



SIMULAÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE CONDENSAÇÃO E SUA COMPATIBILIZAÇÃO À AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Victor F. Roriz

Dr, Engenheiro Professor da Faculdade de Arquitetura, victor@roriz.eng.br
Faculdades Integradas Dom Pedro II, Rua Benedita Stall Sodré 147, São Carlos- SP. (16) 3413.6796

RESUMO

A condensação superficial é uma patologia comum e que pode ser extremamente prejudicial para as condições de habitabilidade de uma edificação. Avaliações de previsão de sua ocorrência são pouco frequentes, com métodos pouco explorados no Brasil. Paralelamente, a simulação computacional para estudo do desempenho térmico do ambiente construído tem tido grande crescimento. Alavancado por recentes normas e regulamentos como a NBR 15575 e o RTQ-R, os procedimentos de avaliação são atualmente muito difundidos e possibilitam uma grande melhoria nos projetos. Estes procedimentos dispõem de recursos muito além daqueles aplicados nas ditas avaliações e que podem ser explorados pelos projetistas afim de implementar avaliações muito superiores e que possibilitariam construções com menor incidência de patologias. Neste trabalho propõe-se uma avaliação simplificada de ocorrência da condensação superficial como aditivo ao processo proposto para simulação computacional pela NBR 15575 do desempenho térmico dos edifícios. Utilizando o programa EnergyPlus, criou-se um modelo computacional para um edifício na cidade de São Paulo (SP) e aplicou-se além do método conforme prescrito em norma alterações de procedimento para revelar casos de possível ocorrência de condensação e os principais intervenientes. Foram testados casos com dados de referência de dia típico local e com base no arquivo climático anual. Os resultados demonstraram que o método de avaliação de conforto é facilmente adaptável 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 absorções solar das fachadas.

Palavras-chave: simulação computacional, condensação, desempenho térmico.

ABSTRACT

Surface condensation is a common pathology and can be extremely harmful to the habitability conditions of a building. Prediction assessments of its occurrence are infrequent, with methods little explored in Brazil. Simultaneously, the computational simulation to study the thermal performance of the built environment has had great growth. Leveraged by recent standards and regulations such as NBR 15575 and RTQ-R, evaluation procedures are currently widespread and enable a major improvement in projects. These procedures have resources well beyond those applied in the said evaluations and that can be explored by the designers in order to implement far superior evaluations and that would allow constructions with less incidence of pathologies. This work proposes a simplified evaluation of the occurrence of surface condensation as an additive to the proposed process for computational simulation by NBR 15575 of the thermal performance of buildings. Using the EnergyPlus program, a computational model was created for a building in the city of São Paulo (SP) and applied in addition to the method as prescribed in standard procedure, changes to reveal cases of possible occurrence of condensation and the main actors. Cases with reference data of typical local day and based on the annual climatic file were tested. The results showed that the comfort evaluation method is easily adaptable to the evaluation of condensation occurrences and that the simulation already allows some observations of elements of great influence in the process such as the already predicted effects of ventilation and solar absorptance of the façades.

Keywords: computer simulation, condensation, thermal performance.

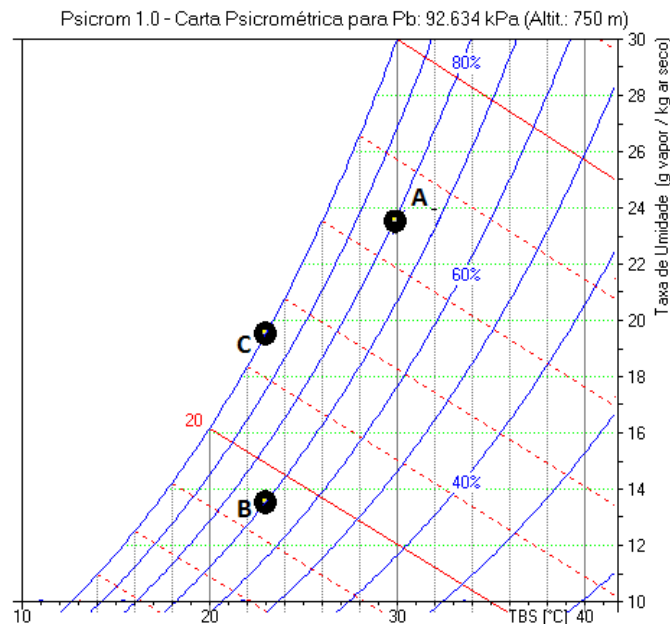
1. INTRODUÇÃO

Se por um lado as edificações podem ser grandemente beneficiadas pelo efeito de armazenamento de umidade e da capacidade de “transpiração” dos elementos construtivos (LAMBERTS, 1990; ORMELEZ; ABADIE; MENDES, 2007; RODE, 2003), diversas patologias podem ter origem nos fluxos de umidade nos edifícios. Materiais que absorvem e liberam umidade podem ser usados positivamente para reduzir os valores extremos de níveis de umidade em ambientes internos (RODE et al., 2006). Além disso, elementos porosos, como por exemplo as telhas cerâmicas, ao absorver umidade do ar no período noturno elevam sua temperatura, e ao perder esta umidade no período diurno, têm uma redução da temperatura diurna, apresentando assim uma amplitude térmica menor (BUENO, 1994). A umidade pode ter um efeito positivo no conforto dos ocupantes e na qualidade do ar interior, ao mesmo tempo em que pode ter um efeito sobre os mecanismos que degradam os materiais ou causam problemas como o crescimento de fungos e a condensação.

A condensação ocorre em situações onde o ar entra em contato com zonas frias dos elementos de construção e o valor da umidade absoluta ultrapassa o limite de saturação (DUARTE, 2010). Exemplo comum deste fenômeno é o causado pelo resfriamento de superfícies por radiação de ondas longas durante o período noturno, que levam o ar em contato a perder calor até atingir o ponto de orvalho. A ocorrência de condensação nos edifícios é resultado de inter-relações entre o ambiente, sistemas construtivos e o comportamento de seus ocupantes. É um processo reversível, onde, sob a ação de uma fonte de calor ou mesmo o efeito do vento, o condensado pode evaporar. É importante diferenciar a capacidade de transportar água líquida, da de vapor d’água. Enquanto a capacidade de transferência de vapor é chamada de permeabilidade higroscópica, a difusão de água no estado líquido é chamada de capilaridade. Sendo que “a maioria dos materiais higroscópicos é capilar, mas certos materiais capilares não são higroscópicos” (CARVALHO, 2010). Ou seja, elementos que permitem a passagem de água no estado líquido deverão permitir a passagem do vapor, mas nem sempre elementos que impedem a passagem da água, evitam a passagem do vapor. As moléculas individuais do vapor de água são muito menores do que os conjuntos de 25 a 75 moléculas que compõem a água líquida (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2014).

Segundo a regulamentação inglesa BS 5250 (2011), em edifícios, a condensação pode ocorrer quando o vapor de água, encontra superfícies expostas (condensação de superfície), onde ele suporta o crescimento de fungos, ou internos aos elementos de construção (condensação intersticial). A maioria dos materiais de construção permite a absorção do vapor de água a partir do ambiente. O vapor de água se difunde através dos materiais da construção ou pode ser levada através de falhas e fissuras dentro e através da estrutura, quando a temperatura de uma parte da estrutura atinge o do ponto de orvalho a condensação intersticial ocorre, mesmo que isso ocorra no interior da parede. Problemas de condensação e mofo são comuns, afetando cerca de 15% das casas no Reino Unido em certo grau de condensação. Em condições aceitáveis de uso, as especificações dos projetistas deverão proporcionar um ambiente onde o risco de condensação é reduzido ao mínimo (BS 5250, 2011). A regulamentação destes aspectos no Brasil é ainda pouco estruturada sendo que, basicamente a NBR 15575 indica em suas premissas de projeto a se assegurar a estanqueidade à água no imóvel em condições normais de uso, considerando que, “a umidade acelera os mecanismos de deterioração e acarreta a perda das condições de habitabilidade e de higiene do ambiente construído” (ABNT, 2013). Considerando obviamente os casos onde este fenômeno é exagerado levando à patologias. Da mesma forma, a Norma Regulamentadora – NR 8 (BRASIL, 2011) estabelece apenas que sejam observar as normas técnicas frente à impermeabilização.

A umidade do ar está intimamente ligada à sensação de conforto (juntamente com temperatura, atividade e vestimenta) e ao comportamento dos usuários. Sendo que os problemas relacionados a ela mais comuns, independentemente do clima, são mofo, bolor e condensação. O fator mais importante que influencia a geração destes problemas é a umidade relativa do ar. Embora este seja um termo comum, os fatores que o regem, são normalmente mal compreendidos pelos usuários dos edifícios e por muitos projetistas, sendo vital seu estudo para evitar os problemas citados (LSTIBUREK; CARMODY, 1991). Em locais onde o ar permanece com umidade relativa em torno ou acima de 70% por longos períodos, existe um elevado risco de crescimento de fungos (BUXTON, 2017). A Figura 1 apresenta uma Carta Psicrométrica mostrando a inter-relação entre a quantidade de vapor de água dissolvida no ar (eixo vertical), a temperatura (no eixo horizontal) e as curvas de umidade relativa. Considerando por exemplo uma situação com a temperatura do ar à 30 °C e uma condição de 80% de umidade relativa (ponto A na Figura 1) a temperatura do Ponto de Orvalho seria de 26 °C (para uma pressão atmosférica próxima à de São Paulo - SP). Assim, uma pequena redução na temperatura (aproximadamente 4 °C a menos), dependendo da quantidade de vapor de água no ar, pode já causar condensação. As definições dos termos e métodos de cálculo estão presentes na NBR 15220 (2005) e no Handbook da ASHRAE (2013).



Onde há maior concentração de vapor de água em um lado de um material do que no outro, o vapor de água tentará difundir através do material para a concentração mais baixa. Desconsiderando fontes adicionais de vapor, uma vez que o ar quente comporta uma maior quantidade de vapor d'água que o ar mais frio, é possível considerar que, caso o exterior da edificação esteja a uma temperatura mais elevada que o interior, o fluxo de vapor seja no sentido de dentro para fora, pois a umidade relativa seria mais elevada internamente. Ao mesmo tempo, no caso de temperaturas internas menores, a tendência é que caso ocorra a condensação, esta aconteça na face externa das paredes (apesar de que este seja o lado mais quente da parede em si). Da mesma forma, caso a situação seja oposta e internamente a temperatura seja superior, a tendência seria que a condensação ocorresse na face interna da edificação. É no momento da queda de temperaturas que este fenômeno aconteceria. Entretanto, como o fenômeno é influenciado por diversos parâmetros simultaneamente, outros aspectos devem ser observados. Por exemplo, avaliando o risco de incidência ou proliferação de bolor em São Paulo (SP), John (1987 apud NETO *et al.*, 2003), notou que este geralmente, ocorre com maior incidência na face sul dos edifícios. E explica que, nas estações chuvosas há ocorrência de mais de 10 dias consecutivos de chuva, o que compromete a secagem da superfície e: “Pelo fato da insolação ser mais importante na secagem da superfície do que a presença do vento, observa-se maior incidência de agentes biológicos na face sul do que na face norte”.

O fluxo de massa de água pode ser influenciado pela ventilação, radiação solar e pela produção de vapor local. Para se ter uma ideia, segundo dados do governo Australiano, um adulto contribui por transpiração com até cerca de 3 litros (3 kg) de vapor de água por dia em um ambiente doméstico. Atividades usuais dos ocupantes, como lavar louça, tomar banho, o cozimento e secagem de roupa, produzem até 15 litros (15 kg) de vapor de água por dia para uma família média de 4 pessoas (TASMANIA GOVERNMENT DEPARTMENT OF JUSTICE, 2016). O efeito destes fluxos de água nas umidades relativas internas depende das temperaturas do ambiente e da ventilação no local. Todavia, para ilustrar sua importância, é possível considerar o caso, onde mantida uma temperatura fixa em 23 °C, se em um ambiente são acrescentados 6 gramas de vapor para cada metro cúbico do ambiente, uma condição, por exemplo em que o ar estivesse com 70% de umidade relativa (ponto B na Figura 1), atingiria a saturação (ponto C na Figura 1).

No projeto de edificações estes princípios e as diversas condições de uso e manutenção devem ser levados em conta. A ideia de ampliar a resistência das paredes não é necessariamente a melhor opção. Por exemplo, considerando um edifício com isolamento térmico interno às paredes, uma vez que o isolante normalmente não é impermeável ao vapor, existe grande risco de que ocorram situações de condensação entre o isolante e a parede. Sendo esta condensação de grande risco à saúde, pois pode levar à propagação de mofo ou bolor em camadas não visíveis da parede. A norma Inglesa BS 5250 (2011) apresenta este caso que em tradução livre seria: “ Existe o risco de condensação intersticial que ocorre na superfície interior da alvenaria. Isso pode molhar o isolamento ou a madeira em contato com a parede. Nestes casos, uma camada de controle de vapor deve ser fornecida no lado quente do isolamento. No entanto, a utilização de uma camada de controle de vapor pode criar um risco de condensação inversa na sua superfície exterior”.

Considerando a alternativa de se adicionar internamente à camada de isolamento uma barreira ao vapor, ainda é difícil a garantia de sua integridade física, pela própria dinâmica de uso dos ambientes internos, e em caso de falha deste elemento poderia então, levar a novas situações de condensação intersticial. Para esta situação, opções que envolvam uma melhoria na ventilação do ambiente e em um aquecimento destes poderiam ter resultados muito mais produtivos e com menor risco de dano. As pontes térmicas devem ser investigadas e os fluxos de calor nos edifícios averiguados. Minimizando assim as fontes reais de problemas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar uma avaliação de testes de ocorrência de condensação superficial em edifícios habitacionais localizados na cidade de São Paulo, por meio de simulação computacional compatibilizada ao método de avaliação do desempenho térmico estabelecido pela ABNT NBR 15575 (2013).

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

- Avaliação do sistema construtivo aplicado frente aos parâmetros de desempenho térmico da ABNT NBR 15575;
- Definição de um modelo computacional representativo;
- Avaliação das temperaturas superficiais em um dia típico;
- Avaliação das temperaturas superficiais em um ano típico.

3.1. Edificações em estudo

Os projetos avaliados se referem a edifícios habitacionais multipavimentos tipo H, com 04 apartamentos por pavimento, conforme as plantas esquemáticas das Figuras 2.

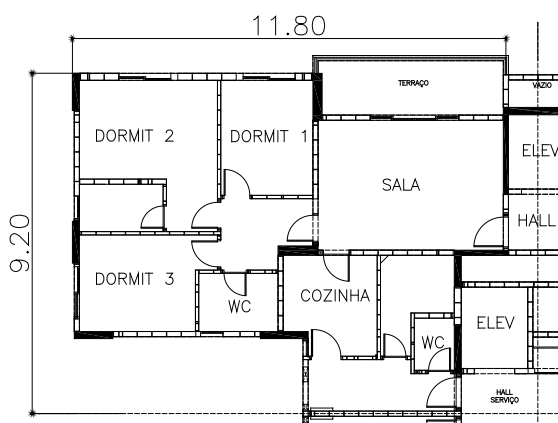


Figura 2: Planta do apartamento Tipo

O sistema construtivo adotado é constituído por estrutura em concreto armado, paredes em blocos de concreto com largura de 14 e 19 cm. Revestimento externo em monocapa, (espessura 4 cm) e interno em gesso (1 cm) e pintura látex. Tem pé-direito de 2.78 m, Pisos e lajes em concreto (espessura de 10 cm e densidade de 2400 kg/m³), na cozinha, área de serviço e banheiros têm recobrimento cerâmico (densidade de 2000 kg/m³, espessura de 2 cm). A cobertura é composta por laje de concreto impermeabilizada com isolamento térmico (1 cm de poliestireno expandido).

3.2. Clima local

Duas referências de clima foram adotadas neste estudo. Para as avaliações de dia típico considerou-se as condições apresentadas considera-se as condições de clima definidas para teste de inverno segundo a NBR 15575 (2013), inclusive as temperaturas, umidades e a radiação incidente. Neste caso os valores horários dessas variáveis foram calculados conforme o método apresentado por Roriz (2008). Para as avaliações anuais, utilizou-se o arquivo climático de um ano típico (RORIZ, M., 2012) Este segundo conjunto de informações é aplicado à Carta Bioclimática de Givoni (1992) apresentado na Figura 3., Nesta avaliação observa-se que as características mais indicadas para o município, seriam a capacidade de absorver calor do sol com áreas de insolação e cores escuras nas fachadas (Solar Heating), e de manter as temperaturas mais

estáveis utilizando construções pesadas (Thermal Inertia), ou seja, construções em que paredes e lajes tenham a capacidade de acumular o calor das horas mais quentes do dia para combater os momentos mais frios, reduzindo a variação diária de temperaturas.

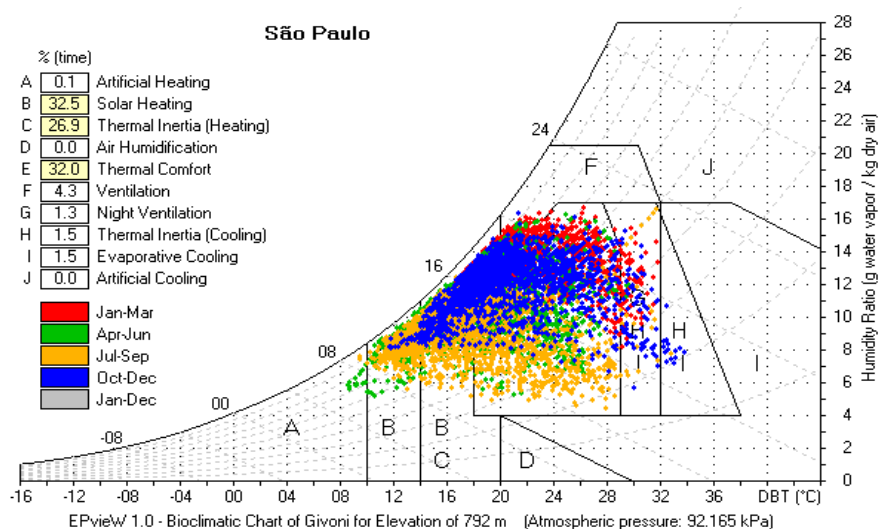


Figura 3: Carta Bioclimática para o clima de São Paulo (SP) (EPvieW 1.0)

4. AVALIAÇÃO DO PROJETO CONFORME NBR 15575

Aplicando o procedimento simplificado prescrito pela ABNT NBR 15575 (2013), uma vez que os fechamentos opacos têm Transmitância Térmica das Paredes Externas calculadas entre 2.53 e 2.60 ($W/(m^2.K)$), Capacidade Térmica superior a 200 ($kJ/(m^2.K)$) e Transmitância Térmica da Cobertura de 1.82 ($W/(m^2.K)$), segundo os critérios estabelecidos para a Zona Bioclimática 3 (Conforme definições e métodos apresentados na NBR 15220 (2005)) é possível considerar que os edifícios aqui discutidos estariam dentro da faixa aceitável, desde que, tenham as fachadas pintadas em cores claras.

O procedimento de simulação da referida NBR 15575, permite avaliar o edifício em diferentes situações, seja variando condições de taxa de ventilação, alterando opções de sombreamento das áreas envidraçadas ou testando o efeito de diferentes absorptâncias solares nas fachadas. Para este estudo selecionou-se resultados de inverno para duas destas combinações como mostram as figuras 4 e 5, onde observa-se o efeito da inércia térmica em estabilizar as temperaturas internas e o efeito de redução da temperatura mínima no caso de ampliação da ventilação. Nota-se que em ambos os casos a avaliação apresenta Desempenho considerado Mínimo aceitável.

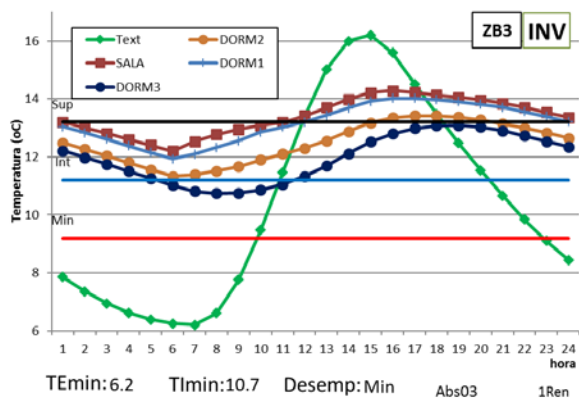


Figura 4: Temp. do ar simuladas X Limites de avaliação. 1Ren/h - Sem Sombream - Cores Claras - Cobertura.

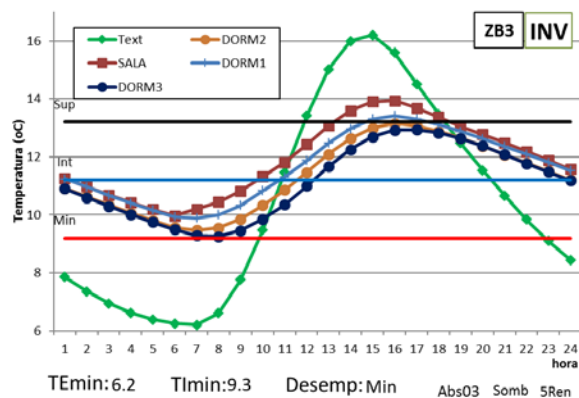


Figura 5: Temp. do ar simuladas X Limites de avaliação. 5Ren/h - Com Sombream - Cores Claras - Cobertura.

5. DEFINIÇÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL APLICÁVEL E DE CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Tendo em vista a relevância do assunto e na necessidade de definir um procedimento de avaliação com fácil repetibilidade, considerou-se que o processo de avaliação deveria ser o mais próximo possível aos procedimentos já disseminados no país, que permitisse alta confiabilidade e com fundamentação teórica

comprovável. Como referência, considerou-se o método de simulação computacional previsto na ABNT NBR 15575 (2013), por ser um procedimento já de grande divulgação entre os agentes da construção no país e que permitiria a obtenção das características mencionadas.

Entre os possíveis métodos de cálculo e avaliação dos fluxos de calor e umidade nas edificações existem diferentes modelos teóricos com diversos graus de complexidade envolvido. Entre estes métodos, estão os programas de simulação do desempenho térmico, sendo o PowerDomus (MENDES; OLIVEIRA; SANTOS, 2003) um dos poucos entres eles a resolver a transferência de calor e umidade simultaneamente o que poderia levar a imperfeições nas estimativas em se tratando da umidade relativa e das temperaturas internas às edificações. Segundo Ormelez, Abadie e Mendes (2007) os métodos mais simplificados induziriam a estimativas com excessiva variação do nível de umidade relativa no ambiente o que poderia prejudicar a predição do seu conforto térmico. Todavia, ao avaliar esta influência em uma edificação em Curitiba, Brasil, estes autores observaram uma variação máxima de 5% da amplitude de variação de umidade relativa e consideraram que “o efeito da transferência de umidade entre as paredes e o ar é desprezível para a avaliação do conforto térmico e mantém-se pequeno para a predição da qualidade de ar de um ambiente”. Desta forma, considerou-se que o método descrito pela norma citada onde se recomenda a aplicação do programa EnergyPlus poderia ser empregado sem perdas significativas à precisão. O EnergyPlus é um programa validado pela ASHRAE 140 (ASHRAE, 2011; HENNINGER; WITTE, 2004), o que permite afirmar sua confiabilidade, e que permite a avaliação de variáveis do ar interno e das superfícies de interesse. Não se buscou aqui avaliar a ocorrência de condensação em vidros de esquadrias, uma vez que se considera que neste caso, o volume de água estaria contido na própria esquadria, não vindo a causar dificuldades. Buscou-se avaliar a possibilidade de ocorrência nas superfícies das paredes, onde poderiam então causar maior perturbação.

Procedimento de simulação. Avaliação das temperaturas das paredes e condensação

Para avaliar a possibilidade de ocorrência deste fenômeno e os elementos que a influenciam, realizou-se uma série de testes com simulações, seguindo os seguintes critérios:

- A. Escolha das unidades habitacionais: a unidade habitacional escolhida para a simulação é a considerada crítica para inverno segundo referência da ABNT NBR 15575 (2013).
- B. Na entrada de dados, considerar que os recintos adjacentes, de outras unidades habitacionais, separados, portanto, por paredes de geminação ou entrepisos, apresentam a mesma condição térmica do ambiente que está sendo simulado.
- C. Simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos dormitórios e salas. Observar paredes exteriores dos dormitórios mais expostos conforme apresentados na Figura 6.
- D. Adotar casos com taxa de ventilação do ambiente de 5 ren/h onde se considera as janelas 50% sombreadas e 1 ren/h e janelas sem sombreadamento.
- E. Avaliar além do piso superior, um andar intermediário, onde então os fluxos de calor vindos da cobertura (e a carga térmica solar) são reduzidos grandemente.
- F. Comparar as temperaturas superficiais internas das paredes às temperaturas de ponto de orvalho observadas nos ambientes, indicando os momentos em que as temperaturas superficiais sejam inferiores às estas últimas.

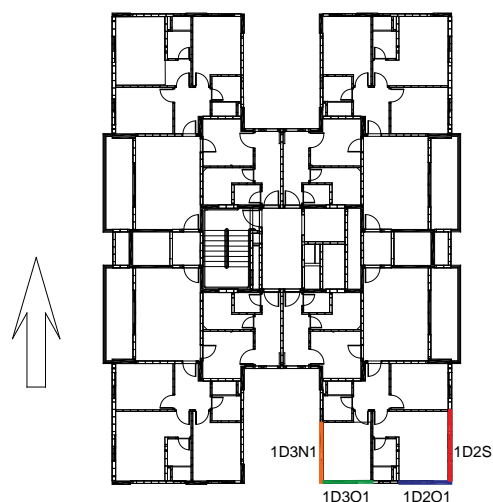


Figura 6: Paredes avaliadas

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste item são apresentadas duas opções de avaliação onde se demonstram a aplicabilidade do método frente a duas formas de avaliação.

6.1. Caso 1: Condições de clima definidas para teste de inverno segundo a NBR 15575 (2013)

As Figuras 7 a 11 apresentam a evolução das temperaturas superficiais das paredes críticas, considerando os apartamentos mais desfavoráveis e os critérios mencionados no item anterior. Foram avaliados o apartamento do último andar, com cobertura exposta e o caso de pavimento intermediário. Nestas figuras são plotadas as temperaturas de ponto de orvalho, calculadas para as condições de temperatura e umidade dos dormitórios. Os momentos em que as temperaturas superficiais são inferiores à esta última estão destacados com a tarja em azul.

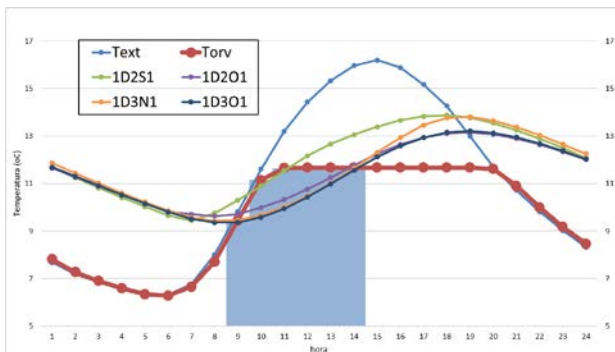


Figura 7: Temp. superficiais simuladas X Ponto de Orvalho. 5Ren/h - Com Sombream - Cores Claras na Fachada

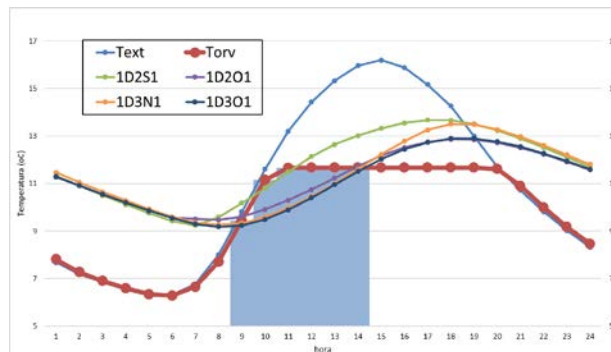


Figura 8: Temp. superficiais simuladas X Ponto de Orvalho. 5Ren/h - Com Sombream - Cores Claras - Piso intermediário.

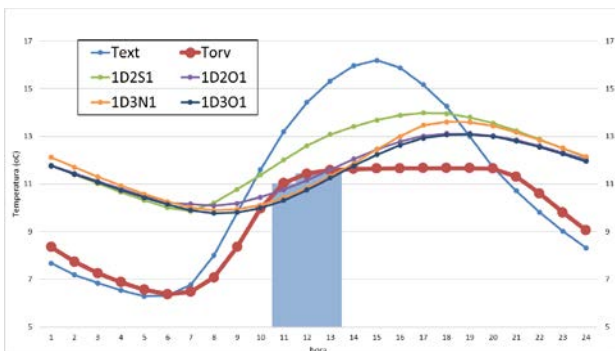


Figura 9: Temp. superficiais simuladas X Ponto de Orvalho. 1Ren/h - Com Sombream - Cores Claras na Fachada

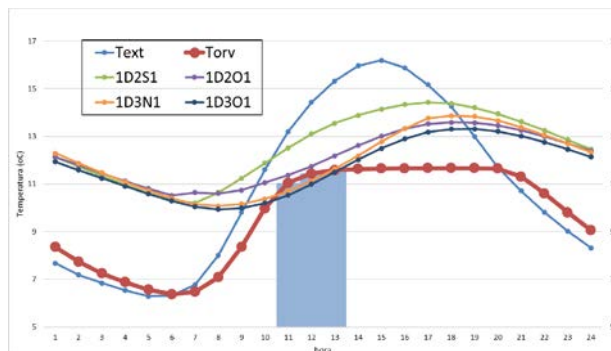


Figura 10: Temp. superficiais simuladas X Ponto de Orvalho. 1Ren/h - Sem Sombream - Cores Claras - Piso intermediário.

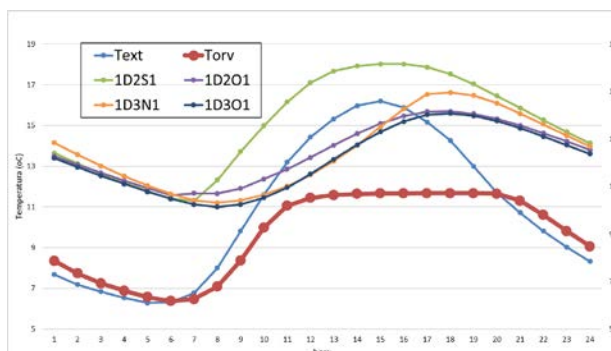


Figura 11: Temp. superficiais simuladas X Ponto de Orvalho. 1Ren/h - Sem Sombream - Cores Escuras - Piso intermediário.

Conforme observável, para as condições climáticas apresentadas em norma, a situação para o pavimento de cobertura no apartamento considerado crítico (Figura 7) apresenta uma probabilidade de ocorrência de condensação em grande parte das horas do dia, sendo portanto muito provável sua ocorrência para todas as paredes avaliadas. Considerando uma condição ainda mais desfavorável, para o caso de um

andar intermediário, onde então os fluxos de calor vindos da cobertura, e assim a carga térmica solar absorvida pelo edifício é reduzida grandemente (Figura 8), existe um ligeiro agravamento do problema. Se a ventilação ao longo do dia fosse reduzida ao mínimo e mantidas as demais condições, (principalmente a questão de não existir fontes internas de umidade) o resultado seria o apresentado na Figura 9. Nesta situação as temperaturas das paredes são elevadas e com isso a probabilidade de atingir o ponto de orvalho reduz drasticamente. Ao se permitir o ganho solar por toda a área de janelas, como esperado, existe um aquecimento do conjunto o que leva às paredes do Dormitório 2 saírem do grupo em risco de condensação. Finalmente ao se elevar a absorção de calor alterando a absortância solar das fachadas de 0,3 para 0,7 observa-se uma grande alteração nos valores de temperaturas superficiais o que resultaria em eliminar totalmente a condensação. Vale lembrar que estes resultados desconsideram fontes internas de calor e umidade, os quais podem alterar grandemente estas relações.

6.2. Caso 2: Simulação anual

Considerando o ano típico local (apresentado no item 3.2), realizou-se simulações para os casos críticos observados no item anterior, ou seja considerando o Pavimento Intermediário, simulou-se os casos com 5Ren/h, Com Sombreamento de 50% das áreas de janela e Cores Claras na Fachada; e um segundo caso com 1Ren/h Sem Sombreamento e Cores Escuras na Fachada. Os resultados são apresentados nas figuras 12 e 13, e resumidos nas Tabelas 1 e 2.

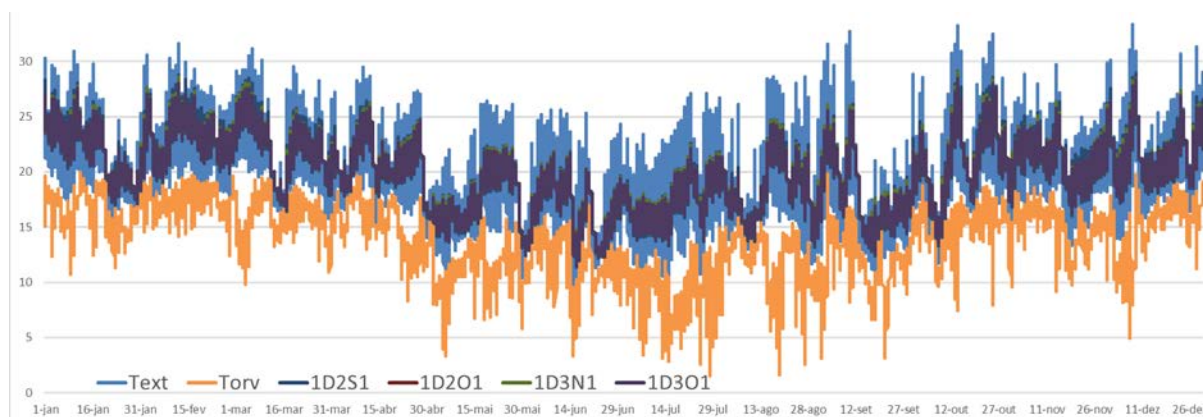


Figura 12: Temp. Simuladas X Ponto de Orvalho. 5Ren/h - Com Sombream - Cores Claras na Fachada - Pav Intermediário

Tabela 1 - Resumo de condições observadas em Simulação anual (Figura 12)
5Ren/h, Com Sombreamento de 50% das áreas de janela e Cores Claras na Fachada

	Text	SALA	DORM1	DORM2	DORM3		Torv	1D2S1	1D2O1	1D3N1	1D3O1
Min	8.59	12.63	12.48	12.11	11.97	Min	1.52	11.40	11.69	11.61	11.58
Med	19.57	20.37	20.28	20.04	20.01	Med	13.80	20.12	19.98	20.08	20.02
Max	33.33	29.50	29.31	29.14	29.10	Max	19.97	29.13	28.29	29.03	28.50

Neste caso não se observou nenhuma situação em que as temperaturas superficiais estivessem inferiores à temperatura de orvalho calculada.

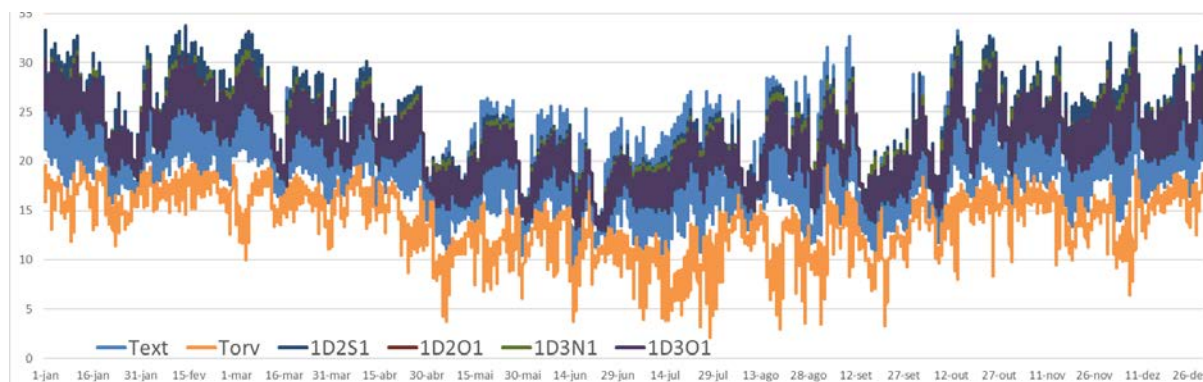


Figura 13: Temp. Simuladas X Ponto de Orvalho. 5Ren/h - Com Sombream - Cores Claras na Fachada - Pav Intermediário

Tabela 2 - Resumo de condições observadas em Simulação anual (Figura 13)
1Ren/h Sem Sombreamento e Cores Escuras na Fachada

	Text	SALA	DORM1	DORM2	DORM3		Torv	1D2S1	1D2O1	1D3N1	1D3O1
Min	8.59	14.12	13.88	13.53	13.45	Min	2.15	12.92	13.12	13.09	13.07
Med	19.57	22.12	22.41	22.15	21.83	Med	13.80	22.39	21.89	21.92	21.86
Max	33.33	30.21	30.99	30.61	29.90	Max	19.89	33.73	30.94	31.73	31.16

Como esperado, também neste caso não se observou nenhuma situação em que as temperaturas superficiais estivessem inferiores à temperatura de orvalho calculada. Ou seja, não seriam observados casos de condensação. Comparando os casos 1 e 2, observa-se uma diferença média nas temperaturas superficiais, de mais de 2°C, o que poderia sem dúvidas ter um efeito importante na redução do risco de condensação.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se uma avaliação da possibilidade de ocorrências da condensação superficial em edificações através de um procedimento similar ao processo proposto para simulação computacional do desempenho térmico de edifícios pela ABNT NBR 15575 (2013).

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 absorvâncias 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 chamada “temperatura do céu” 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 se aplicar o método à avaliação das questões relativas à condensação, buscou-se parâmetros e condições de avaliação da possibilidade de ocorrência deste fenômeno e dos fatores que poderiam influenciar seu surgimento. Assim sendo, no procedimento avaliado, realizou-se um conjunto de simulações com um dia teórico de inverno e as condições mais desfavoráveis possíveis, maximizando a chance de sua ocorrência.

Para se isolar os efeitos das atividades humanas, desprezou-se todas as fontes de calor e umidade (pessoas e equipamentos), que teriam forte impacto tanto na temperatura, quanto na umidade relativa do ar.

Na avaliação aplicada como exemplo, observou-se ser possível ocorrer condensação nas paredes e que estas ocorreriam em situações bastante específicas. Observou-se ainda que a pintura das fachadas em tons escuros (Absorvância Solar = 70%) tem um impacto importante nesta ocorrência, podendo inclusive, juntamente com outras práticas de uso, eliminar a ocorrência de condensação, mesmo para estes casos mais desfavoráveis.

A fim de detalhar o estudo das possibilidades de casos de condensação, utilizou-se um conjunto de dados reais, foram feitas simulações das mesmas condições críticas avaliadas anteriormente, e, nestas situações e sob influência do clima real, não se verificou na simulação nenhuma situação de condensação. No mesmo tipo de avaliação confirmou-se a observação de que a pintura nos edifícios com cores escuras pode ser uma forma de redução das ocorrências relatadas. Estes resultados, condizem com as características apontadas no método clássico de avaliação do clima, apresentado na Carta Bioclimática de Givoni onde Cores Escuras das fachadas, apresentam uma performance superior, reforçando sua confiabilidade.

Através do estudo notou-se a relevância dos dados climáticos aplicados e da necessidade de aprofundamento dos critérios e métodos de avaliação dos projetos em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. *NBR 15575-1 2013 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais Prefácio*. [S.l.]: ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2013
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – parte 1*. [S.l.: s.n.], 2005
- ASHRAE. *2013 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*. [S.l.]: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2013.
- ASHRAE. *ANSI/ASHRAE Standard 140 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*. [S.l.: s.n.], 2011.
- AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD. *Condensation in Buildings Handbook*. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.abcb.gov.au/>>.

BRASIL. NR 8 - NORMAS REGULAMENTADORAS DO MTE - EDIFICAÇÕES. . [S.l.]: Ministério da Previdência e Assistência Social. BRASIL. Disponível em: <<http://sislex.previdencia.gov.br/paginas/05/mtb/8.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2017. , 2011

BS 5250. *Code of practice for control of condensation in buildings*. [S.l.: s.n.], 2011. v. 3. Disponível em: <www.bsigroup.com/standards>.

BUENO, A. D. *Transferência de Calor e Umidade em Telhas: Simulação e Análise Experimental*. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Andre_Duarte_Bueno.pdf>. , 1994

BUXTON, P. *Manual do Arquiteto 5ª Edição: Planejamento, Dimensionamento e Projeto*. [S.l.]: Bookman Editora, 2017.

CARVALHO, P. N. DE. *Medição do Teor de Umidade em Materiais de Construção*. . PORTO: FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57829/1/000144625.pdf>>. , 2010

DUARTE, J. P. S. R. F. *CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES: Avaliação do Risco*. 2010. UNIVERSIDADE DO PORTO, 2010.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, p. 11–23, jan. 1992. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/037877889290047K>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

HENNINGER, R. H.; WITTE, M. J. EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST). 2004. Disponível em: <https://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs/epl_bestest_ash.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

JOHN, V. M. *Avaliação da Durabilidade de Materiais Componentes e Edificações*. 1987. 1987.

LAMBERTS, R. Influência do desempenho térmico de coberturas leves com ático no conforto térmico de casas populares. 1990, Gramado: ANTAC, 1990.

LSTIBUREK, J.; CARMODY, J. *Moisture Control Handbook. New, Low-rise, Residential Construction*. [S.l.: s.n.], 1991.

MENDES, N.; OLIVEIRA, R. C. L. F.; SANTOS, G. H. DOS. DOMUS 2.0: A WHOLE-BUILDING HYGROTHERMAL SIMULATION PROGRAM. 2003, Eindhoven, Netherlands: [s.n.], 2003. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2003/BS03_0863_870.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

NETO, J. C. P. F. *et al.* PINTURA NA MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS. 2003, Belo Horizonte, MG, Brasil: [s.n.], 2003.

ORMELEZ, F. R.; ABADIE, M. O.; MENDES, N. Influência da Transferência de Umidade entre o Envoltório e o Ar Interno no Conforto Térmico de uma Edificação Brasileira. 2007, Ouro Preto, Brasil: [s.n.], 2007. p. 1368–1375.

RODE, C. *et al.* Moisture Buffer Value of Building Materials. 2006.

RODE, C. *Workshop on Moisture Buffer Capacity - Summary Report*. . [S.l.]: Department of Civil Engineering Technical University of Denmark. Disponível em: <<http://orbit.dtu.dk/files/2633298/byg-r067.pdf>>. , 2003

RORIZ, M. *Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros - ANTAC*. . [S.l.: s.n.], 2012.

RORIZ, M. ESTIMATIVAS DE VALORES HORÁRIOS DE TEMPERATURAS E UMIDADES DO AR EM FUNÇÃO DE NORMAIS CLIMATOLÓGICAS. 2008, [S.l.]: ANTAC, 2008. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1539.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

RORIZ, M. *Psicrom 1.0*. . São Carlos, Brazil: PPGCIV- UFSCar. Disponível em: <www.roriz.eng.br>. , 2003

RORIZ, V. F.; RORIZ, M. *EPvieW*. . São Carlos, Brazil: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.dropbox.com/s/fofm6nexasbwyfy/EPvieW.exe?dl=0>>. , 2015

TASMANIA GOVERNMENT DEPARTMENT OF JUSTICE. CONDENSATION IN BUILDINGS TASMANIAN DESIGNERS' GUIDE. 2016. Disponível em: <http://www.justice.tas.gov.au/__data/assets/pdf_file/0013/301324/BSOL_condensation_web.pdf>.