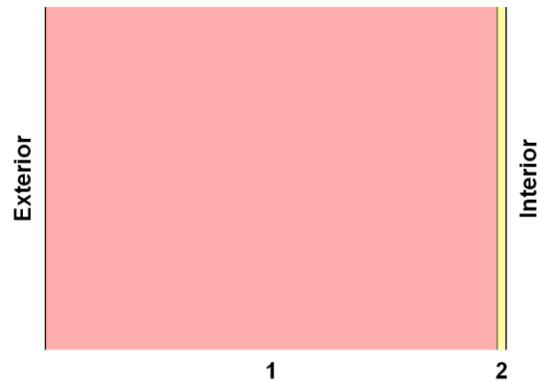
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	22.8	22.1	22.4	20.9	19.9	18.6	18.2	19.6	20.8	22.6	22.2	22.0
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	65	78	78	80	81	83	76	71	65	62	66	72
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **1003 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.063

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	22.8	65.0	1803.12	100.00	1913.12	2391.40	20.4	25.0	60.4	0.000
FEVEREIRO	22.1	77.7	2065.70	100.00	2175.70	2719.62	22.5	25.0	68.7	0.129
MARÇO	22.4	78.2	2117.28	100.00	2227.28	2784.10	22.9	25.0	70.4	0.177
ABRIL	20.9	80.2	1981.23	100.00	2091.23	2614.03	21.8	25.0	66.1	0.225
MAIO	19.9	81.3	1888.21	103.55	2002.12	2502.65	21.1	25.0	63.2	0.238
JUNHO	18.6	83.4	1786.38	149.70	1951.05	2438.81	20.7	25.0	61.6	0.327
JULHO	18.2	75.9	1585.48	163.90	1765.77	2207.22	19.1	25.0	55.8	0.130
AGOSTO	19.6	70.7	1611.76	114.20	1737.38	2171.72	18.8	25.0	54.9	0.000
SETEMBRO	20.8	65.1	1598.34	100.00	1708.34	2135.43	18.6	25.0	54.0	0.000
OUTUBRO	22.6	62.1	1701.91	100.00	1811.91	2264.89	19.5	25.0	57.2	0.000
NOVEMBRO	22.2	66.3	1773.39	100.00	1883.39	2354.23	20.1	25.0	59.5	0.000
DEZEMBRO	22.0	72.4	1913.10	100.00	2023.10	2528.88	21.3	25.0	63.9	0.000

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 < F_{RSI,MÍN} = 0.327$, NÃO SE CUMPRE A CONDIÇÃO DE DIMENSIONAMENTO E CONSEQUENTEMENTE PODEM SER PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	22.80	2774.025	1803.116	65.0		
FACE EXTERIOR	23.13	2829.939	1803.116	63.7	--	--
INTERFACE 1-2	23.92	2967.043	1913.089	64.5	--	--
FACE INTERIOR	23.93	2969.305	1913.116	64.4	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	1913.116	60.4		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

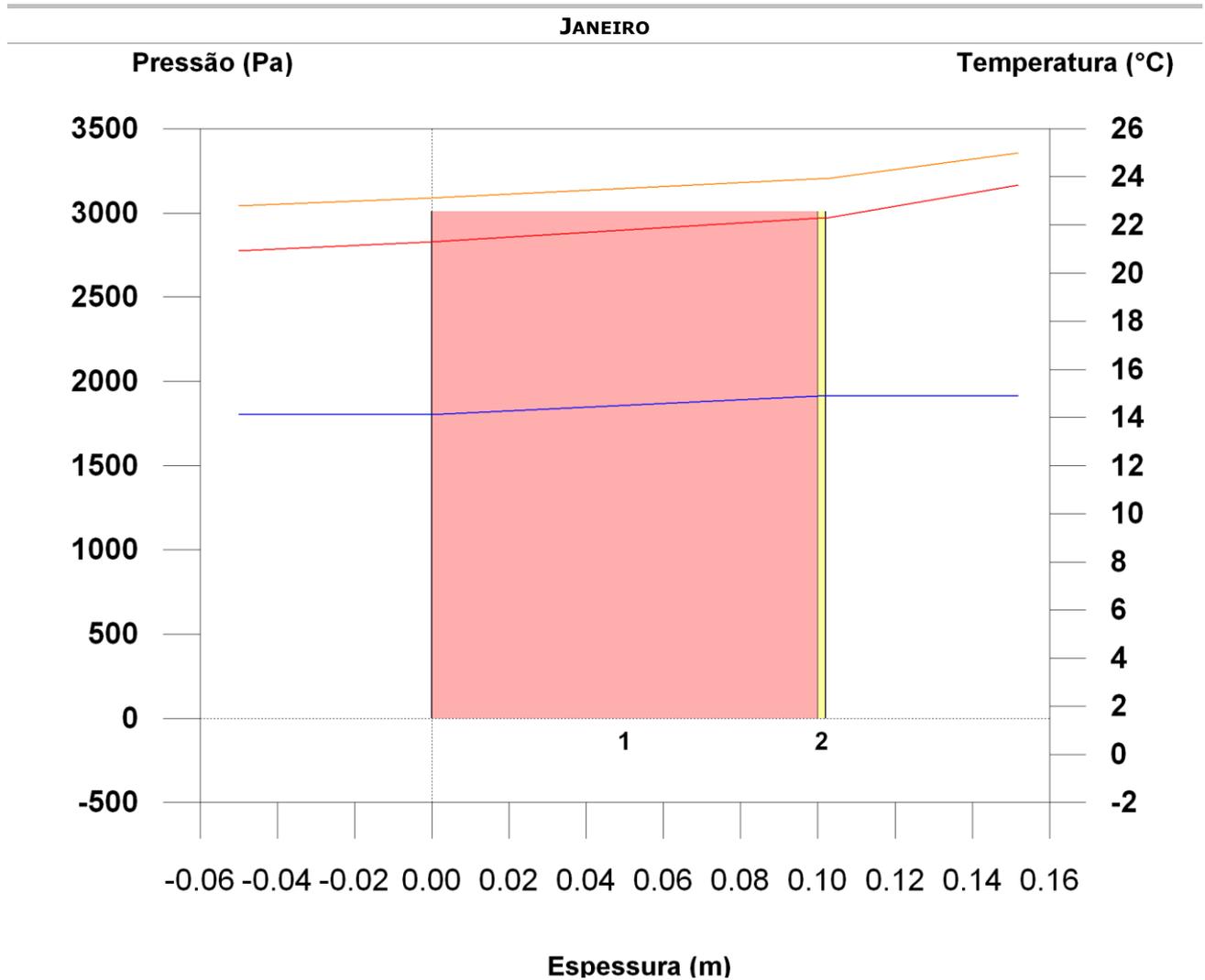
P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS

APÊNDICE K – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_E \geq \theta_T$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

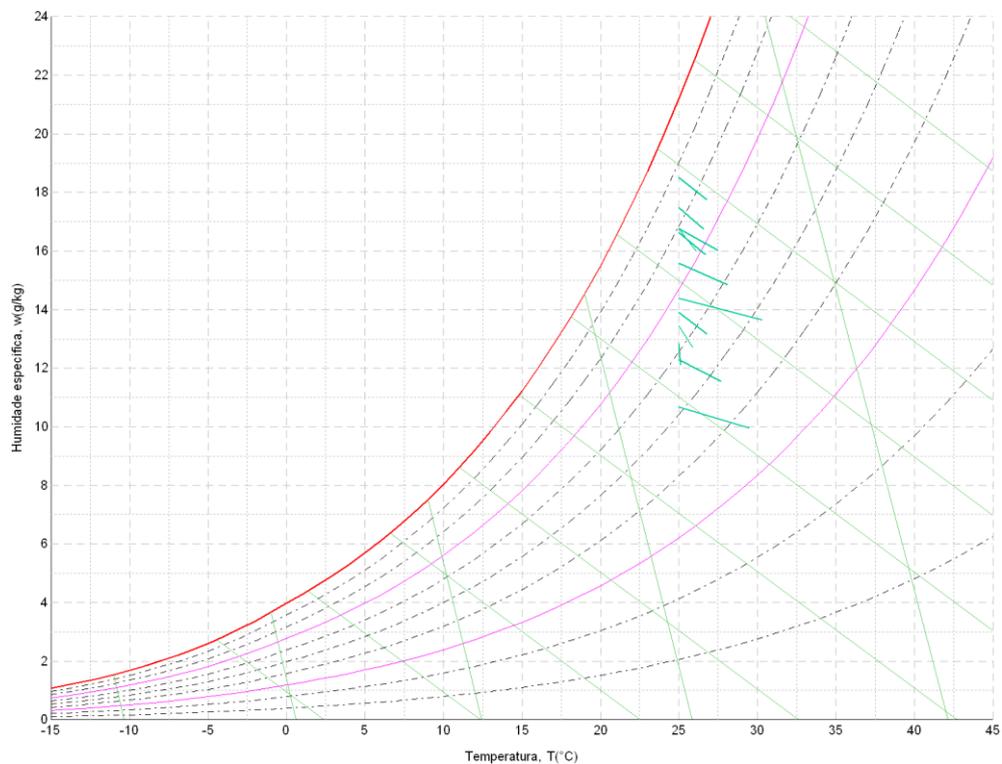
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

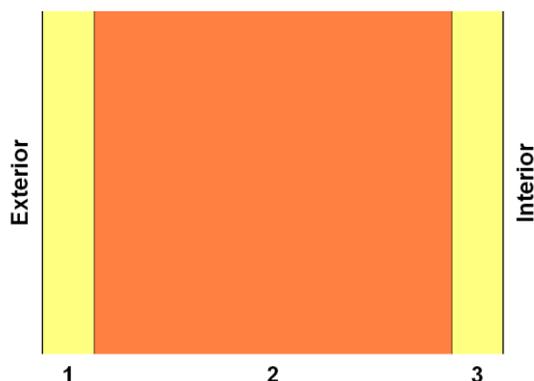
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	28.1	26.6	26.8	26.7	26.8	25.9	25.1	27.7	29.5	30.3	27.5	26.1
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	59	72	76	68	57	58	58	47	37	48	66	71
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **440 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	28.1	58.9	2238.04	100.00	2348.04	2935.05	23.7	25.0	74.2	--*
FEVEREIRO	26.6	72.3	2516.37	100.00	2626.37	3282.97	25.6	25.0	83.0	--*
MARÇO	26.8	75.7	2665.88	100.00	2775.88	3469.84	26.5	25.0	87.7	--*
ABRIL	26.7	68.3	2391.18	100.00	2501.18	3126.47	24.8	25.0	79.0	--*
MAIO	26.8	56.5	1989.72	100.00	2099.72	2624.65	21.9	25.0	66.3	--*
JUNHO	25.9	57.6	1923.64	100.00	2033.64	2542.05	21.4	25.0	64.2	--*
JULHO	25.1	57.5	1831.27	100.00	1941.27	2426.59	20.6	25.0	61.3	--*
AGOSTO	27.7	47.2	1752.15	100.00	1862.15	2327.69	19.9	25.0	58.8	--*
SETEMBRO	29.5	36.7	1512.19	100.00	1622.19	2027.74	17.7	25.0	51.2	--*
OUTUBRO	30.3	47.8	2062.10	100.00	2172.10	2715.12	22.4	25.0	68.6	--*
NOVEMBRO	27.5	65.7	2410.59	100.00	2520.59	3150.74	24.9	25.0	79.6	--*
DEZEMBRO	26.1	71.3	2409.49	100.00	2519.49	3149.36	24.9	25.0	79.6	--*

*: NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_e \geq \theta_i$.

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 > F_{RSI,MÍN} = 0.000$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	Φ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	28.10	3799.725	2238.038	58.9		
FACE EXTERIOR	27.74	3720.941	2238.038	60.1	--	--
INTERFACE 1-2	27.58	3687.133	2250.261	61.0	--	--
INTERFACE 2-3	26.33	3424.582	2335.816	68.2	--	--
FACE INTERIOR	26.17	3393.134	2348.038	69.2	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2348.038	74.2		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

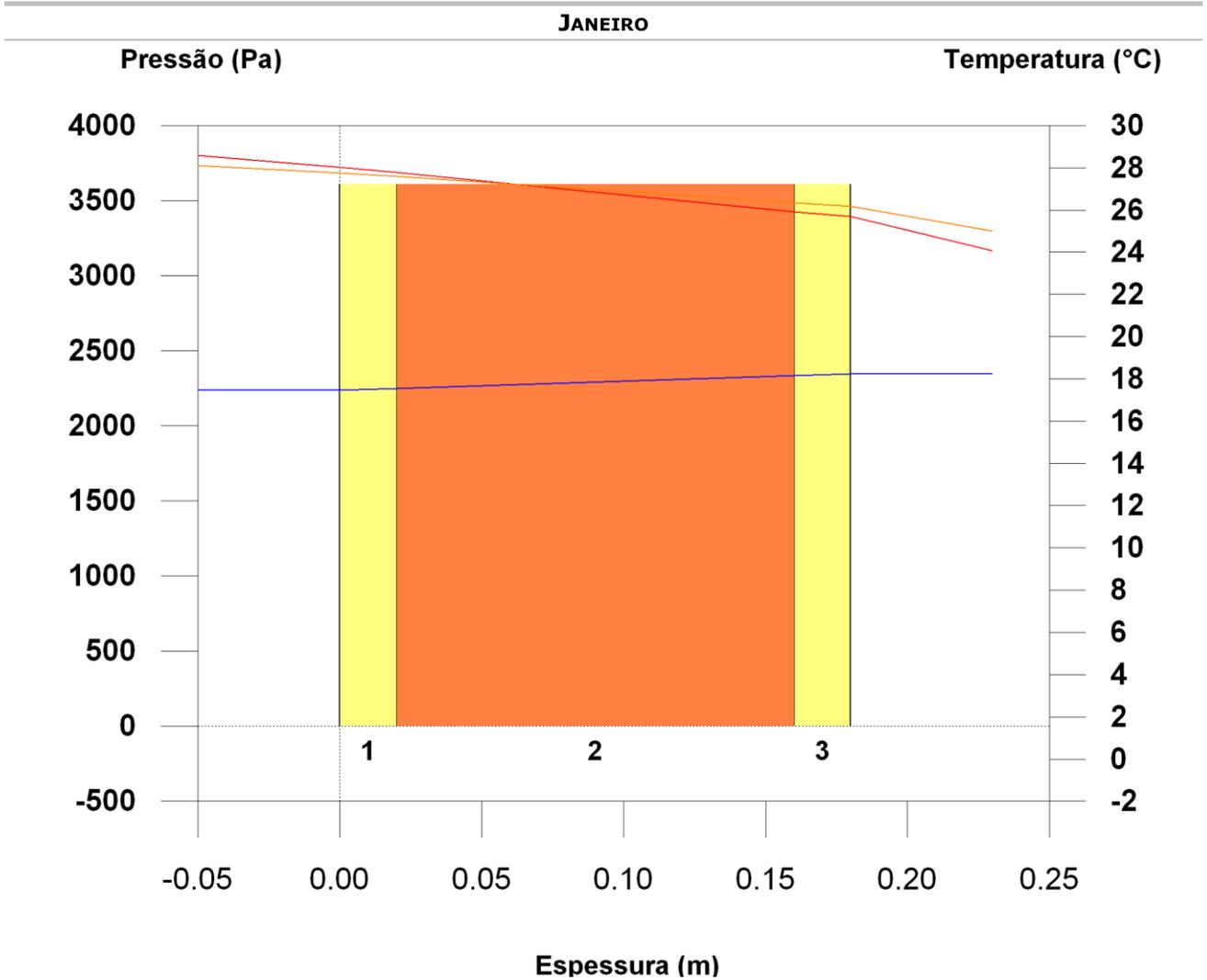
Φ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE L – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_E \geq \theta_T$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

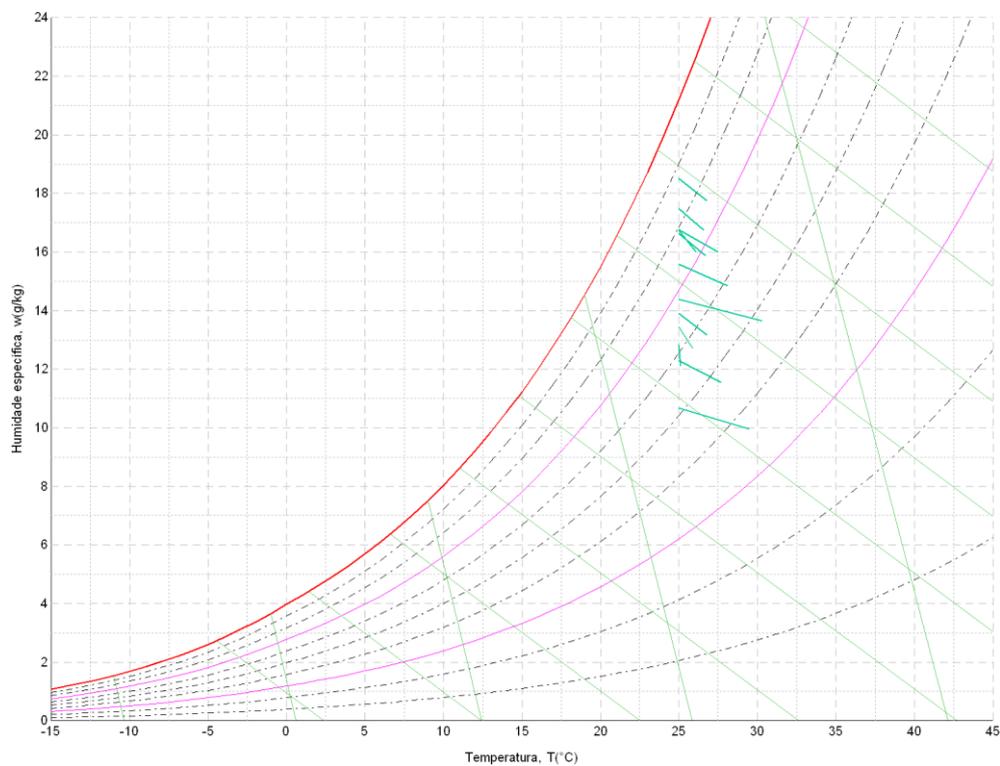
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

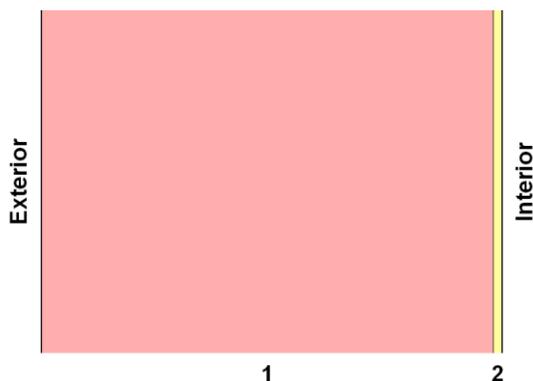
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	28.1	26.6	26.8	26.7	26.8	25.9	25.1	27.7	29.5	30.3	27.5	26.1
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	59	72	76	68	57	58	58	47	37	48	66	71
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICOMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **439 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.063

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	28.1	58.9	2238.04	100.00	2348.04	2935.05	23.7	25.0	74.2	--*
FEVEREIRO	26.6	72.3	2516.37	100.00	2626.37	3282.97	25.6	25.0	83.0	--*
MARÇO	26.8	75.7	2665.88	100.00	2775.88	3469.84	26.5	25.0	87.7	--*
ABRIL	26.7	68.3	2391.18	100.00	2501.18	3126.47	24.8	25.0	79.0	--*
MAIO	26.8	56.5	1989.72	100.00	2099.72	2624.65	21.9	25.0	66.3	--*
JUNHO	25.9	57.6	1923.64	100.00	2033.64	2542.05	21.4	25.0	64.2	--*
JULHO	25.1	57.5	1831.27	100.00	1941.27	2426.59	20.6	25.0	61.3	--*
AGOSTO	27.7	47.2	1752.15	100.00	1862.15	2327.69	19.9	25.0	58.8	--*
SETEMBRO	29.5	36.7	1512.19	100.00	1622.19	2027.74	17.7	25.0	51.2	--*
OUTUBRO	30.3	47.8	2062.10	100.00	2172.10	2715.12	22.4	25.0	68.6	--*
NOVEMBRO	27.5	65.7	2410.59	100.00	2520.59	3150.74	24.9	25.0	79.6	--*
DEZEMBRO	26.1	71.3	2409.49	100.00	2519.49	3149.36	24.9	25.0	79.6	--*

*: NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_e \geq \theta_i$.

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 > F_{RSI,MÍN} = 0.000$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	28.10	3799.725	2238.038	58.9		
FACE EXTERIOR	27.64	3698.175	2238.038	60.5	--	--
INTERFACE 1-2	26.53	3465.846	2348.011	67.7	--	--
FACE INTERIOR	26.51	3462.200	2348.038	67.8	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2348.038	74.2		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

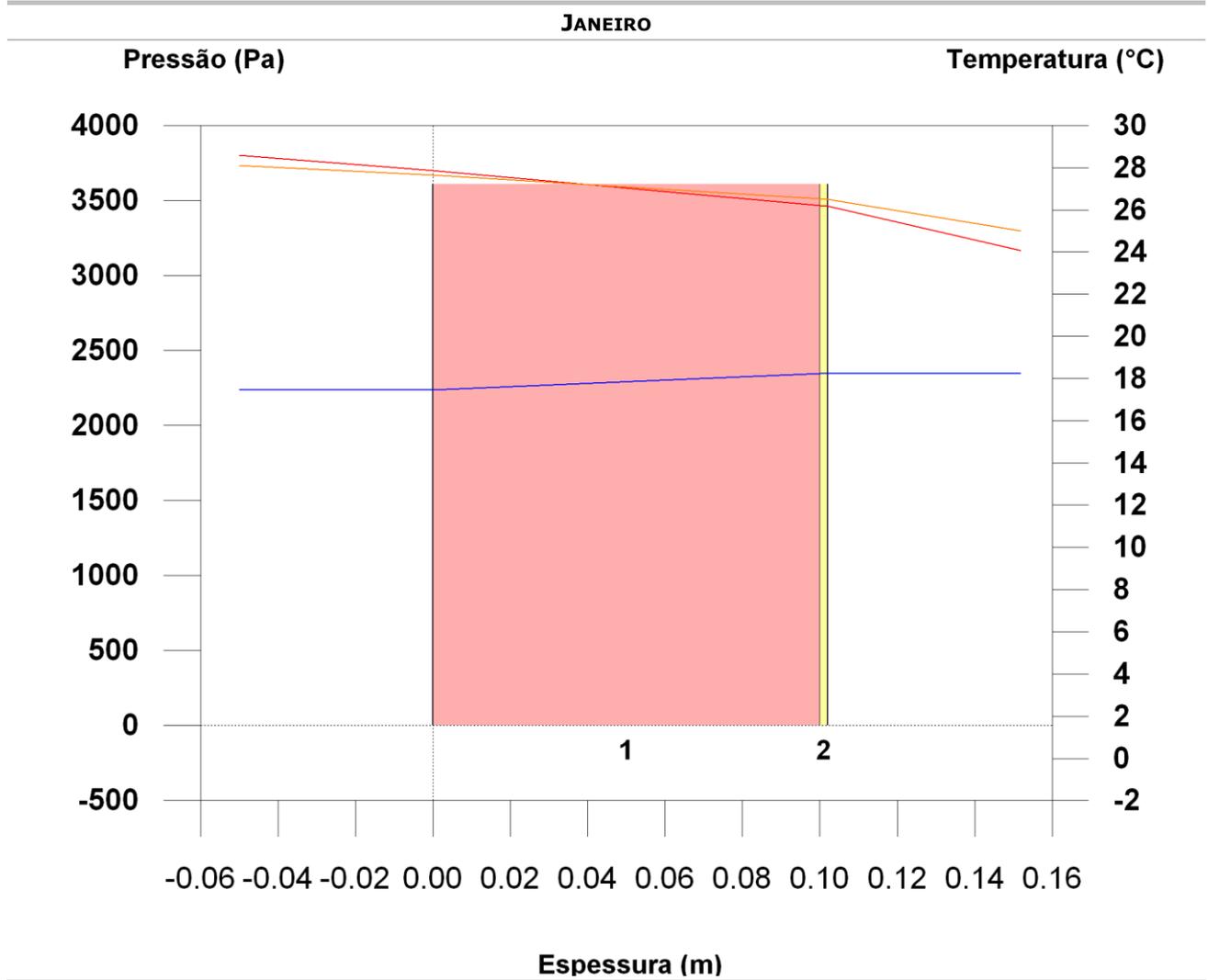
P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS

APÊNDICE M – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 7

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.275 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.000$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 2.900 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

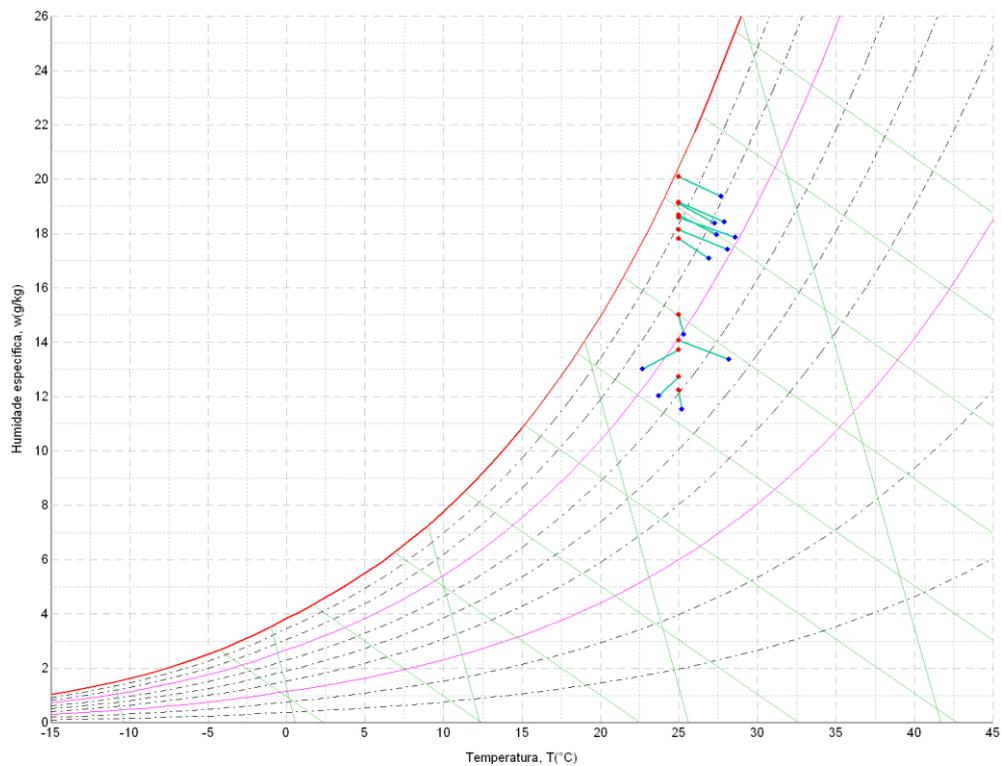
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

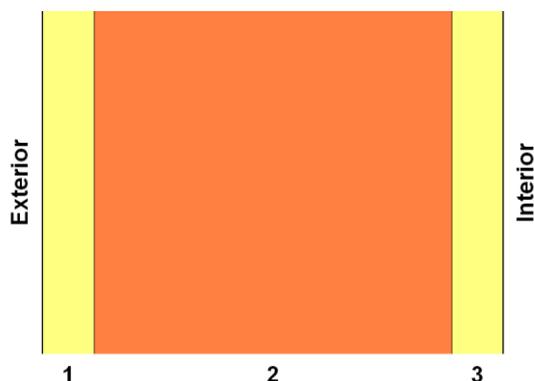
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_E	(°C)	27.4	27.3	27.7	26.9	25.3	22.7	23.7	25.2	28.2	28.6	27.9	28.1
HUMIDADE RELATIVA, Φ_E	(%)	77	79	81	75	69	74	64	57	55	71	76	71
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, Θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **145 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	27.4	76.5	2790.49	100.00	2900.49	3625.61	27.3	25.0	91.6	--*
FEVEREIRO	27.3	78.7	2853.99	100.00	2963.99	3704.99	27.7	25.0	93.6	--*
MARÇO	27.7	80.9	3003.16	100.00	3113.16	3891.45	28.5	25.0	98.3	--*
ABRIL	26.9	75.1	2660.32	100.00	2770.32	3462.90	26.5	25.0	87.5	--*
MAIO	25.3	69.3	2233.49	100.00	2343.49	2929.37	23.7	25.0	74.0	--*
JUNHO	22.7	73.9	2037.62	100.00	2147.62	2684.52	22.3	25.0	67.8	0.000
JULHO	23.7	64.4	1886.21	100.00	1996.21	2495.27	21.1	25.0	63.1	0.000
AGOSTO	25.2	56.5	1810.16	100.00	1920.16	2400.21	20.4	25.0	60.7	--*
SETEMBRO	28.2	54.7	2090.57	100.00	2200.57	2750.72	22.7	25.0	69.5	--*
OUTUBRO	28.6	71.0	2777.28	100.00	2887.28	3609.10	27.2	25.0	91.2	--*
NOVEMBRO	27.9	76.2	2861.87	100.00	2971.87	3714.84	27.7	25.0	93.9	--*
DEZEMBRO	28.1	71.3	2709.20	100.00	2819.20	3524.01	26.8	25.0	89.0	--*

*: NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_e \geq \theta_i$.

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 > F_{RSI,MÍN} = 0.000$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	27.40	3647.697	2790.489	76.5		
FACE EXTERIOR	27.12	3588.715	2790.489	77.8	--	--
INTERFACE 1-2	27.00	3563.330	2802.711	78.7	--	--
INTERFACE 2-3	26.03	3364.619	2888.266	85.8	--	--
FACE INTERIOR	25.90	3340.622	2900.489	86.8	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2900.489	91.6		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

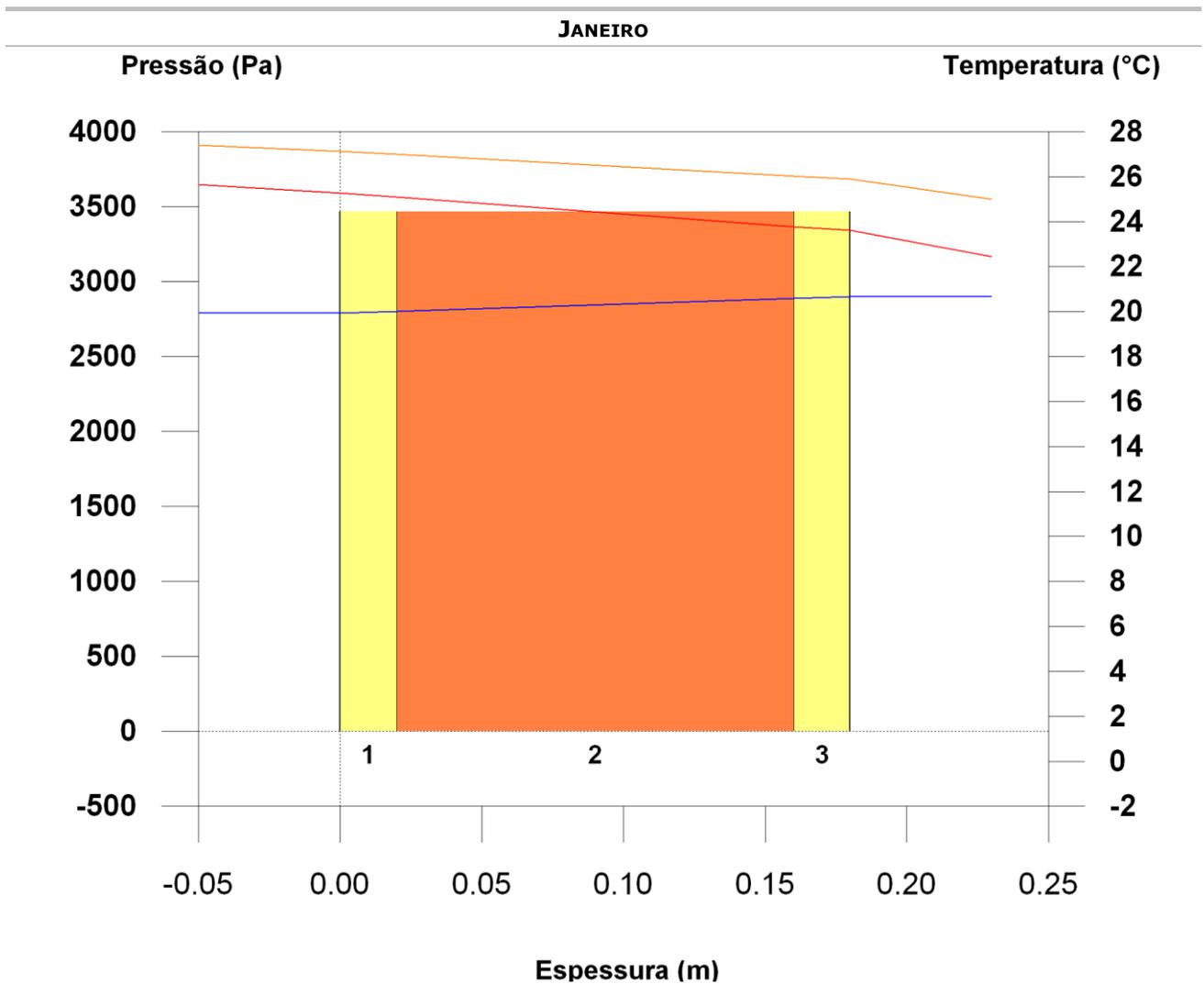
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE N – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 7

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$F_{RSI} = 0.063 \geq F_{RSI, \text{MÍN}} = 0.000$$

O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS.

ONDE:

F_{RSI} : FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO $(1 - U \cdot R_{SI})$, EM QUE $U = 3.748 \text{ W/M}^2 \cdot \text{K}$ E $R_{SI} = 0.25 \text{ M}^2 \cdot \text{K/W}$.

$F_{RSI, \text{MÍN}}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO, NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, CALCULADO CONSIDERANDO UM VALOR DE $\phi_{SI, CR} \leq 0.8$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

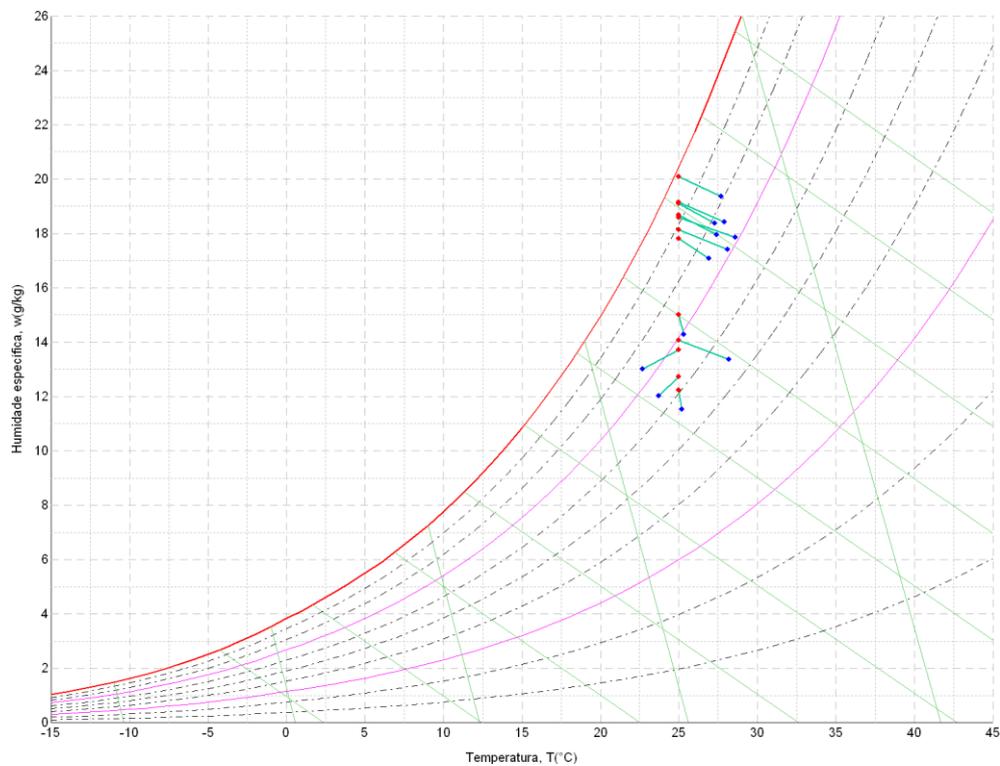
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

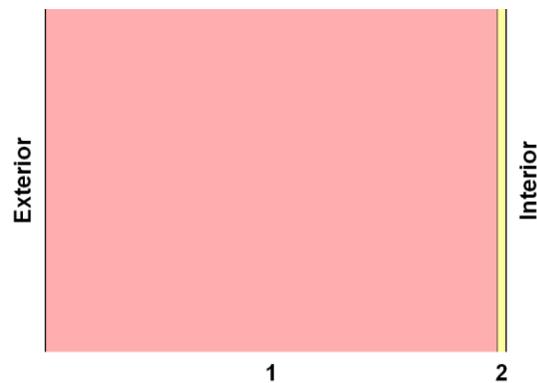
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	27.4	27.3	27.7	26.9	25.3	22.7	23.7	25.2	28.2	28.6	27.9	28.1
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	77	79	81	75	69	74	64	57	55	71	76	71
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **145 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

		E (CM)	λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}				0.04		
1	CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2	ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R _{SI}				0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.063

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	27.4	76.5	2790.49	100.00	2900.49	3625.61	27.3	25.0	91.6	--*
FEVEREIRO	27.3	78.7	2853.99	100.00	2963.99	3704.99	27.7	25.0	93.6	--*
MARÇO	27.7	80.9	3003.16	100.00	3113.16	3891.45	28.5	25.0	98.3	--*
ABRIL	26.9	75.1	2660.32	100.00	2770.32	3462.90	26.5	25.0	87.5	--*
MAIO	25.3	69.3	2233.49	100.00	2343.49	2929.37	23.7	25.0	74.0	--*
JUNHO	22.7	73.9	2037.62	100.00	2147.62	2684.52	22.3	25.0	67.8	0.000
JULHO	23.7	64.4	1886.21	100.00	1996.21	2495.27	21.1	25.0	63.1	0.000
AGOSTO	25.2	56.5	1810.16	100.00	1920.16	2400.21	20.4	25.0	60.7	--*
SETEMBRO	28.2	54.7	2090.57	100.00	2200.57	2750.72	22.7	25.0	69.5	--*
OUTUBRO	28.6	71.0	2777.28	100.00	2887.28	3609.10	27.2	25.0	91.2	--*
NOVEMBRO	27.9	76.2	2861.87	100.00	2971.87	3714.84	27.7	25.0	93.9	--*
DEZEMBRO	28.1	71.3	2709.20	100.00	2819.20	3524.01	26.8	25.0	89.0	--*

*: NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_e \geq \theta_i$.

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 > F_{RSI,MÍN} = 0.000$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	27.40	3647.697	2790.489	76.5		
FACE EXTERIOR	27.04	3571.626	2790.489	78.1	--	--
INTERFACE 1-2	26.18	3396.041	2900.461	85.4	--	--
FACE INTERIOR	26.17	3393.267	2900.489	85.5	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	2900.489	91.6		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

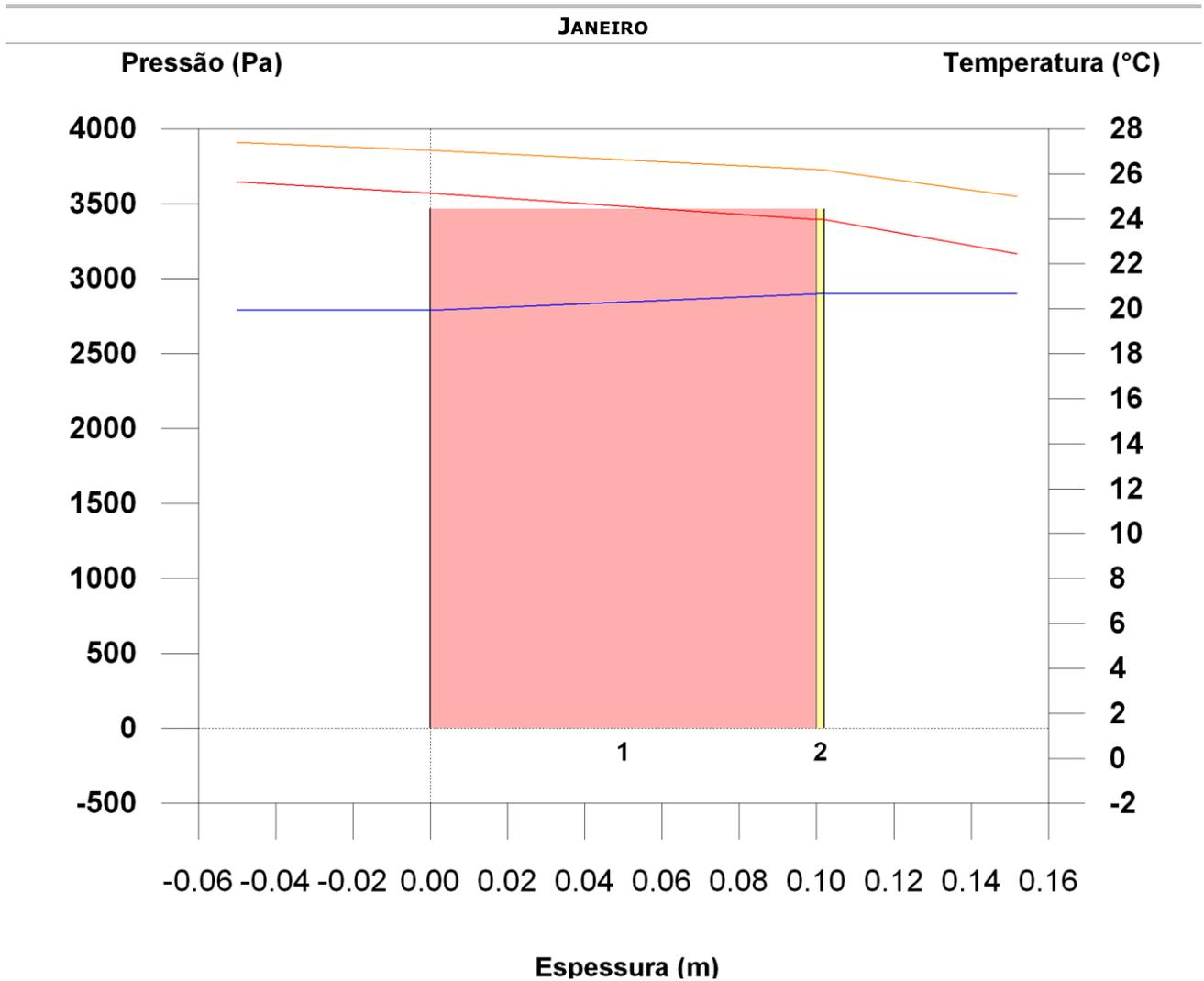
P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS

APÊNDICE O – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE ALVENARIA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_E \geq \theta_{T1}$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

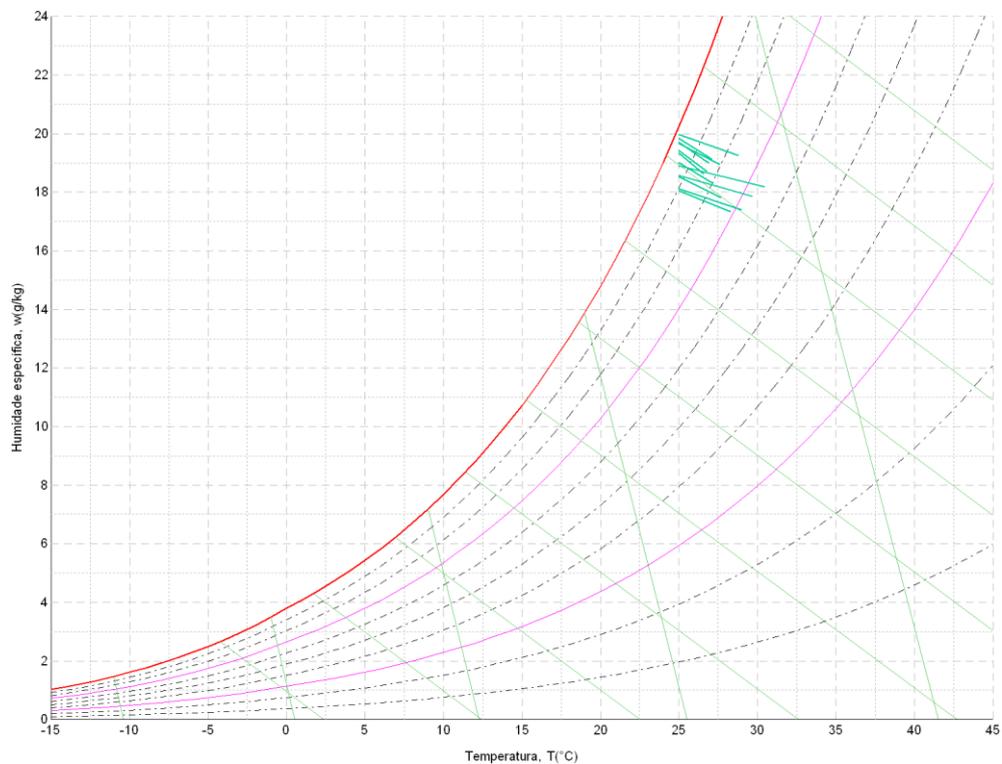
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

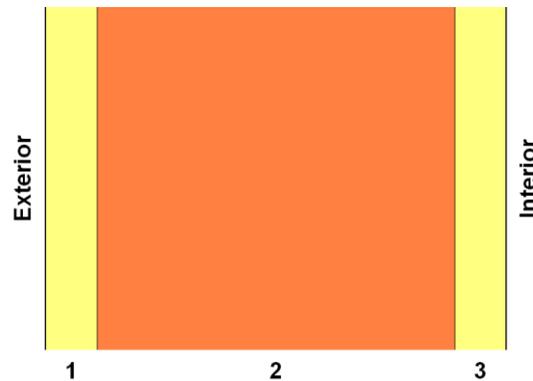
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	26.8	27.2	27.6	26.9	27.1	27.7	28.3	29.0	29.7	30.5	28.8	26.6
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	83	80	81	84	84	75	71	68	67	65	76	84
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **61 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S _D (M)
R _{SE}			0.04		
1 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
2 TIJOLO CERÂMICO FURADO (15 CM)	14.0	1.000	0.14000	1	0.14
3 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	2.0	1.150	0.01739	1	0.02
R _{SI}			0.13		

ONDE:

E: ESPESSURA, CM.

Λ : CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).

R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.

M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.

S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.

R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	UDS.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E _T	CM	18.0
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R _T	M ² ·K/W	0.3448
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S _{D,T}	M	0.18
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	2.900
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, FR_{SI}	--	0.275

ONDE:

E_T: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.

R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS R_{SE} E R_{SI}, M²·K/W.

S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.

U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).

FR_{SI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·R_{SI}), EM QUE U = 2.900 W/M²·K E R_{SI} = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	θ_E (°C)	ϕ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\theta_{SI})$ (PA)	$\theta_{SI,MÍN}$ (°C)	θ_I (°C)	ϕ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	26.8	83.3	2933.52	100.00	3043.52	3804.40	28.1	25.0	96.1	--*
FEVEREIRO	27.2	79.6	2869.78	100.00	2979.78	3724.72	27.8	25.0	94.1	--*
MARÇO	27.6	80.5	2970.92	100.00	3080.92	3851.15	28.3	25.0	97.3	--*
ABRIL	26.9	84.0	2975.60	100.00	3085.60	3856.99	28.4	25.0	97.5	--*
MAIO	27.1	83.6	2996.38	100.00	3106.38	3882.97	28.5	25.0	98.1	--*
JUNHO	27.7	75.4	2798.99	100.00	2908.99	3636.24	27.3	25.0	91.9	--*
JULHO	28.3	70.9	2725.51	100.00	2835.51	3544.39	26.9	25.0	89.6	--*
AGOSTO	29.0	68.3	2734.24	100.00	2844.24	3555.30	27.0	25.0	89.8	--*
SETEMBRO	29.7	67.3	2805.12	100.00	2915.12	3643.90	27.4	25.0	92.1	--*
OUTUBRO	30.5	65.4	2853.82	100.00	2963.82	3704.77	27.7	25.0	93.6	--*
NOVEMBRO	28.8	76.2	3015.42	100.00	3125.42	3906.77	28.6	25.0	98.7	--*
DEZEMBRO	26.6	83.9	2920.11	100.00	3030.11	3787.63	28.0	25.0	95.7	--*

*: NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_e \geq \theta_i$.

ONDE:

θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

ϕ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

ϕ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.275 > F_{RSI,MÍN} = 0.000$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_c (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	26.80	3521.632	2933.519	83.3		
FACE EXTERIOR	26.59	3478.654	2933.519	84.3	--	--
INTERFACE 1-2	26.50	3460.111	2945.741	85.1	--	--
INTERFACE 2-3	25.77	3313.952	3031.297	91.5	--	--
FACE INTERIOR	25.68	3296.177	3043.519	92.3	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	3043.519	96.1		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

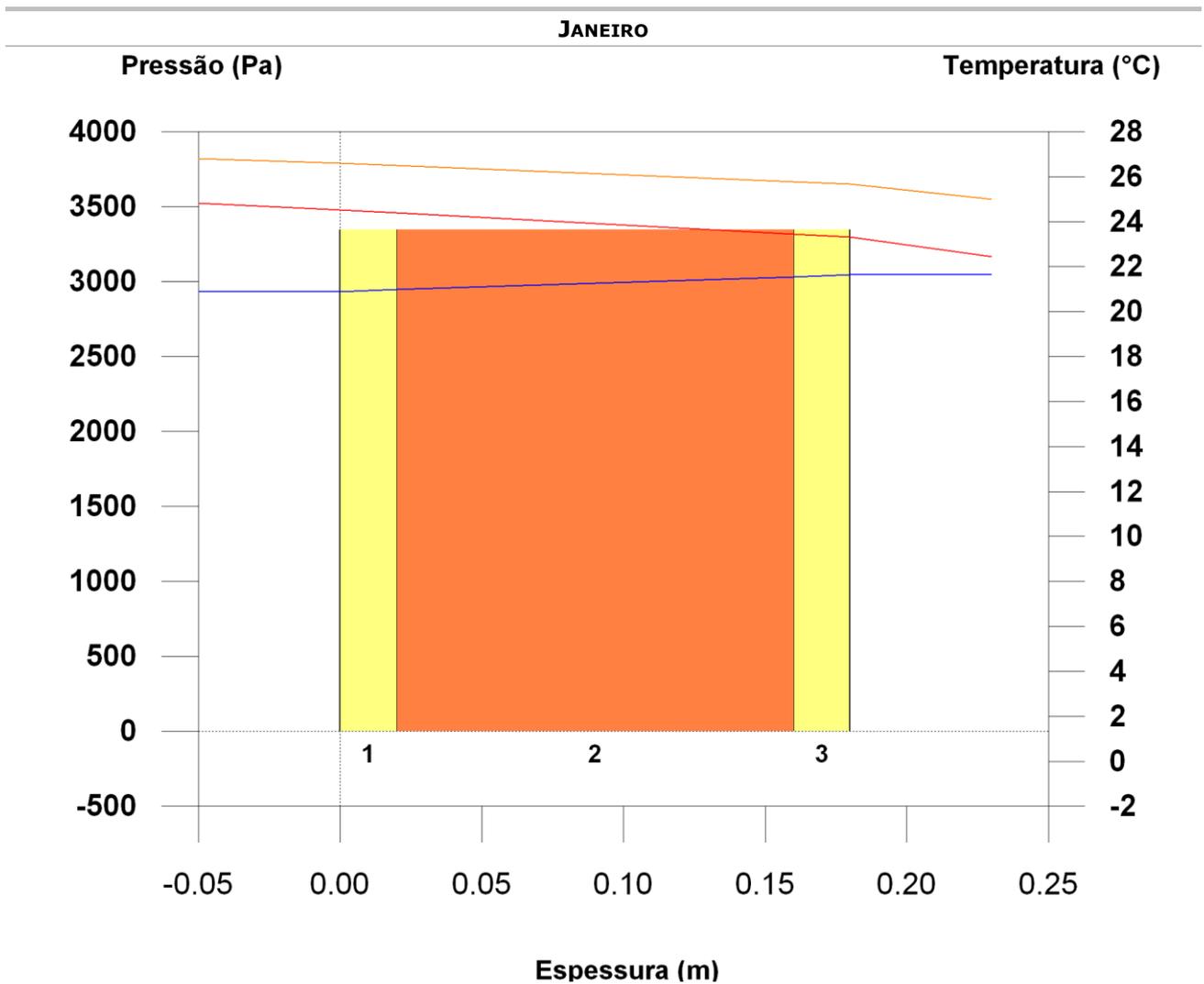
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_c : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



APÊNDICE P – MÉMORIA DE CÁLCULO DA PAREDE DE CONCRETO LEVE NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8

ÍNDICE

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES	61
1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL	61
1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL	61
2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO	61
3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO	62
4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA	63
5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS	64
6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS	65

1.- RESULTADOS DO CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES

1.1.- CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\theta_e \geq \theta_i$.

1.2.- CONDENSAÇÃO INTERSTICIAL

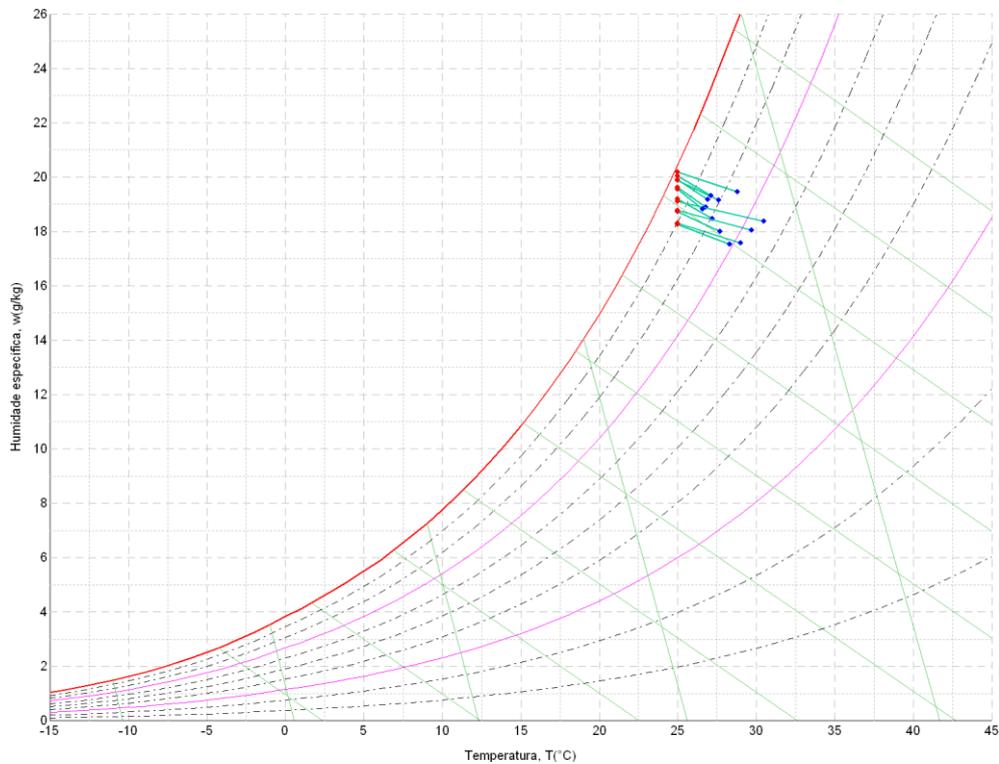
O ELEMENTO CONSTRUTIVO NÃO APRESENTA CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS.

2.- CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DE CÁLCULO

AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES E INTERIORES UTILIZADAS PARA REALIZAR O CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES SÃO AS SEGUINTE:

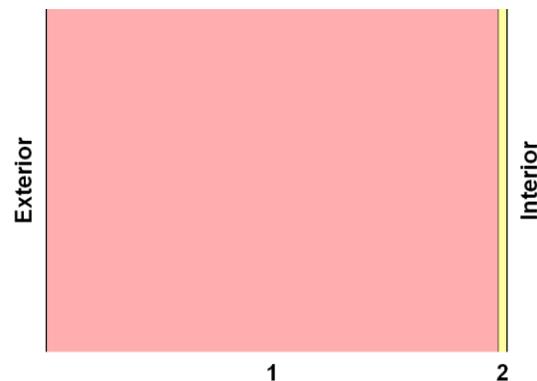
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CONDIÇÕES EXTERIORES													
TEMPERATURA, θ_E	(°C)	26.8	27.2	27.6	26.9	27.1	27.7	28.3	29.0	29.7	30.5	28.8	26.6
HUMIDADE RELATIVA, ϕ_E	(%)	83	80	81	84	84	75	71	68	67	65	76	84
CONDIÇÕES INTERIORES													
TEMPERATURA, θ_I	(°C)	25.0											
CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR		3											

O DIAGRAMA PSICROMÉTRICO ASSOCIADO À LOCALIZAÇÃO, COM UMA ALTURA ACIMA DO NÍVEL DO MAR DE **145 m**, MOSTRA-SE SEGUIDAMENTE, REPRESENTANDO ATRAVÉS DE SEGMENTOS DE RECTA AS TRANSIÇÕES DESDE CADA CONDIÇÃO EXTERIOR DE CÁLCULO À SUA CORRESPONDENTE CONDIÇÃO INTERIOR.



3.- DESCRIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO

O ESQUEMA DA COMPOSIÇÃO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO, EM SECÇÃO, É O SEGUINTE:



AS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS E AS PROPRIEDADES DE DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DAS CAMADAS HOMOGÊNEAS DE FACES PARALELAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO SÃO AS SEGUINTE:

	E (CM)	Λ (W/M·K)	R (M ² ·K/W)	M	S_D (M)
R_{SE}			0.04		
1 CONCRETO COM AR INCORPORADO	10.0	1.050	0.09524	80	8
2 ARGAMASSA E REBOCO TRADICIONAL	0.2	1.300	0.00154	1	0.002
R_{SI}			0.13		

ONDE:

- E*: ESPESSURA, CM.
Λ: CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, W/(M·K).
R: RESISTÊNCIA TÉRMICA DO MATERIAL, M²·K/W.
M: FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA DO MATERIAL.
S_D: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE FACE À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, M.
R_{SE}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL EXTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.
R_{SI}: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERIOR DO ELEMENTO, M²·K/W.

A INFORMAÇÃO DE CÁLCULO RELATIVA AOS PARÂMETROS HIGROTÉRMICOS DO ELEMENTO COMPLETO, DERIVADA DO MODELO DE CAMADAS HOMOGÊNEAS, É A SEGUINTE:

MAGNITUDE	Uds.	VALOR
ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, E_T	CM	10.2
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, R_T	M ² ·K/W	0.2668
ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, S_{D,T}	M	8.00
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, U	W/(M ² ·K)	3.748
FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, F_{RSI}	--	0.063

ONDE:

- E_T*: ESPESSURA TOTAL DO ELEMENTO, CM.
R_T: RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL DO ELEMENTO, SOMATÓRIO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA CAMADA, INCLUINDO AS RESISTÊNCIAS SUPERFICIAIS *R_{SE}* E *R_{SI}*, M²·K/W.
S_{D,T}: ESPESSURA DE AR EQUIVALENTE TOTAL, SOMATÓRIO DA ESPESSURA EQUIVALENTE DE CADA CAMADA DO ELEMENTO, M.
U: TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO, CALCULADA COMO O INVERSO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL, W/(M²·K).
F_{RSI}: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR, CALCULADO COMO (1 - U·*R_{SI}*), EM QUE U = 3.748 W/M²·K E *R_{SI}* = 0.25 M²·K/W.

4.- CÁLCULO DO FACTOR DE TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR NECESSÁRIO PARA EVITAR A HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA

COM O OBJECTIVO DE PREVENIR OS EFEITOS ADVERSOS DA HUMIDADE SUPERFICIAL CRÍTICA, FOI LIMITADA A HUMIDADE RELATIVA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE INTERIOR A UM VALOR DE $\Phi_{SI,CR} \leq 0.8$.

DADAS AS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS EXTERIORES, ASSIM COMO AS INTERIORES, O CÁLCULO DE $F_{RSI,MÍN}$ FICA DA SEGUINTE FORMA:

	Θ_E (°C)	Φ_E (%)	P_E (PA)	ΔP (PA)	P_I (PA)	$P_{SAT}(\Theta_{SI})$ (PA)	$\Theta_{SI,MÍN}$ (°C)	Θ_I (°C)	Φ_I (%)	$F_{RSI,MÍN}$
JANEIRO	26.8	83.3	2933.52	100.00	3043.52	3804.40	28.1	25.0	96.1	--*
FEVEREIRO	27.2	79.6	2869.78	100.00	2979.78	3724.72	27.8	25.0	94.1	--*
MARÇO	27.6	80.5	2970.92	100.00	3080.92	3851.15	28.3	25.0	97.3	--*
ABRIL	26.9	84.0	2975.60	100.00	3085.60	3856.99	28.4	25.0	97.5	--*
MAIO	27.1	83.6	2996.38	100.00	3106.38	3882.97	28.5	25.0	98.1	--*
JUNHO	27.7	75.4	2798.99	100.00	2908.99	3636.24	27.3	25.0	91.9	--*
JULHO	28.3	70.9	2725.51	100.00	2835.51	3544.39	26.9	25.0	89.6	--*
AGOSTO	29.0	68.3	2734.24	100.00	2844.24	3555.30	27.0	25.0	89.8	--*
SETEMBRO	29.7	67.3	2805.12	100.00	2915.12	3643.90	27.4	25.0	92.1	--*
OUTUBRO	30.5	65.4	2853.82	100.00	2963.82	3704.77	27.7	25.0	93.6	--*
NOVEMBRO	28.8	76.2	3015.42	100.00	3125.42	3906.77	28.6	25.0	98.7	--*
DEZEMBRO	26.6	83.9	2920.11	100.00	3030.11	3787.63	28.0	25.0	95.7	--*

*: NÃO EXISTE RISCO DE FORMAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO PARAMENTO INTERIOR, JÁ QUE $\Theta_e \geq \Theta_i$.

ONDE:

Θ_E : TEMPERATURA DO AR EXTERIOR, °C.

Φ_E : HUMIDADE RELATIVA DO AR EXTERIOR, %.

Θ_I : TEMPERATURA DO AR INTERIOR, °C.

P_E : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE EXTERIOR, PA.

ΔP : INCREMENTO DE PRESSÃO DE VAPOR EM FUNÇÃO DA CLASSE DE HIGROMETRIA INTERIOR E DA TEMPERATURA EXTERIOR, DE ACORDO COM O ANEXO A DA NORMA ISO 13788, PA.

P_I : PRESSÃO DE VAPOR NO AMBIENTE INTERIOR, COMO SOMA DA PRESSÃO EXTERIOR MAIS O INCREMENTO DE PRESSÃO CALCULADO, MULTIPLICADO POR UM COEFICIENTE DE SEGURANÇA DE 1.10, PA.

$P_{SAT}(\Theta_{SI})$: PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA MÍNIMA ACEITÁVEL PARA A SUPERFÍCIE INTERIOR, PA.

$\Theta_{SI,MÍN}$: MÍNIMA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR ACEITÁVEL, CALCULADA COM BASE NA PRESSÃO DE SATURAÇÃO MÍNIMA ACEITÁVEL, °C.

Φ_I : HUMIDADE RELATIVA DO AR INTERIOR CALCULADA PARA AS CONDIÇÕES DADAS, %.

$F_{RSI,MÍN}$: FACTOR DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMO.

DADO QUE $F_{RSI} = 0.063 > F_{RSI,MÍN} = 0.000$, NÃO SÃO PRODUZIDAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS NO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

5.- CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS

SÃO APRESENTADOS SEGUIDAMENTE OS RESULTADOS ALCANÇADOS NO CÁLCULO DAS TEMPERATURAS E PRESSÕES EM CADA UMA DAS INTERFACES FORMADAS NA UNIÃO ENTRE AS CAMADAS HOMOGÊNEAS QUE COMPÕEM O MODELO DE CÁLCULO DO ELEMENTO CONSTRUTIVO.

CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS NO MÊS DE JANEIRO.

	θ (°C)	P_{SAT} (PA)	P_N (PA)	ϕ (%)	G_C (G/(M ² ·MES))	M_A (G/M ²)
AR EXTERIOR	26.80	3521.632	2933.519	83.3		
FACE EXTERIOR	26.53	3466.174	2933.519	84.6	--	--
INTERFACE 1-2	25.89	3337.185	3043.492	91.2	--	--
FACE INTERIOR	25.88	3335.136	3043.519	91.3	--	--
AR INTERIOR	25.00	3165.920	3043.519	96.1		

ONDE:

θ : TEMPERATURA, °C.

P_{SAT} : PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

P_N : PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA, PA.

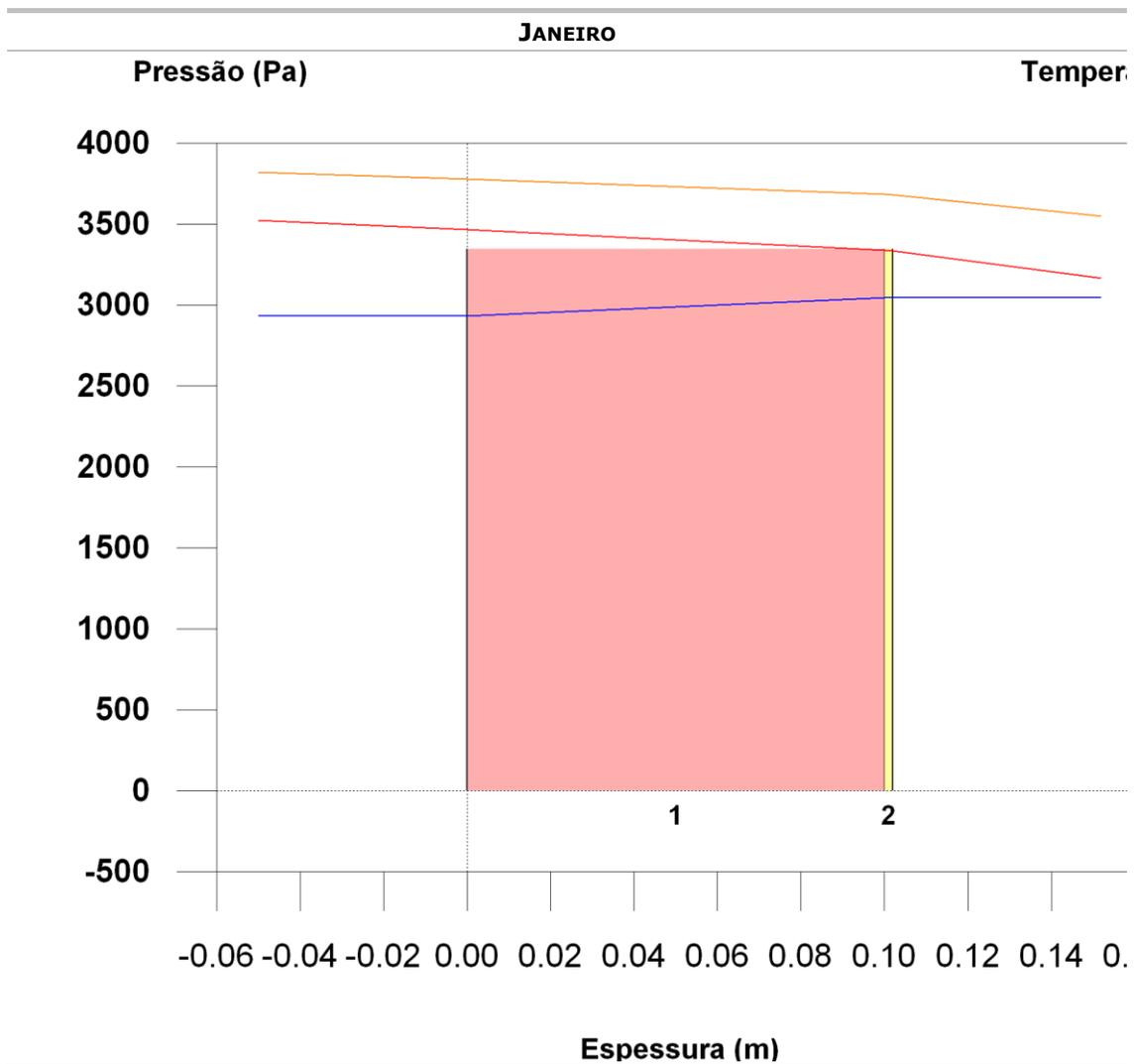
ϕ : HUMIDADE RELATIVA, %.

G_C : DENSIDADE DE FLUXO DE CONDENSAÇÃO, G/(M²·MES).

M_A : CONTEÚDO ACUMULADO DE HUMIDADE POR UNIDADE DE SUPERFÍCIE, G/M².

>> REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (JANEIRO)

6.- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS CONDENSAÇÕES INTERSTICIAIS PREVISTAS



Anexo A – EN ISO 13788:2012

**Hygrothermal performance of
building components and building
elements — Internal surface
temperature to avoid critical
surface humidity and interstitial
condensation — Calculation methods**

*Performance hygrothermique des composants et parois de
bâtiments — Température superficielle intérieure permettant d'éviter
l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse —
Méthodes de calcul*



Reference number
ISO 13788:2012(E)

© ISO 2012



COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT

© ISO 2012

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Published in Switzerland

Contents

Page

Foreword	iv
Introduction	v
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions, symbols and units	1
3.1 Terms and definitions.....	1
3.2 Symbols and units.....	3
3.3 Subscripts.....	4
4 Input data for the calculations	4
4.1 Material and product properties.....	4
4.2 External boundary conditions.....	4
4.3 Internal boundary conditions.....	6
4.4 Surface resistances.....	6
5 Calculation of surface temperature to avoid critical surface humidity	7
5.1 General.....	7
5.2 Determining parameters.....	7
5.3 Design for avoidance of mould growth, corrosion or other moisture damage.....	7
5.4 Design for the limitation of surface condensation on low thermal inertia elements.....	8
6 Calculation of interstitial condensation	9
6.1 General.....	9
6.2 Principle.....	9
6.3 Limitation of sources of error.....	10
6.4 Calculation.....	10
6.5 Criteria used to assess building components.....	16
7 Calculation of drying of building components	16
7.1 General.....	16
7.2 Principle.....	17
7.3 Specification of the method.....	17
7.4 Criteria used to assess drying potential of building components.....	17
Annex A (informative) Internal boundary conditions	18
Annex B (informative) Examples of calculation of the temperature factor at the internal surface to avoid critical surface humidity	20
Annex C (informative) Examples of calculation of interstitial condensation	24
Annex D (informative) Example of the calculation of the drying of a wetted layer	34
Annex E (informative) Relationships governing moisture transfer and water vapour pressure	37
Bibliography	40

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 13788 was prepared by Technical Committee ISO/TC 163, *Thermal performance and energy use in the built environment*, Subcommittee SC 2, *Calculation methods* in cooperation with CEN/TC 89, *Thermal performance of buildings and building components*.

This second edition cancels and replaces the first edition (ISO 13788:2001), which has been technically revised.

.....

Introduction

Moisture transfer is a very complex process and the knowledge of moisture transfer mechanisms, material properties, initial conditions and boundary conditions is often limited. Therefore this International Standard lays down simplified calculation methods, which assume that moisture transport is by vapour diffusion alone and use monthly climate data. The standardization of these calculation methods does not exclude use of more advanced methods. If other sources of moisture, such as rain penetration or convection, are negligible, the calculations will normally lead to designs well on the safe side and if a construction fails a specified design criterion according to this procedure, more accurate methods may be used to show that the design will pass.

This International Standard deals with:

- a) the critical surface humidity likely to lead to problems such as mould growth on the internal surfaces of buildings,
- b) interstitial condensation within a building component, in:
 - heating periods, where the internal temperature is usually higher than outside;
 - cooling periods, where the internal temperature is usually lower than the outside;
 - cold stores, where the internal temperature is always lower than outside.
- c) an estimate of the time taken for a component, between high vapour resistance layers, to dry, after wetting from any source, and the risk of interstitial condensation occurring elsewhere in the component during the drying process.

This International Standard does not cover other aspects of moisture, e.g. ground water and ingress of precipitation.

In some cases, airflow from the interior of the building into the structure is the major mechanism for moisture transport, which can increase the risk of condensation problems very significantly. This International Standard does not address this issue; where it is felt to be important, more advanced assessment methods should be considered.

The limitations on the physical processes covered by this International Standard mean that it can provide a more robust analysis of some structures than others. The results will be more reliable for lightweight, airtight structures that do not contain materials that store large amounts of water. They will be less reliable for structures with large thermal and moisture capacity and which are subject to significant air leakage.

Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods

1 Scope

This International Standard gives simplified calculation methods for:

- a) The internal surface temperature of a building component or building element below which mould growth is likely, given the internal temperature and relative humidity. The method can also be used to assess the risk of other internal surface condensation problems.
- b) The assessment of the risk of interstitial condensation due to water vapour diffusion. The method used does not take account of a number of important physical phenomena including:
 - the variation of material properties with moisture content;
 - capillary suction and liquid moisture transfer within materials;
 - air movement from within the building into the component through gaps or within air spaces;
 - the hygroscopic moisture capacity of materials.

Consequently, the method is applicable only where the effects of these phenomena can be considered to be negligible.

- c) The time taken for water, from any source, in a layer between two high vapour resistance layers to dry out and the risk of interstitial condensation occurring elsewhere in the component during the drying process.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 6946:2007, *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method*

ISO 9346, *Hygrothermal performance of buildings and building materials — Physical quantities for mass transfer — Vocabulary*

ISO 15927-1, *Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data — Part 1: Monthly means of single meteorological elements*

3 Terms and definitions, symbols and units

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 9346 and the following apply.

3.1.1

monthly mean temperature

mean temperature calculated from hourly values or the daily maximum and minimum temperature over a month

3.1.2

temperature factor at the internal surface

difference between the temperature of the internal surface and the external air temperature, divided by the difference between the internal operative temperature and the external air temperature, calculated with a surface resistance at the internal surface R_{si} :

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Note 1 to entry: The operative temperature is taken as the arithmetic mean value of the internal air temperature and the mean radiant temperature of all surfaces surrounding the internal environment.

Note 2 to entry: Methods of calculating the temperature factor in complex constructions are given in ISO 10211.

3.1.3

design temperature factor at the internal surface

minimum acceptable temperature factor at the internal surface:

$$f_{R_{si,min}} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

3.1.4

minimum acceptable temperature

lowest internal surface temperature before mould growth may start

3.1.5

mean annual minimum temperature

mean of the lowest temperature recorded in each year of a set of at least ten years' data

3.1.6

internal moisture excess

rate of moisture production in a space divided by the air change rate and the volume of the space:

$$\Delta v = v_i - v_e = G / (n \cdot V)$$

3.1.7

water vapour diffusion-equivalent air layer thickness

thickness of a motionless air layer which has the same water vapour resistance as the material layer in question: $s_d = \mu \cdot d$

3.1.8

relative humidity

ratio of the vapour pressure to the saturated vapour pressure at the same temperature:

$$\varphi = \frac{p}{p_{sat}}$$

3.1.9

critical surface humidity

relative humidity at the surface that leads to deterioration of the surface, specifically mould growth

3.1.10

heating period

external climate that leads to risk of condensation when a building is being heated, so that the internal temperature and vapour pressure are higher than outside

3.1.11 cooling period

external climate that leads to risk of condensation when a building is being cooled, so that the internal temperature and vapour pressure are lower than outside

3.2 Symbols and units

Symbol	Quantity	Unit
D	water vapour diffusion coefficient in a material	m^2/s
D_0	water vapour diffusion coefficient in air	m^2/s
G	internal moisture production rate	kg/h
M_a	accumulated moisture content per area at an interface	kg/m^2
R	thermal resistance	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
R_v	gas constant for water vapour = 462	$\text{Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{K}\cdot\text{kg})$
T	thermodynamic temperature	K
U	thermal transmittance of component or element	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
V	internal volume of building	m^3
Z_p	water vapour diffusion resistance with respect to partial vapour pressure	$\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}/\text{kg}$
Z_v	water vapour diffusion resistance with respect to humidity by volume	s/m^2
d	material layer thickness	m
f_{Rsi}	temperature factor at the internal surface	-
$f_{Rsi,min}$	design temperature factor at the internal surface	-
g	density of water vapour flow rate	$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
n	air change rate	h^{-1}
p	water vapour pressure	Pa
q	density of heat flow rate	W/m^2
s_d	water vapour diffusion-equivalent air layer thickness	m
t	time	s
w	moisture content mass by volume	kg/m^3
δ_p	water vapour permeability of material with respect to partial vapour pressure	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$
δ_0	water vapour permeability of air with respect to partial vapour pressure	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$
v	humidity of air by volume	kg/m^3
Δv	internal moisture excess, $v_i - v_e$	kg/m^3
Δp	internal vapour pressure excess, $p_i - p_e$	Pa
φ	relative humidity	-
λ	thermal conductivity	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
μ	water vapour resistance factor	-
θ	Celsius temperature	$^\circ\text{C}$
$\theta_{si,min}$	minimum acceptable surface temperature	$^\circ\text{C}$

3.3 Subscripts

an	annual	m	mean
c	condensation	n	interface
cr	critical value	s	surface
e	external air	sat	value at saturation
ev	evaporation	se	external surface
eq	equivalent (outside temperature)	si	internal surface
i	internal air	T	total over the whole component or element
min	minimum value		

4 Input data for the calculations

4.1 Material and product properties

For the calculations, design values shall be used. Design values in product or material specifications or the tabulated design values given in the standards referred to in [Table 1](#) may be used.

Table 1 — Material and product properties

Property	Symbol	Design values
Thermal conductivity Thermal resistance	λ R	Obtained or determined in accordance with ISO 10456.
Water vapour resistance factor Water vapour diffusion-equivalent air layer thickness	μ s_d	Obtained from ISO 10456 or determined in accordance with ISO 12572.

Thermal conductivity, λ , and water vapour resistance factor, μ , are applicable to homogenous materials and thermal resistance, R , and water vapour diffusion-equivalent air layer thickness, s_d , apply primarily to composite products or products without well-defined thickness.

For air layers, R is taken from ISO 6946 and s_d is assumed to be 0,01 m, independent of air layer thickness and inclination.

4.2 External boundary conditions

4.2.1 Location

Unless otherwise specified, the external conditions used shall be representative of the location of the building, taking account of altitude where appropriate.

NOTE Unless other information is available (for example in national standards), it can be assumed that temperature falls by 1 K for every 200 m increase in altitude.

4.2.2 Time period for climatic data

For the calculation of the risk of surface mould growth or the assessment of structures for the risk of interstitial condensation, monthly mean values, derived using the methods described in ISO 15927-1, or in national standards, shall be used.

In the absence of national data or standards, the mean monthly temperatures shall be those likely to occur once in 10 years, obtained from local climate records. If these data are not available, 2 K may be subtracted from the monthly mean temperatures for an average year for calculations in a heating climate, or 2 K added to the monthly mean temperatures for an average year in a cooling climate.

For calculations of the risk of surface condensation on low thermal inertia elements such as windows and their frames, the average, taken over several years, of the lowest daily mean temperature in each year shall be used in the absence of any national standards.

4.2.3 External temperature

The following temperatures shall be used for the calculations.

- a) For calculations of walls exposed to the outside, the external air temperature as specified in [4.2.1](#) and [4.2.2](#) shall be used.
- b) For calculation of solid ground floors or walls below the ground, incorporate 2 m of soil below the floor in the calculation. The monthly mean temperatures in the ground below this may be estimated with the following steps:
 - Take the twelve monthly mean external air temperatures: θ_m
 - Average these to give the annual mean external air temperature: θ_{an}
 - For each month calculate the average of the θ_m and θ_{an} : $(\theta_{an} + \theta_m)/2$
 - Displace the calculated values by one month, so the January value becomes February etc.
 - If necessary, more detailed calculation of ground temperature may be carried out with the methods in ISO 13370.
- c) For calculations of suspended floors algorithms for the calculation of monthly subfloor temperatures from the internal and external monthly temperatures are given in [Annex E](#) of ISO 13370
- d) For calculations of roofs the monthly mean equivalent outside temperature, $\overline{\theta_{eq}}$, which takes account of solar gain and cooling by long wave radiation, should be used; $\overline{\theta_{eq}}$ can be calculated using the methodology given in ISO 13790. As a simplified case, $\overline{\theta_{eq}}$ can be taken by subtracting 2 K from every monthly mean external air temperature.

4.2.4 External humidity

4.2.4.1 External air

To define the external air humidity conditions, use vapour pressure, p_e .

Monthly mean vapour pressure may be calculated from the mean temperature and relative humidity using Formula (1).

$$\overline{p_e} = \overline{\varphi_e} p_{\text{sat}}(\overline{\theta_e}) \quad (1)$$

For calculations of the risk of surface condensation on low thermal inertia elements such as windows and their frames, the external relative humidity corresponding to the temperatures defined in [4.2.2](#) shall be used.

NOTE In some climates the relative humidity associated with the mean annual minimum temperature can be assumed to be 0,85.

4.2.4.2 Humidity conditions in the ground

Assume saturation ($\varphi = 1$).

4.3 Internal boundary conditions

4.3.1 Internal air temperature

Use values according to the expected use of the building.

NOTE [Annex A](#) gives a method for estimating internal air temperature from the external temperature.

4.3.2 Internal humidity

The internal air humidity can be either

- a) obtained from

$$p_i = p_e + \Delta p \quad (2)$$

Take values of Δp according to the expected use of the building.

Δp may be derived from the internal moisture excess, Δv , using

$$\Delta p = \Delta v R_v T_i = \frac{G}{nV} R_v T_i \quad (3)$$

Values of Δp for a range of building types may be found in Appendix A.

or

- b) given as a monthly mean value φ_i when the internal relative humidity is known.

NOTE [Annex A](#) gives a method for estimating internal relative humidity from the external air temperature.

- c) given as a constant φ_i when the internal relative humidity is kept constant e.g. by air-conditioning.

4.4 Surface resistances

4.4.1 Heat transfer

The value of R_{se} shall be taken as 0,04 m²·K/W.

For condensation or mould growth on opaque surfaces, an internal surface thermal resistance of 0,25 m²·K/W shall be taken to represent the effect of corners, furniture, curtains or suspended ceilings, if there are no national standards.

The values of R_{si} given in [Table 2](#) shall be used for the assessment of interstitial condensation, or surface condensation on windows and doors.

Table 2 — Internal thermal resistances for the assessment of interstitial condensation, or surface condensation on windows and doors

Direction of heat flow	Thermal resistance m ² ·K/W
Upwards	0,10
Horizontal	0,13
Downwards	0,17

4.4.2 Water vapour transfer

The surface water vapour resistance is assumed to be negligible in the calculations in accordance with this International Standard.

5 Calculation of surface temperature to avoid critical surface humidity

5.1 General

This clause specifies a method to design the building envelope to prevent the adverse effects of critical surface humidity, e.g. mould growth.

NOTE Surface condensation can cause damage to unprotected building materials that are sensitive to moisture. It can be accepted temporarily and in small amounts, e.g. on windows and tiles in bathrooms, if the surface does not absorb the moisture and adequate measures are taken to prevent its contact with adjacent sensitive materials.

There is a risk of mould growth when monthly mean surface relative humidities are above a critical relative humidity, $\varphi_{si,cr}$, which should be taken as 0,8 unless more specific information is available from National Regulations or elsewhere.

5.2 Determining parameters

Besides the external climate (air temperature and humidity), three parameters govern surface condensation and mould growth:

- a) the “thermal quality” of each building envelope element, represented by thermal resistance, thermal bridges, geometry and internal surface resistance. The thermal quality can be characterized by the temperature factor at the internal surface, f_{Rsi} ;

NOTE ISO 10211 gives a method for calculating weighting factors, when there is more than one inside boundary temperature.

- b) the internal moisture supply;
- c) internal air temperature and the heating system and its settings.

5.3 Design for avoidance of mould growth, corrosion or other moisture damage

To avoid mould growth the monthly mean relative humidity at the surface should not exceed a critical relative humidity φ_{sigr} , which should be taken as 0,8 unless more specific information is available from National Regulations or elsewhere. Other criteria, e.g. $\varphi_{sigr} \leq 0,6$ to avoid corrosion, can be used if appropriate.

The principal steps in the design procedure are to determine the internal air humidity and then, based on the required relative humidity at the surface, to calculate the acceptable saturation humidity by volume, v_{sat} , or vapour pressure, p_{sat} , at the surface. From this value, a minimum surface temperature and hence a required “thermal quality” of the building envelope (for a given internal air temperature and expressed by f_{Rsi}) is established.

For each month of the year, go through the following steps:

- a) define the external temperature in accordance with [4.2.3](#);
- b) define the external humidity in accordance with [4.2.4](#);
- c) define the internal temperature in accordance with national practice;
- d) use the procedure defined in [4.3.2](#) to obtain the internal relative humidity;

- e) with a maximum acceptable relative humidity at the surface, $\varphi_{si} = \varphi_{sigr}$, calculate the minimum acceptable saturation vapour pressure, p_{sat}

$$p_{sat}(\theta_{si}) = \frac{p_i}{\phi_{sigr}} \quad (4)$$

- f) determine the minimum acceptable surface temperature, $\theta_{si,min}$, from the minimum acceptable saturation vapour pressure calculated in e);

NOTE The temperature as a function of saturation vapour pressure can be found from Formula (E.3) or Formula (E.4). Another option is to prepare a table or a graph, based on Formulae (E.1) and (E.2), indicating the relationship between p_{sat} and θ_i to find θ from p_{sat} .

- g) from the minimum acceptable surface temperature, $\theta_{si,min}$, assumed internal air temperature, θ_i (see 4.3.1) and external temperature, θ_e , the minimum temperature factor, $f_{Rsi,min}$, is calculated according to the Formula in 3.1.3.

The month with the highest required value of $f_{Rsi,min}$ is the critical month. The temperature factor for this month is $f_{Rsi,max}$ and the building element shall be designed so that $f_{Rsi,max}$ is always exceeded, i.e. $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$.

Examples of this procedure are given in [Annex B](#).

For a given building design effective values of f_{Rsi} can be derived:

- for plane elements, from $f_{Rsi} = 1 - R_{si} U$;
- where multidimensional heat flow occurs, from a finite element or similar programme in accordance with ISO 10211.

5.4 Design for the limitation of surface condensation on low thermal inertia elements

The assessment of surface condensation on low thermal inertia elements such as, for example, windows and their frames, which show fast response to temperature changes, requires a different procedure.

Condensation on the inside surface of window frames can be an inconvenience if the water runs onto adjacent decorations, and can cause corrosion in metal frames or rot in wooden ones by penetrating joints, e.g. between the frame and glass. Because of their impermeable surface finish, mould growth is rarely a problem on window frames. The maximum acceptable relative humidity at the frame surface is therefore $\varphi_{si} = 1$.

Some intermittent condensation on window frames may be acceptable, however the procedure specified below will limit this.

- a) Define the external temperature as the average, taken over several years, of the lowest daily mean temperature in each year.
- b) Define the internal temperature according to national practice.
- c) Use the procedure defined in 4.3.2 to obtain the internal relative humidity.
- d) With a maximum acceptable relative humidity at the internal surface, $\varphi_{si} = 1,0$, calculate the minimum acceptable vapour pressure, p_{sat}

$$p_{sat}(\theta_{si}) = p_i \quad (5)$$

- e) Determine the minimum acceptable surface temperature, $\theta_{si,min}$, from the minimum acceptable saturation vapour pressure.

NOTE 1 The temperature as a function of saturation vapour pressure can be found from Formula (E.3) or Formula (E.4). Another option is to prepare a table or a graph, based on Formulae (E.1) and (E.2) indicating the relationship between p_{sat} and θ_i to find θ from p_{sat} .

- f) From the minimum acceptable surface temperature $\theta_{\text{si,min}}$, assumed internal air temperature, θ_i (see 4.3.1) and external temperature, θ_e , the required temperature factor of the building element, $f_{\text{Rsi,min}}$, is calculated according to the Formula in 3.1.3.

Owing to the complex form and variety of materials used in window frames and the interactions between the glass, frame and wall containing the window, heat flows and surface temperatures cannot, generally, be calculated by simple one dimensional methods. Care therefore needs to be taken linking the minimum acceptable surface temperature of the frame to the internal and external air temperatures.

Two, or if necessary three, dimensional finite element calculations on complete window systems including the glazing, give surface temperatures that can be scaled to any combination of internal or external temperatures. Calculations carried out with an insulation material, such as expanded polystyrene, substituted for the glazing, used to obtain an equivalent thermal transmittance of the frame, do not give accurate surface temperatures.

NOTE 2 Details of appropriate calculation methods are given in ISO 10077-2.

Various simplified methods have been developed to allow the calculation of realistic thermal transmittances of complete windows taking account of multi-dimensional heat flows through the frame and the spacer between the panes of double glazing. While these will give accurate heat flows, surface temperatures will be seriously in error and they should not be used to estimate the risk of condensation.

6 Calculation of interstitial condensation

6.1 General

This clause gives a method to establish the annual moisture balance and to calculate the maximum amount of accumulated moisture due to interstitial condensation. The method is an assessment rather than an accurate prediction tool. It is suitable for comparing different constructions and assessing the effects of modifications. It does not provide an accurate prediction of moisture conditions within the structure under service conditions.

6.2 Principle

Starting with the first month in which any condensation is predicted, the monthly mean external conditions are used to calculate the amount of condensation or evaporation in each of the 12 months of a year. The accumulated mass of condensed water at the end of those months when condensation has occurred is compared with the total evaporation during the rest of the year. One-dimensional, steady-state conditions are assumed. The only effect of air movement considered is the presence of a continuous air cavity, which is well ventilated to the outside as defined in ISO 6946. The effect of air movement through the building component is not considered.

Moisture transfer is assumed to be pure water vapour diffusion, described by the following equation:

$$g = \frac{\delta_0}{\mu} \frac{\Delta p}{d} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d} \quad (6)$$

where $\delta_0 = 2 \times 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$.

NOTE 1 δ_0 depends on temperature and barometric pressure, but these influences are neglected in this International Standard.

The density of heat flow rate is given by:

$$q = \lambda \frac{\Delta \theta}{d} = \frac{\Delta \theta}{R} \quad (7)$$

NOTE 2 The thermal conductivity, λ , and the thermal resistance, R , are assumed constant and the specific heat capacity of the materials not relevant. For parallel sided homogeneous materials, $R = d/\lambda$. Heat sinks/sources due to phase changes are neglected.

NOTE 3 Calculation methods according to this principle are often called "Glaser methods". More advanced methods are specified in EN 15026.

6.3 Limitation of sources of error

There are several sources of error caused by the simplifications described in [6.2](#).

- a) The thermal conductivity depends on the moisture content, and heat is released/absorbed by condensation/evaporation. This will change the temperature distribution and saturation values and affect the amount of condensation/drying.
- b) The use of constant material properties is an approximation.
- c) Capillary suction and liquid moisture transfer occur in many materials and this may change the moisture distribution.
- d) Air movements within building materials, gaps, joints or air spaces may change the moisture distribution by moisture convection. Rain or melting snow may also affect the moisture conditions.
- e) The real boundary conditions are not constant over a month.
- f) Most materials are at least to some extent hygroscopic and can absorb water vapour.
- g) One-dimensional moisture transfer is assumed.
- h) The effects of solar and long-wave radiation are neglected except for roofs.

NOTE Due to the many sources of error, this calculation method is less suitable for certain building components and climates. Neglecting moisture transfer in the liquid phase normally results in an overestimate of the risk of interstitial condensation.

This International Standard is not intended to be used for building elements where there is airflow through or within the element or where rain water is absorbed.

6.4 Calculation

6.4.1 Material properties

Divide the building element into a series of parallel-sided homogeneous layers and define the material properties of each layer and the surface coefficients in accordance with [4.4.1](#) and [4.4.2](#). Each layer in multi-layer products or components, including any products with facings or coatings, shall be treated as an individual layer, taking full account of their respective thermal and moisture vapour transmission properties. Calculate the thermal resistance, R , and the water vapour diffusion-equivalent air layer thickness, s_d , of each individual layer of the building element. It is recommended that elements with a thermal resistance greater than $0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ are subdivided into a number of notional layers each with thermal resistance not exceeding $0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$; these subdivisions are treated as separate material layers with interfaces between them in all calculations.

If the element contains a layer which is well ventilated to the outside, as defined in 5.3.4 of ISO 6946:2007, take no account of all material layers between the cavity and outside.

Some materials, such as sheet metals, effectively prevent the passage of any water vapour and therefore have an infinite value of μ . However, as a finite value of μ for a material is required for the calculation procedure, a value of 100 000 should be taken for these materials. This can lead to the prediction of negligibly small amounts of condensation, which should be disregarded as due to the inaccuracy of the calculation method.

Calculate the accumulated thermal resistance and the water vapour diffusion-equivalent air layer thickness from the outside to each interface n .

$$R'_n = R_{se} + \sum_{j=1}^n R_j \quad (8)$$

$$s'_{d,n} = \sum_{j=1}^n s_{d,j} \quad (9)$$

The total thermal resistance and the water vapour diffusion-equivalent air layer thickness are given by Formulae (10) and (11):

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^N R_j + R_{se} \quad (10)$$

$$s'_{d,T} = \sum_{j=1}^N s_{d,j} \quad (11)$$

6.4.2 Boundary conditions for interstitial condensation

Define internal and external temperature and humidity according to [4.2](#).

If the element contains a layer which is well ventilated to the outside, assume the temperature and vapour pressure in the cavity are the same as outside air. Assume the outside surface thermal resistance is the same as the value for inside appropriate to the direction of heat flow, as defined in [Table 2](#).

6.4.3 Starting month

Starting with any month of the year (the trial month), calculate the temperature, saturated vapour pressure and vapour distributions through the component as specified in [6.4.4](#) and [6.4.5](#). Determine whether any condensation is predicted.

If no condensation is predicted in the trial month, repeat the calculation with successive following months until either:

- a) no condensation has been found in any of the 12 months, then report the component as free from condensation; or
- b) a month is found with condensation, this is the starting month.

If condensation is predicted in the trial month, repeat the calculation with successively earlier months until either:

- c) condensation is predicted in all 12 months; then, starting in any month, calculate the total annual accumulation of condensation as specified in [6.4.4](#), [6.4.5](#) and [6.4.6](#); or
- d) a month is found with no condensation; then take the following month as the starting month.

NOTE In climates outside the tropics, with well defined seasons, choosing a trial month two or three months before the coldest period of the year will normally allow the starting month to be found rapidly.

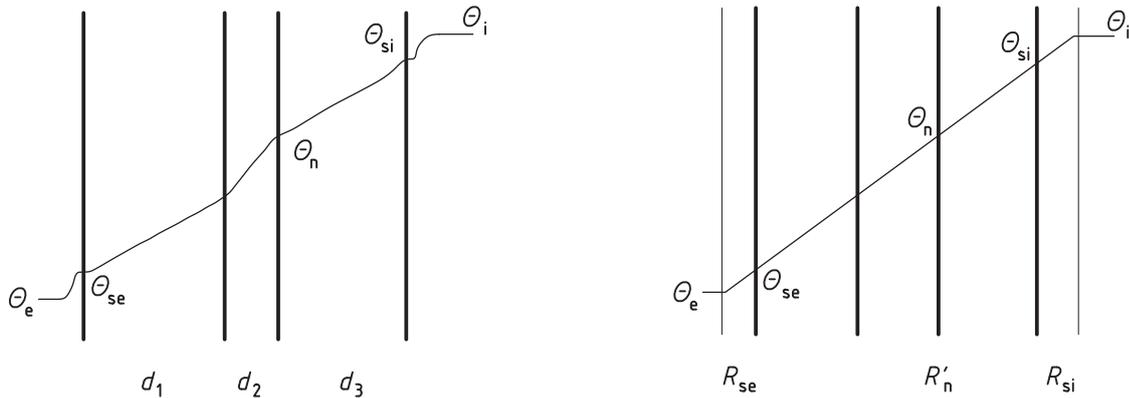
If a starting month has been determined, carry out the calculations specified in [6.4.4](#), [6.4.5](#) and [6.4.6](#) for each month of the year, starting with the starting month.

6.4.4 Temperatures and saturated vapour pressure distribution

Calculate the temperature at each interface between materials according to:

$$\theta'_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} (\theta_i - \theta_e) \tag{12}$$

The temperature distribution in each layer is linear given the assumption of steady-state conditions, see [Figure 1](#).



(a) Plotted against the width of each layer (b) Plotted against thermal resistance of each layer

Figure 1 — Temperature distribution in a multi-layer building element

Calculate the saturation vapour pressure from the temperature at each interface between material layers.

NOTE Expressions for saturation vapour pressure as a function of temperature are given in [Annex E](#).

6.4.5 Vapour pressure distribution

Draw a cross section of the building element with the thicknesses of each layer equivalent to its water vapour diffusion-equivalent air layer thickness, s_d , see [Figure 2](#). Draw straight lines joining the saturation vapour pressures at each interface between materials.

If there is no accumulated condensate from the previous month, draw the vapour pressure profile as a straight line between the internal and external vapour pressure (p_i and p_e). If this line does not exceed the saturation pressure at any interface, condensation does not occur; see [Figure 2](#), in which the water vapour pressure in the building component is lower at every point in the component than the vapour saturation pressure.

The vapour flow rate through the building element may be calculated as:

$$g = \delta_0 \frac{p_i - p_e}{s'_{d,T}} \tag{13}$$

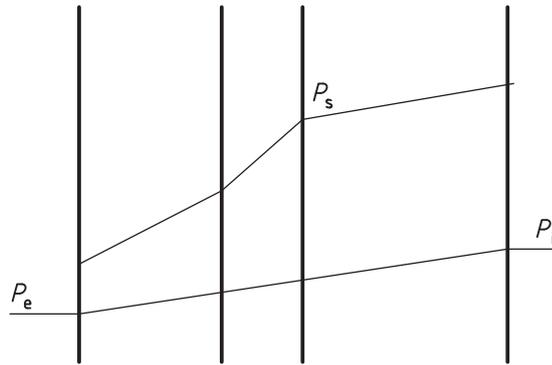


Figure 2 — Water vapour diffusion in a multi-layer building element without any interstitial condensation

If the vapour pressure exceeds the saturation pressure at any interface, assume that the local value of the vapour pressure is equal to the saturation pressure and redraw the vapour pressure as a series of lines which touch, but do not exceed the saturation vapour pressure profile at as few points as possible, see examples in [Figures 3](#) and [4](#). These points are the condensation interfaces.

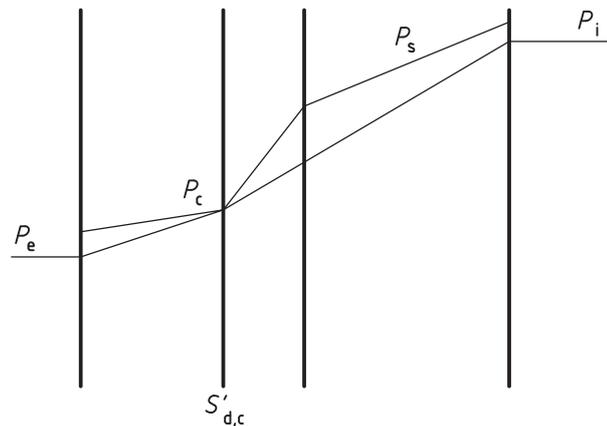


Figure 3 — Water vapour diffusion with interstitial condensation in one interface plane

6.4.6 Condensation rate

The rate of condensation is the difference between the amount of moisture transported to and the amount of moisture transported from the condensation interface:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \quad (14)$$

In a building component with **more than one** condensation interface, maintain a record of the amount of condensation in each interface.

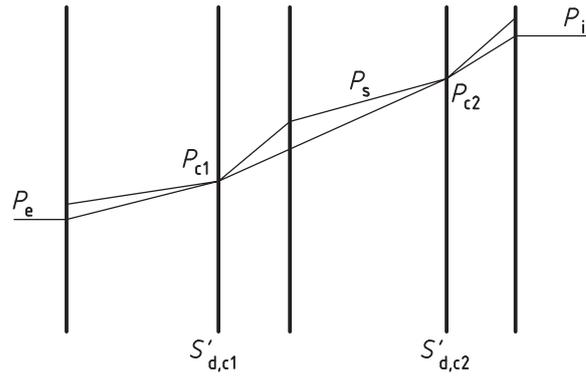


Figure 4 — Water vapour diffusion with interstitial condensation in two interface planes

The rate of condensation is calculated for each condensation interface from the difference in slope between successive straight lines, that is, in the case of two condensation interfaces (see Figure 4).

At interface c1:

$$g_{c1} = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \tag{15}$$

At interface c2:

$$g_{c2} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \tag{16}$$

6.4.7 Evaporation

When there is condensate, accumulated from previous months, at one or more interfaces, the vapour pressure shall be equal to the saturation pressure and the vapour pressure profile shall be drawn as straight lines between the values representing internal vapour pressure, condensation interfaces and external vapour pressure, see Figure 5. If the vapour pressure values exceed the saturation values at any interface, redraw the vapour pressure lines as specified in 6.4.4.

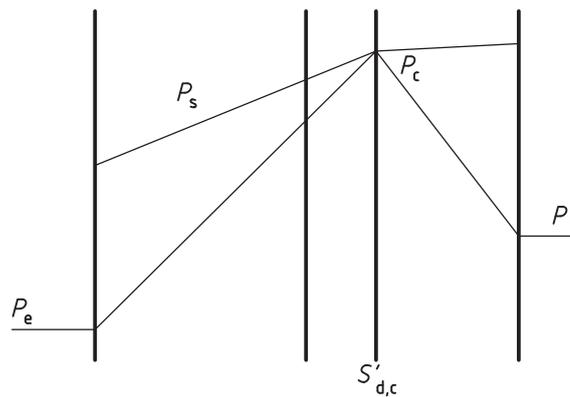


Figure 5 — Evaporation from an interface in the building component

The rate of evaporation is calculated as

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \tag{17}$$

NOTE The expressions for the rate of evaporation and condensation are the same. By convention, condensation occurs if the expression is positive and evaporation if the expression is negative.

In a building component with **more than one** condensation interface the rate of evaporation is calculated for each interface separately, see [Figure 6](#).

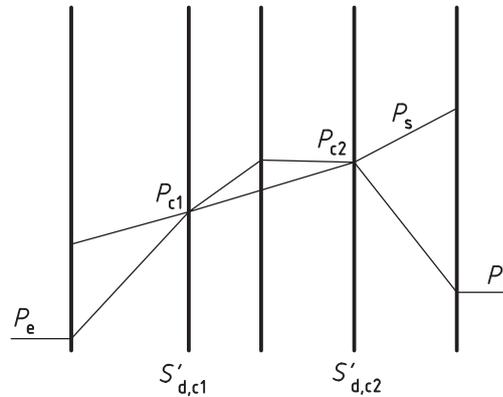


Figure 6 — Evaporation from a building component, when condensation has occurred in two interfaces

The rates of evaporation, for two evaporation interfaces, are calculated as (see [Figure 6](#)):

At interface c1:

$$g_{ev1} = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \quad (18)$$

At interface c2:

$$g_{ev2} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \quad (19)$$

If the accumulated amount of condensate at an interface at the end of the month is calculated as a negative value, either set it to zero or calculate the time for the accumulated condensate to reach zero and then divide the month into two sections, with and without condensate at the interface.

6.4.8 Evaporation and condensation

In a building component with more than one condensation interface there could be months with condensation in one interface and evaporation in another, see [Figure 7](#).

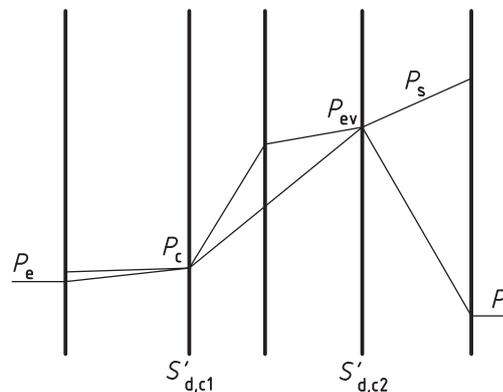


Figure 7 — Evaporation in one interface and condensation in another in a building component, where condensation has occurred in two interfaces

The rate of condensation, g_c , or evaporation, g_{ev} , are calculated for each interface separately:

Condensation between layer 1 and 2:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \quad (20)$$

Evaporation between layer 3 and 4:

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \quad (21)$$

Examples of interstitial condensation calculations are given in [Annex C](#).

6.5 Criteria used to assess building components

Report the results of the calculations according to a), b) or c) as applicable.

a) No condensation predicted at any interface in any month.

In this case report the structure as being free of interstitial condensation.

b) Condensation occurs at one or more interfaces during some months but, for each interface concerned, there is no net accumulation over the year as all the condensate is predicted to evaporate again.

In this case report the maximum amount of condensation that occurred at each interface, and the month during which the maximum occurred. Also, the risk of water run-off or degradation of building materials and deterioration of thermal performance as a consequence of the calculated maximum amount of moisture shall be considered according to regulatory requirements and other guidance in product standards.

NOTE If the maximum accumulation of condensate exceeds 200 g/m² the risk of run-off from non-absorbent materials will be very high.

c) Condensation at one or more interfaces does not completely evaporate.

In this case report that the structure has failed the assessment, and state the maximum amount of moisture that occurred at each interface together with the amount of moisture remaining after twelve months at each interface.

7 Calculation of drying of building components

7.1 General

This clause gives a method to establish the drying potential of building components, especially those bounded by high vapour resistance layers such as foils, membranes or coatings with $s_d > 2$ m, that have shown no harmful condensation with the procedure specified in [Clause 6](#), under the imposed internal and external climate. It also assesses the risk of interstitial condensation, at another location within the component, caused by the water evaporating from a wetted layer.

NOTE Material layers may have become wet by built-in moisture, rain impact during construction, a leak from services, a defect in a waterproof layer or a previous interstitial condensation problem that has been rectified.

The method should be regarded as an assessment rather than as an accurate prediction tool. It is suitable for comparing different constructions and assessing the effects of modifications.

7.2 Principle

The procedure assumes that there is an excess moisture content of 1 kg/m^2 concentrated at the centre of a specified layer. The monthly mean external conditions are used to calculate the amount of evaporation in each of the twelve months of a year. This year is repeated until the excess moisture content of the specified layer reaches zero. This time in months is reported as the length of time that the structure will take to dry out completely. At the same time the risk of condensation at other interfaces, caused by the evaporated excess moisture, is evaluated.

7.3 Specification of the method

- a) Specify the material layer assumed to have been wetted;
- b) Divide that layer into two equal parts, with an interface between them;
- c) Introduce 1 kg/m^2 of moisture at that interface.

Carry out the interstitial condensation procedure specified in [6.4.4](#) to [6.4.8](#), starting with the appropriate month and repeating the monthly calculations until either all the excess moisture has dried out or ten years have been calculated.

7.4 Criteria used to assess drying potential of building components

Report the results of the calculations according to a), b) or c) as applicable.

- a) Drying out within ten years without condensation in other layers.

In this case report the drying out time in months and estimate the risk of degradation to the layer containing the excess moisture.

- b) Drying out within ten years with temporary condensation in other layers.

In this case report the drying out time in months and the maximum amount of condensation that occurred at each interface, and the month during which the maximum occurred. Also, the risk of water run-off or degradation of building materials and deterioration of thermal performance as a consequence of the calculated maximum amount of moisture shall be considered according to regulatory requirements and other guidance in product standards.

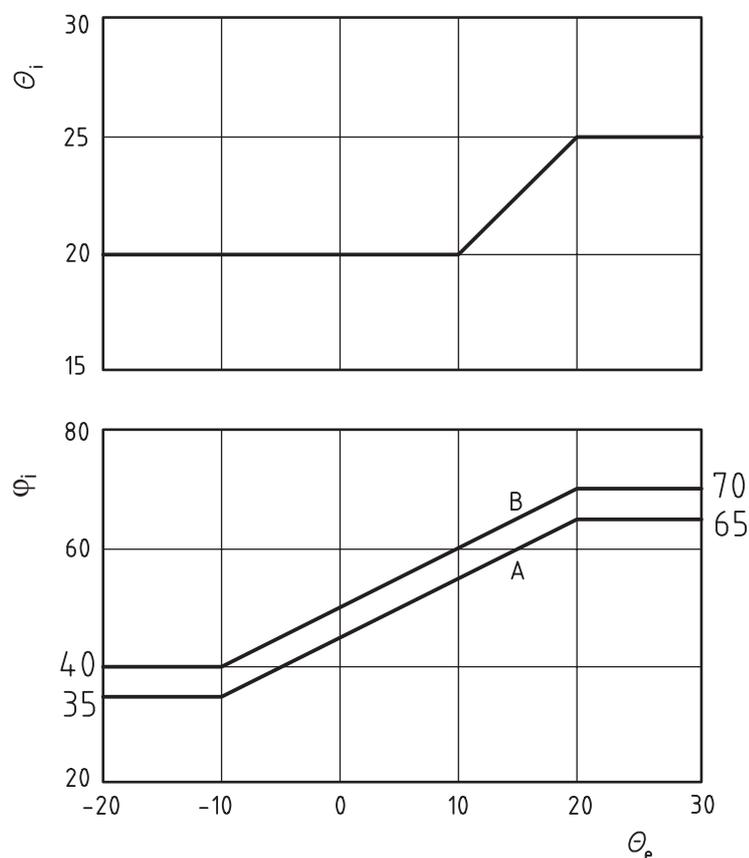
- c) Drying time exceeds ten years.

Annex A (informative)

Internal boundary conditions

A.1 'Continental' and tropical climates

In the absence of well-defined - controlled, measured or simulated - internal air conditions, a simplified approach to determine the internal temperature and humidity for heated buildings (only dwellings and offices) based on the external air temperature may be used. The internal air conditions are derived from entering the daily mean of the external air temperature into the graphs in [Figure A.1](#). The internal air humidity level is selected according to the expected occupancy of the building.



Key

- θ_i internal temperature, expressed in °C
- ϕ_i internal relative humidity, expressed in %
- θ_e external temperature, expressed in °C
- A normal occupancy
- B high occupancy

Figure A.1 — Daily mean internal air temperature and humidity in dwellings and office buildings depending on the daily mean external air temperature

A.2 Maritime climates

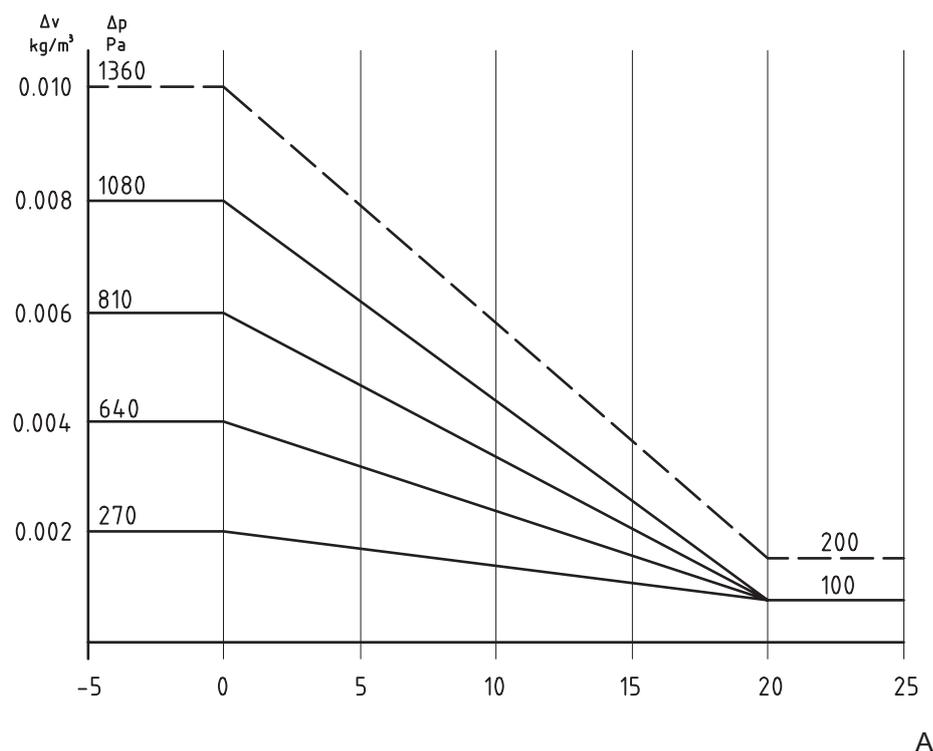
Internal humidity load can be described by five humidity classes. [Figure A.2](#) shows limit values of Δv and Δp for each class. For the calculations, it is recommended that the upper limit value for each class is used unless the designer can demonstrate that conditions are less severe. The data in [Figure A.2](#) are derived from buildings in Western Europe. Measured data may be used to derive values applicable to other climates.

[Table A.1](#) gives some guidance regarding selection of humidity class.

Table A.1 — Internal humidity classes

Humidity class	Building
1	Unoccupied buildings, storage of dry goods
2	Offices, dwellings with normal occupancy and ventilation
3	Buildings with unknown occupancy
4	Sports halls, kitchens, canteens
5	Special buildings, e.g. laundry, brewery, swimming pool

Wherever possible measured data should be used for the analysis of buildings in class 5, with high internal humidities. The dotted line on [Figure A.2](#) gives suggested values that could be used in the absence of other data.



Key

A monthly mean outdoor temperature, expressed in °C

Figure A.2 — Variation of internal humidity classes with external temperature

Annex B (informative)

Examples of calculation of the temperature factor at the internal surface to avoid critical surface humidity

B.1 Example 1, using the internal conditions defined in Annex A

- a) The monthly mean external temperature, θ_e , and relative humidity, φ_e , for the location of the building are defined (columns 1 and 2 in [Table B.1](#)).
- b) The monthly internal temperature, θ_i , and relative humidity, φ_i , are derived from the external temperature using the lines in [Figure A.1](#), assuming high occupancy (columns 3 and 4 in [Table B.1](#)). The internal saturated vapour pressure, $p_{\text{sat}}(\theta_i)$, is calculated from the internal temperature using Formula (E.1) or Formula (E.2), where appropriate, and multiplied by the internal relative humidity to give the internal vapour pressure, p_i , (column 5 in [Table B.1](#)).
- c) The minimum acceptable saturation vapour pressure, $p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$, is calculated using Formula (4) as specified in 5.3e) and the minimum acceptable surface temperature, $\theta_{\text{si,min}}$, calculated from Formula (E.3) or Formula (E.4) to give the values in columns 6 and 7 of [Table B.1](#).
- d) The internal and external temperatures are used to calculate f_{Rsi} with the Formula in 3.1.2 to give the values shown in column 8 of [Table B.1](#).

With the conditions assumed in [Table B.1](#), January is the critical month and $f_{\text{Rsi,max}} = 0,622$.

Table B.1 — Calculation of $f_{\text{Rsi,max}}$ in a high occupancy building

Month	1	2	3	4	5	6	7	8
	θ_e °C	φ_e	θ_i °C	φ_i	p_i Pa	$p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$ Pa	$\theta_{\text{si,min}}$ °C	f_{Rsi}
January	2,4	0,92	20,0	0,52	1 225	1 531	13,3	0,622
February	2,8	0,88	20,0	0,53	1 234	1 542	13,5	0,620
March	4,5	0,85	20,0	0,55	1 274	1 592	13,9	0,609
April	6,7	0,80	20,0	0,57	1 325	1 656	14,6	0,591
May	9,8	0,78	20,0	0,60	1 397	1 747	15,4	0,547
June	12,6	0,80	21,3	0,63	1 585	1 981	17,4	0,547
July	14,0	0,82	22,0	0,64	1 691	2 114	18,4	0,549
August	13,7	0,84	21,9	0,64	1 668	2 085	18,2	0,548
September	11,5	0,87	20,8	0,62	1 505	1 882	16,5	0,546
October	9,0	0,89	20,0	0,59	1 379	1 724	15,2	0,561
November	5,0	0,91	20,0	0,55	1 285	1 607	14,1	0,606
December	3,5	0,92	20,0	0,54	1 250	1 563	13,7	0,616

B.2 Example 2, assuming a constant internal relative humidity

In the case of an air conditioned building, where the temperature and relative humidity are controlled at 20 °C and 0,50:

- The monthly mean external temperature, θ_e , and internal temperature, θ_i , and relative humidity, φ_i , are defined for the building under investigation (columns 1, 2 and 3 in [Table B.2](#)).
- The internal saturated vapour pressure, $p_{sat,i}$, is derived from the temperature using Formula (E.1) or Formula (E.2) or [Table E.1](#); this is combined with the internal relative humidity, to give the internal vapour pressure, p_i , shown in column 4 of [Table B.2](#).
- The minimum acceptable saturation vapour pressure, $p_s(\theta_{si})$, is calculated using Formula (9) as specified in 5.3e) and the minimum acceptable surface temperature, $\theta_{si,min}$, calculated from Formula (E.3) or Formula (E.4) to give the values in columns 5 and 6 of [Table B.2](#).
- The Formula in 3.1.2
is used to calculate f_{Rsi} giving the values shown in column 7 of [Table B.2](#).

With the conditions assumed in [Table B.2](#), January is the critical month and $f_{Rsi,max} = 0,581$.

Table B.2 — Calculation of $f_{Rsi,max}$ using controlled internal humidity

Month	1	2	3	4	5	6	7
	θ_e °C	θ_i °C	φ_i	p_i Pa	$p_{sat}(\theta_{si})$ Pa	$\theta_{si,min}$ °C	f_{Rsi}
January	2,4	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,581
February	2,8	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,571
March	4,5	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,524
April	6,7	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,445
May	9,8	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,277
June	12,6	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,003
July	14,0	20	0,5	1 168	1 461	12,6	-0,229
August	13,7	20	0,5	1 168	1 461	12,6	-0,171
September	11,5	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,132
October	9,0	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,330
November	5,0	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,508
December	3,5	20	0,5	1 168	1 461	12,6	0,553

B.3 Example 3, with a known moisture supply and constant ventilation rate

- The monthly mean external temperature, θ_e , and relative humidity, φ_e , for the location of the building are defined (columns 1 and 2 in [Table B.3](#)).
- The monthly external saturated vapour pressure, $p_{sat,e}$, calculated from the temperature using Formula (E.1) or Formula (E.2), where appropriate, or [Table E.1](#), and the relative humidity are used to calculate the external vapour pressure, p_e , (column 3 in [Table B.3](#)).
- The internal moisture supply vapour pressure excess, Δv , is calculated from the assumed air change rate, n , moisture production rate, G , and volume of the building, V , and converted into a vapour pressure excess, Δp , using Formula (E.6). This is added to p_e to give the internal vapour pressure (columns 5 and 6 of [Table B.3](#)).

d) The minimum acceptable saturation vapour pressure, $p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$, is calculated using Formula (9) as specified in 5.3e) and the minimum acceptable surface temperature, $\theta_{\text{si,min}}$, calculated from Formula (E.3) or Formula (E.4) to give the values in columns 8 and 9 of [Table B.3](#).

e) The Formula in 3.1.2

is used to calculate f_{Rsi} giving the values shown in column 10 of [Table B.3](#).

With the conditions assumed in [Table B.3](#), August is the critical month and $f_{\text{Rsi,max}} = 0,832$.

Table B.3 — Calculation of $f_{\text{Rsi,max}}$ using a constant ventilation rate

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	θ_e °C	φ_e	p_e Pa	n h ⁻¹	Δp Pa	p_i Pa	$p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si}})$ Pa	$\theta_{\text{si,min}}$ °C	θ_i °C	f_{Rsi}
January	2,8	0,92	687,0	0,5	433	1 120	1 400	12,0	20	0,534
February	2,8	0,88	657,1	0,5	433	1 090	1 363	11,6	20	0,510
March	4,5	0,85	715,6	0,5	433	1 149	1 436	12,4	20	0,507
April	6,7	0,80	784,7	0,5	433	1 218	1 522	13,3	20	0,493
May	9,8	0,78	944,5	0,5	433	1 378	1 722	15,2	20	0,525
June	12,6	0,80	1166,6	0,5	433	1 600	1 999	17,5	20	0,663
July	14,0	0,82	1310,1	0,5	433	1 743	2 179	18,9	20	0,812
August	13,7	0,84	1316,2	0,5	433	1 749	2 186	18,9	20	0,830
September	11,5	0,87	1179,9	0,5	433	1 613	2 016	17,6	20	0,722
October	9,0	0,89	1021,2	0,5	433	1 454	1 818	16,0	20	0,637
November	5,0	0,91	793,4	0,5	433	1 226	1 533	13,4	20	0,558
December	3,5	0,92	721,9	0,5	433	1 155	1 444	12,4	20	0,542

NOTE $G = 0,4 \text{ kg/h}$, $V = 250 \text{ m}^3$.

B.4 Example 4, with a known moisture supply and variable ventilation rate

In practice, buildings are ventilated less in colder weather. If a relationship between the air change rate and temperature is known or can be assumed, the values of f_{Rsi} can be calculated as in example 3 but using the variable air change rate in step 3).

The values in [Table B.4](#) were calculated assuming that $n = 0,2 + 0,04 \theta_e$. With these conditions, January is the critical month and $f_{\text{Rsi,max}} = 0,718$.

Table B.4 — Calculation of $f_{Rsi,max}$ using a variable ventilation rate

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	θ_e °C	φ_e	p_e Pa	n h ⁻¹	Δp Pa	p_i Pa	$p_{sat}(\theta_{si})$ Pa	$\theta_{si,min}$ °C	θ_i °C	f_{Rsi}
January	2,8	0,92	683	0,31	694	1 377	1 722	15,2	20	0,718
February	2,8	0,88	657	0,31	694	1 351	1 689	14,9	20	0,701
March	4,5	0,85	709	0,38	570	1 279	1 599	14,0	20	0,614
April	6,7	0,80	788	0,47	463	1 251	1 564	13,7	20	0,524
May	9,8	0,78	941	0,59	366	1 307	1 634	14,3	20	0,445
June	12,6	0,80	1 162	0,70	308	1 470	1 837	16,2	20	0,483
July	14,0	0,82	1 302	0,76	285	1 587	1 984	17,4	20	0,563
August	13,7	0,84	1 317	0,75	290	1 607	2 008	17,6	20	0,615
September	11,5	0,87	1 183	0,66	328	1 511	1 889	16,6	20	0,601
October	9,0	0,89	1 017	0,56	387	1 404	1 755	15,5	20	0,587
November	5,0	0,91	788	0,40	542	1 330	1 662	14,6	20	0,641
December	3,5	0,92	719	0,34	637	1 356	1 695	14,9	20	0,692

NOTE $G = 0,4 \text{ kg/h}$, $V = 250 \text{ m}^3$.

Annex C (informative)

Examples of calculation of interstitial condensation

C.1 Environmental conditions

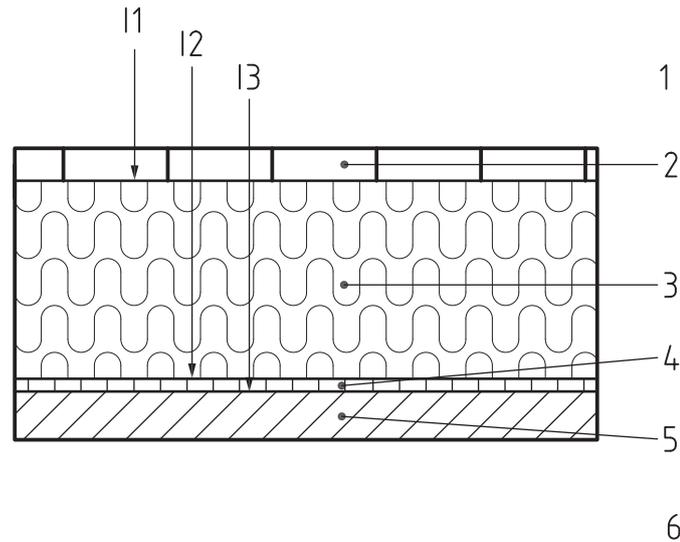
[Table C.1](#) shows the external and internal environmental conditions used in the two examples in C.2 and C.3. The internal conditions are derived from the external conditions using the lines in [Figure A.1](#), assuming low and high occupancy.

Table C.1 — External and internal conditions used for analysis

Month	External		Internal Normal occupancy		Internal High occupancy	
	θ_e °C	φ_e	θ_i °C	φ_i	θ_i °C	φ_i
January	-1	0,85	20,0	0,39	20,0	0,49
February	0	0,84	20,0	0,40	20,0	0,50
March	4	0,78	20,0	0,44	20,0	0,54
April	9	0,72	20,0	0,49	20,0	0,59
May	14	0,68	22,0	0,54	22,0	0,64
June	18	0,69	24,0	0,58	24,0	0,68
July	19	0,73	24,5	0,59	24,5	0,69
August	19	0,75	24,5	0,59	24,5	0,69
September	15	0,79	22,5	0,55	22,5	0,65
October	10	0,83	20,0	0,50	20,0	0,60
November	5	0,88	20,0	0,45	20,0	0,55
December	1	0,88	20,0	0,41	20,0	0,51

C.2 Example 1: Building component with condensation in one interface plane

In this example, the flat roof with an impermeable weather proofing layer over the insulation, shown in [Figure C.1](#) is analysed using the internal and external climates shown in [Table C.1](#) and the material properties shown in [Table C.2](#).



Key

- 1 external air
- 2 weatherproofing 0,01 m
- 3 insulation 0,10 m
- 4 vapour check
- 5 liner 0,012 m
- 6 internal air

Figure C.1 — Materials for flat roof in example 1

Table C.2 — Material properties for flat roof

	<i>d</i> m	<i>R</i> m ² ·K/W	<i>μ</i>	<i>s_d</i> m
External resistance	–	0,04	–	–
Weatherproofing	0,010	0,05	500 000	5 000
Insulation	0,100	3	150	15
Vapour check	–	–	–	1 000
Liner	0,012	0,075	10	0,12
Internal resistance	–	0,10	–	–

NOTE The material properties shown in the examples refer to generic material types, not specific materials.

The three interfaces at the intersections between the material layers shown in [Figure C.1](#) are analysed. At the beginning of the calculation, it is assumed that the accumulated moisture content, M_a , in all three interfaces is zero.

Using the environmental data for normal occupancy in [Table C.1](#), November is determined as the starting month as described in [6.4.3](#), [6.4.4](#) and [6.4.5](#), with the vapour pressure exceeding the saturated vapour pressure at interface 1, the interface between the insulation and weatherproofing. The rate of condensation, g_c , is calculated from Formula (14). This makes up the accumulated moisture content, M_a , at the end of November shown in the third column of [Table C.3](#).

This procedure is then repeated using the environmental conditions for each month from [Table C.1](#). In each month, no condensation is predicted at interfaces 2 and 3. As shown in [Table C.3](#), the rate of condensation at interface 1 rises to a peak in the coldest month of January and then falls towards zero in March.

Table C.3 — Monthly condensation rate and accumulation at interface 1

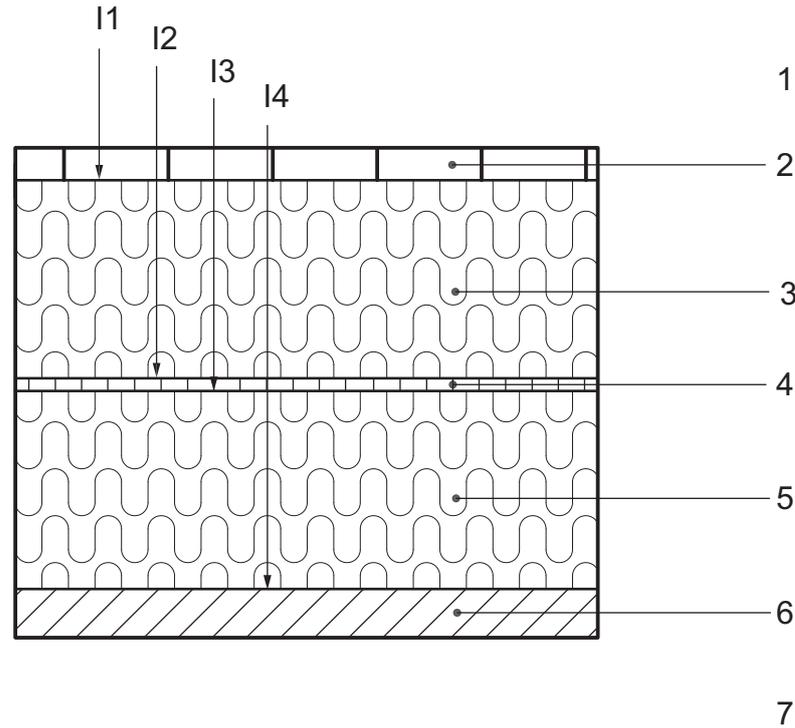
Month	Normal occupancy		High occupancy	
	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²
October	0	0	0,00005	0,00005
November	0,00006	0,00006	0,00018	0,00023
December	0,00013	0,00019	0,00026	0,00049
January	0,00015	0,00035	0,00028	0,00077
February	0,00013	0,00048	0,00024	0,00101
March	0,00008	0,00055	0,00020	0,00120
April	-0,00005	0,00050	0,00007	0,00127
May	-0,00016	0,00034	-0,00002	0,00125
June	-0,00025	0,00009	-0,00010	0,00115
July	-0,00028	0	-0,00012	0,00103
August	0	0	-0,00011	0,00092
September	0	0	-0,00002	0,00090

From April onwards, the rate of condensation becomes negative, i.e. evaporation is occurring as specified in 6.4.6, and the accumulated moisture falls until it is close to zero in June. During July, the accumulated moisture dries out, and is set to zero.

If high occupancy is assumed, condensation starts in October and the rate again rises to a peak in January. Evaporation starts in May, but all the condensate has not evaporated by September.

C.3 Example 2: Building component with condensation in two interfaces

In this example a flat roof with an extra 100 mm of insulation added below the vapour control layer shown in Figure C.2 is analysed using the material properties shown in Table C.4 and the high occupancy internal and external climates shown in Table C.1.

**Key**

- 1 external air
- 2 weatherproofing, 0,01 m
- 3 insulation, 0,10 m
- 4 vapour check
- 5 insulation, 0,01 m
- 6 liner, 0,012 m
- 7 internal air

Figure C.2 — Materials for roof in example 2**Table C.4 — Material properties for insulated flat roof**

	d m	R $m^2 \cdot K/W$	μ	s_d m
External resistance	-	0,04	-	-
Weatherproofing	0,010	0,05	500 000	5 000
Insulation	0,100	3	150	15
Vapour check	-	-	-	1 000
Insulation	0,100	3	150	15
Liner	0,012	0,075	10	0,12
Internal resistance	-	0,10	-	-

The four interfaces at the intersections between the material layers shown in [Figure C.2](#) are analysed. At the beginning of the calculation, it is assumed that the accumulated moisture content, M_a , in all four interfaces is zero.

Using the environmental data in [Table C.1](#), December is determined as the starting month as described in [6.4.3](#), [6.4.4](#) and [6.4.5](#), with the vapour pressure exceeding the saturated vapour pressure at interface 1, the interface between the weather proofing and outer layer of insulation, and at interface 3 between

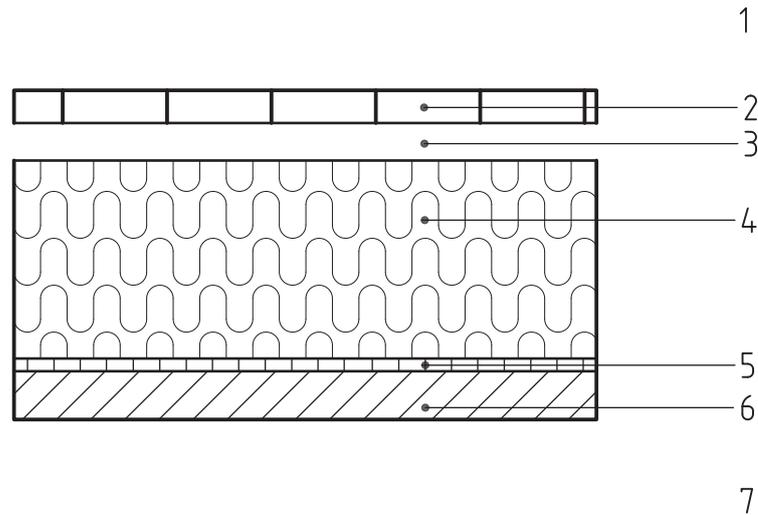
the inner layer of insulation and the vapour control layer. The rate of condensation, g_c , is calculated from Formulae (20) and (21). Condensation persists at interface 1 throughout the year, however at interface 3 the accumulation of condensate peaks in March; evaporation takes place in April and May with complete drying by the end of May.

Table C.5 — Monthly condensation rates and accumulation within the insulated wall

Month	Interface 1		Interface 3	
	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²
December	0,00022	0,00022	0,04734	0,04734
January	0,00022	0,00043	0,06722	0,11456
February	0,00019	0,00063	0,05209	0,16665
March	0,00020	0,00083	0,01139	0,17804
April	0,00015	0,00098	-0,06451	0,11352
May	0,00012	0,00110	-0,12130	0
June	0,00009	0,00119	0	0
July	0,00009	0,00129	0	0
August	0,00010	0,00139	0	0
September	0,00013	0,00152	0	0
October	0,00016	0,00168	0	0
November	0,00020	0,00188	0	0

C.4 Example 3: Building component containing a well ventilated cavity

The flat roof, shown in [Figure C.3](#) contains a well ventilated cavity between the weather proofing layer and the insulation. In this case, as specified in [6.4.1](#), the weather proofing layer is not included in the analysis and the external surface thermal resistance is made equal to the internal resistance, giving the material properties shown in [Table C.6](#).



Key

- 1 external air
- 2 weatherproofing, 0,01 m
- 3 well ventilated cavity
- 4 insulation, 0,10 m
- 5 vapour check
- 6 liner, 0,012 m
- 7 internal air

Figure C.3 — Materials for ventilated flat roof in example 3

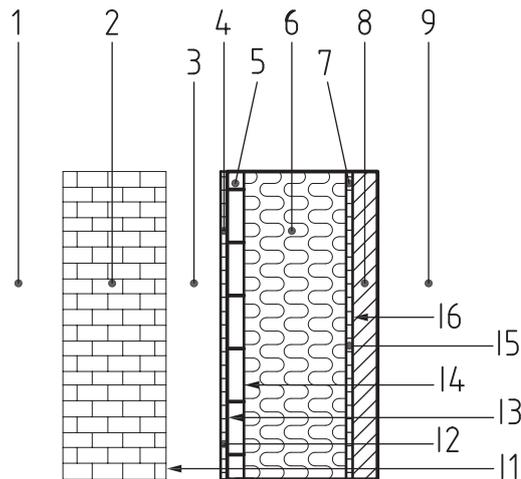
Table C.6 — Material properties for flat roof including well ventilated cavity

	d m	R $m^2 \cdot K/W$	μ	s_d M
External resistance	–	0,10	–	–
Insulation	0,100	3	150	15
Vapour check	–	–	–	1 000
Liner	0,012	0,075	10	0,12
Internal resistance	–	0,10	–	–

Analysis of this structure with the climates shown in [Table C.1](#) does not predict condensation in any month.

C.5 Example 4: Building component in a warm humid climate

In this example the timber framed wall shown in [Figure C.4](#) is analysed using the material properties shown in [Table C.7](#).



Key

- 1 external air
- 2 brick, 0,105 m
- 3 unventilated cavity, 0,05 m
- 4 permeable membrane
- 5 plywood, 0,012 m
- 6 insulation, 0,140 m
- 7 vapour control layer
- 8 plasterboard, 0,0125 m
- 9 internal air

Figure C.4 — Materials for timber framed wall in example 4

Table C.7 — Material properties for timber framed wall

	<i>d</i> m	<i>R</i> m ² ·K/W	<i>μ</i>	<i>s_d</i> m
External resistance	–	0,04	–	–
Brick	0,105	0,136	8	0,84
Unventilated cavity	0,050	0,18	–	–
Permeable membrane	–	–	–	0,2
Plywood	0,012	0,092	90	1,1
Insulation	0,140	3,5	1,4	0,2
Vapour control layer	–	–	–	50
Plasterboard	0,0125	0,06	12	0,15
Internal resistance	–	0,13	–	–

Analysis using the external and internal climates in [Table C.1](#), shows that no condensation is predicted in any month, as would be expected from the presence of the vapour control layer on the inside of the insulation.

If the component is assumed to be part of an air conditioned building in a hot humid climate, and is analysed using the climate data shown in [Table C.8](#), condensation is predicted to occur on interface 5 between the insulation and the vapour control layer, during July, August and September, the hottest months of the year (see [Table C.9](#)).

Table C.8 — External and internal conditions in a hot humid climate

Month	External		Internal	
	θ_e °C	φ_e	θ_i °C	φ_i
January	8,0	63,0	20,0	40,0
February	8,0	63,4	20,0	40,0
March	11,0	64,4	20,0	40,0
April	15,5	69,2	20,0	40,0
May	19,5	76,9	20,0	40,0
June	21,5	84,1	20,0	40,0
July	26,0	85,4	20,0	40,0
August	27,0	82,8	20,0	40,0
September	25,0	80,2	20,0	40,0
October	20,0	70,5	20,0	40,0
November	15,5	68,8	20,0	40,0
December	10,5	66,4	20,0	40,0

Table C.9 — Monthly condensation rate and accumulation at interface 5

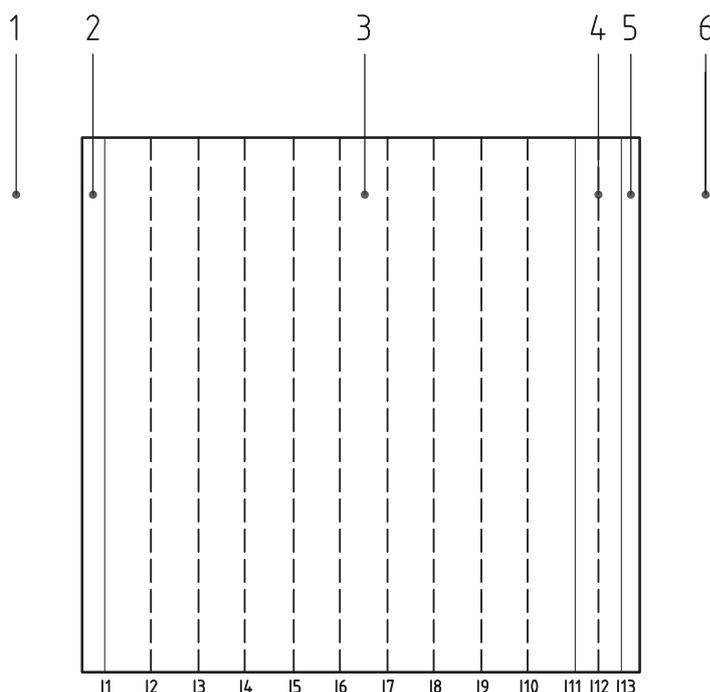
Month	Interface 5	
	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²
July	0,0941	0,0941
August	0,1158	0,2100
September	0,0211	0,2311
October	-0,1701	0,0610
November	-0,2563	0,0000
December	0,0000	0,0000
January	0,0000	0,0000
February	0,0000	0,0000
March	0,0000	0,0000
April	0,0000	0,0000
May	0,0000	0,0000
June	0,0000	0,0000

C.6 Example 5: Division of a layer with high thermal resistance

In this example, a wall built from lightweight blockwork with internal insulation is analysed. The material properties of each layer are shown in [Table C.10](#). Both the blockwork and the insulation have a thermal resistance greater than 0,25 m²K/W, so the blockwork is divided into ten layers and the insulation into two to give the interfaces shown in [Figure C.5](#).

Table C.10 — Material properties for wall

	d m	R $m^2 \cdot K/W$	μ	s_d m
External resistance	–	0,04	–	–
Render	0,012	0,015	8	0,096
Blockwork	0,275	2,500	10	2,75
Insulation	0,020	0,500	1	0,02
Liner	0,013	0,023	8	0,10
Internal resistance	–	0,13	–	–



Key

- 1 external air
- 2 render, 0,012 m
- 3 blockwork, 0,275 m
- 4 insulation, 0,02 m
- 5 liner, 0,013 m
- 6 internal air

Figure C.5 — Materials for wall in example 5, subdivisions of material layers shown as dashed lines

If the external and internal climate data shown in [Table C.11](#) is used to analyse the structure, condensation is predicted at interfaces 2 and 3 within the blockwork, see [Table C.12](#).

Table C.11 — External and internal climates used for analysis

Month	External		Internal	
	θ_e °C	φ_e	θ_i °C	φ_i
January	-10	0,95	20	0,49
February	-8	0,94	20	0,50
March	-5	0,80	20	0,54
April	0	0,82	20	0,59
May	13	0,68	22	0,64
June	18	0,69	24	0,68
July	19	0,73	24,5	0,69
August	19	0,75	24,5	0,69
September	14	0,79	22,5	0,65
October	7	0,83	20	0,60
November	1	0,88	20	0,55
December	-4	0,95	20	0,51

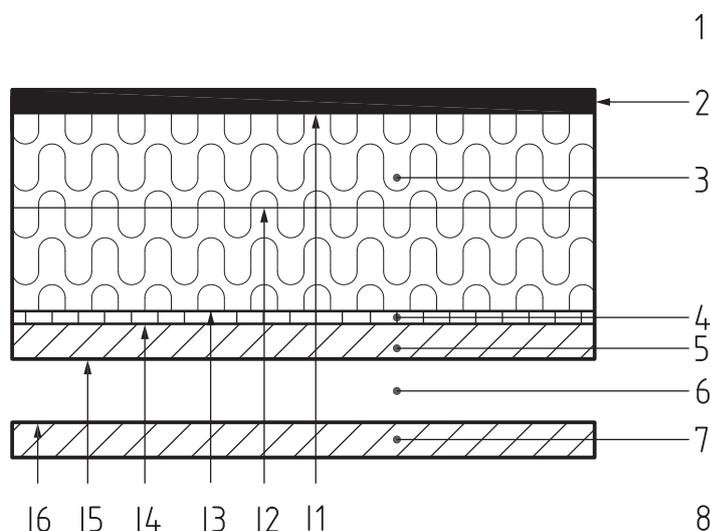
Table C.12 — Monthly condensation and accumulation rates at interfaces 2 and 3

Month	Interface 2		Interface 3	
	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²
October	0	0	0	0
November	0	0	0	0
December	0	0	0	0
January	0,0249	0,0249	0,0249	0,0249
February	0,0056	0,0306	0,0057	0,0306
March	-0,0109	0,0196	-0,0109	0,0196
April	-0,0931	0	-0,0932	0
May	0	0	0	0
June	0	0	0	0
July	0	0	0	0
August	0	0	0	0
September	0	0	0	0

Annex D (informative)

Example of the calculation of the drying of a wetted layer

In this example, it is assumed that the insulation, layer 3 in the flat roof shown in [Figure D.1](#), has been wetted by precipitation during construction before the outer weatherproof membrane was installed. The material properties for each layer are shown in [Table D.1](#). If the component is analysed, using the external and high occupancy internal climates shown in [Table C.1](#), without the wetted insulation, no condensation is predicted at any interface.



Key

- 1 external air
- 2 membrane
- 3 insulation
- 4 vapour check
- 5 roof deck
- 6 unventilated cavity
- 7 liner
- 8 inside air

Figure D.1 — Flat roof with wetted insulation at layer 3

Table D.1 — Material properties for flat roof

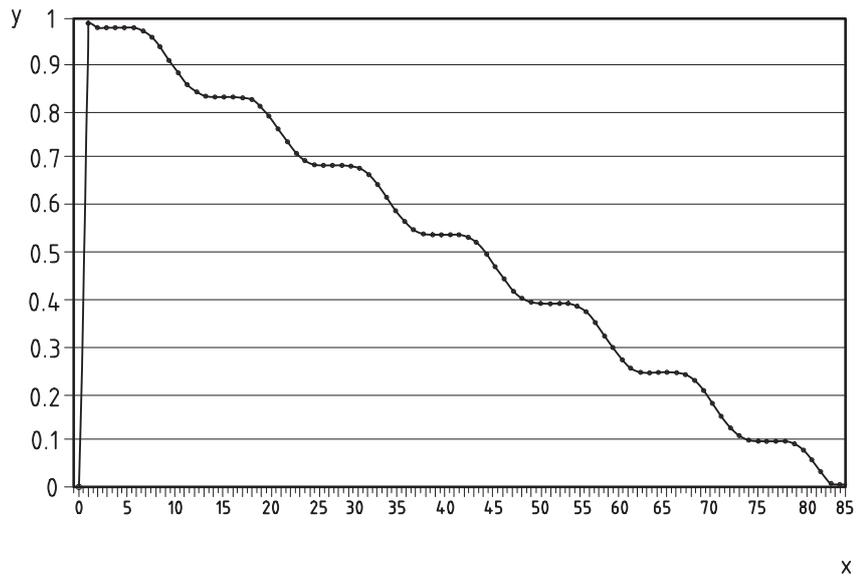
	d mm	R m ² K/W	μ	s_d m
External resistance	–	0,04	–	–
Membrane	0,002	0,008	6 000	12,0
Insulation	0,200	5,0	1,0	0,2
Vapour check	–	–	–	75,0
Roof deck	0,019	0,146	10,0	0,19
Air layer	0,100	0,160	–	–
Liner	0,012	0,06	12,0	0,15
Internal resistance	–	0,1	–	–

The insulation layer is divided into two and it is assumed that there is excess moisture content of 1 kg/m² at the notional interface, I2, at the centre of the layer.

Analysis of the condensation and evaporation rates at each interface, with the procedure specified in 6.4.4 to 6.4.8 using the external and high occupancy internal climates shown in Table C.1, starting in September, shows that all the excess moisture at interface 2 moves to interface 1, within the first month (see Table D.2) Evaporation from interface 1 then takes place, until the amount of excess moisture reaches zero after 83 months (see Figure D.2).

Table D.2 — Monthly condensation rate and accumulation at interfaces 1 and 2

	Interface 2		Interface 1	
	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²	g_c kg/m ²	M_a kg/m ²
	–	1,0	–	0,0
September	-1,382	0,0	0,99128	0,99128
October	0,0	0,0	-0,00845	0,98284
November	0,0	0,0	-0,00208	0,98075
December	0,0	0,0	-0,00013	0,98063
January	0,0	0,0	-0,00007	0,98056
February	0,0	0,0	-0,00073	0,97983
March	0,0	0,0	-0,00521	0,97462
April	0,0	0,0	-0,01266	0,96195
May	0,0	0,0	-0,02254	0,93942
June	0,0	0,0	-0,02820	0,91121
July	0,0	0,0	-0,02735	0,88386
August	0,0	0,0	-0,02539	0,85848



Key

x months

y condensate, expressed in kg/m²

Figure D.2 — Amount of condensate at interface 1

Annex E (informative)

Relationships governing moisture transfer and water vapour pressure

E.1 Water vapour saturation pressure as a function of temperature

The following empirical formulae give the saturated vapour pressure of water as a function of temperature

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{17,269 \theta}{237,3+\theta}} \quad \text{for } \theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{E.1})$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{21,875 \theta}{265,5+\theta}} \quad \text{for } \theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{E.2})$$

These may be inverted to allow the calculation of the temperature corresponding to any saturated vapour pressure.

$$\theta = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)} \quad \text{for } p_{\text{sat}} \geq 610,5 \text{ Pa} \quad (\text{E.3})$$

$$\theta = \frac{265,5 \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5} \right)} \quad \text{for } p_{\text{sat}} < 610,5 \text{ Pa} \quad (\text{E.4})$$

Table E.1 — Saturated vapour pressure and humidity by volume

θ °C	P_{sat} Pa	v_{sat} kg/m ³	θ °C	P_{sat} Pa	v_{sat} kg/m ³
-20	103	0,00088	11	1 312	0,00999
-19	113	0,00096	12	1 402	0,01064
-18	124	0,00105	13	1 497	0,01132
-17	137	0,00115	14	1 598	0,01204
-16	150	0,00126	15	1 704	0,01280
-15	165	0,00138	16	1 817	0,01360
-14	181	0,00151	17	1 937	0,01444
-13	198	0,00165	18	2 063	0,01533
-12	217	0,00180	19	2 196	0,01626
-11	237	0,00196	20	2 337	0,01725
-10	259	0,00213	21	2 486	0,01828
-9	283	0,00232	22	2 642	0,01937
-8	309	0,00252	23	2 808	0,02051
-7	338	0,00274	24	2 982	0,02171
-6	368	0,00298	25	3 166	0,02297
-5	401	0,00324	26	3 359	0,02430
-4	437	0,00351	27	3 563	0,02568
-3	475	0,00381	28	3 778	0,02714
-2	517	0,00413	29	4 003	0,02866
-1	562	0,00447	30	4 241	0,03026
0	611	0,00484	31	4 490	0,03194
1	656	0,00518	32	4 752	0,03369
2	705	0,00555	33	5 027	0,03552
3	757	0,00593	34	5 316	0,03744
4	813	0,00634	35	5 619	0,03945
5	872	0,00678	36	5 937	0,04155
6	935	0,00724	37	6 271	0,04374
7	1 001	0,00773	38	6 621	0,04603
8	1 072	0,00825	39	6 987	0,04843
9	1 147	0,00880	40	7 371	0,05092
10	1 227	0,00938			

E.2 Vapour pressure and humidity by volume

Vapour pressure and humidity by volume are related by Formula (E.5):

$$p = v R_v T \tag{E.5}$$

where

R_v is the gas constant for water = 462 Pa.m³/(K.kg);

T is the absolute temperature in kelvins.

The difference between internal and external water vapour pressure Δp is calculated as:

$$\Delta p = \Delta v R_v \frac{(T_i + T_e)}{2} = \frac{G}{nV} R_v \frac{(T_i + T_e)}{2} \quad (\text{E.6})$$

Bibliography

- [1] ISO 6946:2007, *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method*
- [2] ISO 10077-2, *Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 2: Numerical method for frames*
- [3] ISO 10211, *Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations*
- [4] ISO 10456, *Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*
- [5] ISO 12572, *Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties*
- [6] ISO 13370, *Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods*
- [7] ISO 13790, *Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*
