

Determinação dos subsistemas de ventilação dos sistemas prediais de esgoto sanitário em edifícios multipavimentos

Determination of venting subsystems on plumbing sewage systems in multi-storey buildings

Determinación de subsistemas de ventilación en sistemas de alcantarillado en edificios de varios pisos

Bruna Fioramonte* 

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
Goiânia (GO), Brasil.
brunafioramonte@hotmail.com

Dary Ferreira da Silva Neto 

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

Ricardo Prado Abreu Reis* 

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Construção Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

* Autor correspondente.

CRedit

Contribuição de autoria: Concepção; simulação de dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: FIORAMONTE, B; Concepção; Análise de dados; Curadoria de Dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: NETO, D. F. S.; Concepção; Curadoria de Dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Supervisão; Visualização; Validação; Redação - revisão e edição: REIS, R. P. A.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não possui.

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Andreza Kalbusch (Editora Convidada); Heber Martins de Paula (Editor Convidado).

Resumo

Este artigo apresenta uma avaliação da suficiência do subsistema de ventilação primária para ambientes sanitários localizados em edificações e cidades com características distintas entre si, utilizando como referência as prescrições da norma ABNT NBR 8160:1999. Para as situações em que a ventilação primária não foi suficiente, foi proposto o dimensionamento do subsistema de ventilação secundária. Foram realizadas análises considerando três diferentes ambientes sanitários (banheiro, área de serviço e cozinha), construídos em edificações residenciais de 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos tipo, e localizados em seis diferentes cidades brasileiras (Lages, Brasília, Maringá, Uberaba e Goiânia), que possuem entre si variações nos parâmetros climáticos de temperatura e umidade. A importância da conservação do fecho hídrico dos desconectores como condição essencial para o uso da ventilação primária foi destacada. Os resultados demonstraram que valores reduzidos de umidade, valores elevados de temperatura e o aumento do número de pavimentos tipo contribuem, progressivamente, para a necessidade de adoção do subsistema de ventilação secundária.

Palavras-chave: Desconector; Esgoto sanitário; Fecho hídrico; Temperatura; Umidade; Ventilação.

Abstract

This article presents an assessment of the sufficiency of the primary ventilation subsystem for sanitary environments located in buildings and cities with different characteristics, using as a reference the prescriptions of the ABNT NBR 8160:1999 standard. For situations in which primary ventilation was not sufficient, the sizing of the secondary ventilation subsystem was proposed. Analyses were carried out considering three different sanitary environments (bathroom, service area and kitchen), built in residential buildings with 4, 8, 12, 16 and 20 typical floors, and located in six different Brazilian cities (Lages, Brasília, Maringá, Uberaba and Goiânia), which have variations in the climatic parameters of temperature and humidity. The importance of maintaining the water seal of the traps as an essential condition for the use of primary ventilation was highlighted. The results demonstrated that reduced humidity levels, high temperatures, and an increase in the number of typical floors progressively contribute to the need for the adoption of the secondary ventilation subsystem.

Key-words: Disconnecter; Sanitary sewer; Water seal; Temperature; Humidity; Ventilation.

Resumen

Este artículo presenta una evaluación de la suficiencia del subsistema de ventilación primaria para ambientes sanitarios ubicados en edificios y ciudades con diferentes características, utilizando como referencia los requisitos de la norma ABNT NBR 8160:1999. Para las situaciones en que la ventilación primaria no fuera suficiente, se propuso el dimensionamiento del subsistema de ventilación secundaria. Los análisis fueron realizados considerando tres ambientes sanitarios diferentes (baño, área de servicio y cocina), construidos en edificios residenciales de 4, 8, 12, 16 y 20 pisos, y localizados en seis ciudades brasileñas diferentes (Lages, Brasília, Maringá, Uberaba y Goiânia), que tienen variaciones en los parámetros de temperatura y humedad. Se destacó la importancia de la conservación del sello hídrico de los desconectores como condición esencial para el uso de la ventilación primaria. Los resultados demostraron que valores reducidos de humedad, valores elevados de temperatura y el aumento en el número de pisos tipo contribuyen, progresivamente, a la necesidad de adopción del subsistema de ventilación secundaria

Palabras-clave: Seccionadores; Efluentes sanitarios; Cierre de agua; Temperatura; Humedad; Ventilación.

1 Introdução

O aumento populacional nas áreas urbanas do Brasil, que ganhou velocidade a partir da segunda metade do século XX, foi o catalisador primordial para a criação de um cenário urbano marcado pelo aumento do consumo de água potável (Morais *et al.*, 2023; Bogo, Henning e Kalbusch, 2023). Esse crescimento também acarretou no aumento do volume de águas residuais produzidas como resultado desse consumo elevado. Desta forma, a alteração na composição das cidades trouxe consigo a necessidade de otimizar os sistemas prediais responsáveis pelo abastecimento de água e pela coleta e transporte de resíduos sanitários (Wise e Swaffield, 2002).

Historicamente, a construção dos sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES), não preconizava a conservação de adequadas condições sanitárias das edificações, muitas vezes resultando em retorno de odores e insetos para os ambientes dotados de peças sanitárias (Fernandes e Gonçalves, 2002, 2006). A melhoria no desempenho desses sistemas, no que tange à eficiência no bloqueio do retorno de gases e mau odor por meio das tubulações, foi obtida a partir da inserção dos desconectores nos projetos de SPES. Os desconectores são dispositivos dotados de fecho hídrico, responsáveis por evitar a passagem de gases, odores e insetos no sentido contrário ao fluxo de transporte do esgoto (ABNT, 1999).

Entretanto, a manutenção da integridade do fecho hídrico pode ser comprometida por eventos associados à disposição construtiva dos SPES, podendo resultar em fenômenos de autossifonagem e sobrepressão (Foresti e Blundi, 1980). Visando o controle das pressões de ar no interior das tubulações e a viabilização das trocas gasosas com a atmosfera, foi introduzido nos SPES o subsistema de ventilação, podendo esta ser primária ou secundária (Swaffield, 2010).

O subsistema de ventilação primária preconiza a utilização do próprio tubo de queda, do sistema predial de esgoto sanitário, que prolongado permite o desempenho da função de ventilação, considerando o fluxo de ar pela região central do tubo viabilizado pelo movimento anular de coleta e transporte dos despejos sanitários (Kinney e Steven, 2012; Procópio, 2007). O subsistema de ventilação secundária se caracteriza pela presença de tubulações (colunas e ramais) que desempenham a função exclusiva de ventilação e, embora executadas mediante interligação com a rede de coleta e transporte de esgotos sanitários, são dispostas de modo a impossibilitar o fluxo de entrada de efluentes em seu interior.

O Anexo C da NBR 8160 (ABNT, 1999) apresenta um modelo dotado de critérios que, satisfeitos simultaneamente, validam a suficiência do subsistema de ventilação primária, dispensando a necessidade do subsistema de ventilação secundária. Estas condições são expressas por meio de verificações da altura do fecho hídrico dos desconectores e dos fenômenos de depressões e sobrepressões do sistema, mediante a comparação dos valores destes critérios com valores admissíveis previamente determinados. De acordo com Rodrigues (2004), a lâmina d'água que forma o fecho hídrico dos desconectores, e que influi na determinação dos parâmetros de depressões e sobrepressões, é suscetível ao fenômeno da evaporação, que se manifesta com maior ou menor intensidade dadas as condições climáticas de temperatura e umidade do ambiente sanitário.

A viabilidade do subsistema de ventilação primária também possui relação com a altura

da edificação tomada como objeto de estudo. Graça (1985) registra que a adoção exclusiva da ventilação primária nos sistemas prediais de esgoto sanitário, ainda na primeira metade do século XX, restringia-se a edifícios de pequena altura, nos quais os equipamentos sanitários a serem ventilados dispunham-se próximos ao tubo de queda prolongado. Segundo o mesmo autor, o avanço nos conhecimentos sobre os mecanismos hidráulicos dos sistemas prediais de esgoto sanitário foi o fator que permitiu atestar a possibilidade de adoção da ventilação primária em edifícios mais altos, condicionada ao aumento do diâmetro das tubulações utilizadas na execução dos tubos de queda. Mediante a verificação da insuficiência do subsistema de ventilação primária, o Anexo D da NBR 8160 (ABNT, 1999) fornece as diretrizes para o dimensionamento dos elementos constituintes do subsistema de ventilação secundária.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação da suficiência dos subsistemas de ventilação, primária e secundária, em edifícios residenciais de múltiplos pavimentos. No estudo, foram consideradas os SPES de três diferentes ambientes sanitários (banheiro, cozinha e área de serviço), com mesma tipologia mas diferentes números de pavimentos tipo (4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos). A implantação dos edifícios foi considerada para seis diferentes cidades brasileiras, de modo a dispor de cenários que permitam a avaliação conjunta dos parâmetros de temperatura, umidade e altura da edificação como determinantes da configuração do subsistema de ventilação.

2 Método

Para atingir o objetivo deste trabalho, foi conduzida uma pesquisa do tipo estudo de caso, focada na simulação de um edifício, que inclui três ambientes sanitários de interesse (banheiro, cozinha e área de serviço), em diferentes cenários definidos pela combinação e alteração das variáveis estabelecidas para as análises propostas. Segundo Yin (2015), os estudos de caso são uma metodologia principal quando se busca responder questões sobre o “como” e o “por quê” em contextos em que o pesquisador tem pouco controle sobre os fenômenos envolvidos. Yin (2015) define o estudo de caso por meio de quatro etapas fundamentais:

- a. Determinação do objeto de estudo;
- b. Definição dos dados e variáveis a serem avaliados;
- c. Coleta dos dados;
- d. Análise e discussão dos resultados obtidos.

Deste modo, é possível enquadrar o estudo proposto nas quatro etapas sequenciais anteriormente mencionadas, conforme indicado a seguir:

- a. Seleção do edifício como objeto de estudo, considerando os ambientes sanitários do banheiro, cozinha e área de serviço, e a avaliação do subsistema de ventilação primária quanto à sua aplicabilidade (objetivo do estudo);
- b. Seleção dos parâmetros de temperatura, umidade relativa do ar, altura da edificação e modelo de desconector como variáveis com influência direta na validação do subsistema de ventilação primária, conforme prescrições normativas da NBR 8160 (ABNT, 1999);
- c. Levantamento dos valores associados às variáveis predefinidas, mediante consulta ao proprietário do projeto (obtenção de dados arquitetônicos e dos

sistemas hidráulicos e sanitários), a bases de dados históricos consolidados (temperatura e umidade relativa do ar) disponíveis em sítios eletrônicos de domínio público e à NBR 8160 (ABNT, 1999), visando a coleta de parâmetros geométricos padronizados para os desconectores;

- d. Dimensionamento do subsistema de coleta e transporte de esgoto sanitário e as verificações para determinação e análise do subsistema de ventilação de esgoto sanitário. Esse dimensionamento foi realizado em conformidade com o roteiro de cálculo e verificações previstas nos anexos C e D da NBR 8160 (ABNT, 1999), utilizando-se planilhas eletrônicas desenvolvidas pelos autores e aplicadas no armazenamento dos dados.

2.1 Definição e caracterização do edifício

Para a realização do estudo, optou-se por um edifício residencial de múltiplos pavimentos tipo, de médio padrão e localizado em região urbana. Essa escolha se baseia na ampla representatividade desse tipo de edificação na realidade habitacional das cidades. Edifícios de médio padrão são comuns em áreas urbanas e, por isso, proporcionam um contexto relevante para a avaliação dos sistemas prediais. Analisar um edifício com essas características, consideradas altamente representativa, possibilita a aplicação e a verificação das normas técnicas em um cenário típico, gerando resultados aplicáveis para profissionais e gestores de edificações similares, contribuindo para a melhoria das práticas de planejamento e gestão de sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES). Além disso, para viabilizar o estudo, o proprietário do projeto forneceu as informações técnicas essenciais, incluindo o projeto arquitetônico detalhado, dados sobre a distribuição dos ambientes e aparelhos sanitários.

Logo, o edifício objeto do estudo é composto por um apartamento por pavimento tipo. Na unidade habitacional, os ambientes sanitários da cozinha e da área de serviço são integrados. Para a cozinha, foram considerados os seguintes aparelhos sanitários: pia e máquina de lavar louças. Para a área de serviço, foram previstos os aparelhos sanitários: máquina de lavar roupas e tanque. O layout dos ambientes, com a representação dos aparelhos sanitários e dos SPES, está apresentado na Figura 1.

Figura 1: Layout dos ambientes sanitários.



De forma a analisar a influência da altura do edifício na determinação do subsistema de ventilação apropriado, foram conduzidas simulações para diferentes quantidades de

pavimentos tipo. Deste modo, as avaliações abrangeram o mesmo edifício, sendo simulado para 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos tipo. Para a verificação das condições de suficiência dos subsistemas de ventilação quanto ao tipo de ambiente sanitário, foram avaliados os sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES) dispostos para o banheiro, a cozinha e a área de serviço do apartamento residencial. No ambiente sanitário do banheiro, foram considerados os seguintes pontos de consumo de água e, conseqüentemente, de geração de efluentes sanitários: lavatório, bacia sanitária com caixa acoplada e chuveiro.

Especificamente no ambiente sanitário da área de serviço, em que ocorre o direcionamento dos ramais de descarga da máquina de lavar roupas e do tanque em direção à caixa sifonada, adotou-se a prescrição constante na nota técnica número 3 da tabela 3 da NBR 8160 (ABNT, 1999). Essa orientação técnica permite que o diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga da máquina de lavar roupas possa ser reduzido, desde que sejam observadas as recomendações técnicas dos fabricantes do equipamento. Deste modo, foi possível simular um cenário em que os diâmetros nominais dos ramais de descarga da máquina de lavar roupas e do tanque de lavar roupas fossem adotados iguais a 40 mm. Devido ao fato de esses dois aparelhos sanitários gerarem resíduos com espuma, definiu-se pela utilização do dispositivo antiespuma acoplado à estrutura interna da caixa sifonada da área de serviço, mitigando o retorno de espuma à área de serviço, em sentido contrário àquele de coleta e transporte dos dejetos.

Os pontos de consumo localizados em cada um dos ambientes, e responsáveis pela geração de esgoto sanitário, distinguem-se entre si no que tange às vazões unitárias. Visto que não foi previsto, no escopo desta análise, o estudo dos perfis de consumo dos aparelhos sanitários para determinação das vazões unitárias, recorreu-se à adoção dos valores recomendados no Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999) e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Vazões unitárias dos aparelhos sanitários.

Ambiente	Aparelho sanitário	Ponto de consumo	Vazão unitária
Banheiro	Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,96 L/s
	Chuveiro	Misturador (água fria)	0,20 L/s
	Lavatório	Torneira	0,15 L/s
Cozinha	Máquina de lavar louças	Registro de pressão	0,30 L/s
	Pia	Torneira	0,25 L/s
Área de serviço	Máquina de lavar roupas	Registro de pressão	0,30 L/s

Fonte: Adaptada da NBR 8160 (ABNT, 1999).

Conforme preconizado pelo Anexo C da NBR 8160 (ABNT, 1999), a verificação das condições necessárias à implantação exclusiva do subsistema de ventilação primária pressupõe a definição dos desconectores utilizados em cada um dos ambientes sanitários avaliados. As informações técnicas dos desconectores adotados são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros técnicos dos desconectores.

Ambiente Sanitário	Desconector	Altura do fecho hídrico inicial (mm)	Coefficiente de evaporação (mm.m ² /nº semana)	Diâmetro de entrada (mm)	Diâmetro de saída (mm)
Banheiro	Caixa sifonada 150x150x50 mm	47	5,50 x 10 ⁻³	38	50
Área de Serviço					
Cozinha	Sifão tipo "S" flexível (pia)	42	1,88 x 10 ⁻³	19	38

2.2 Locais de estudo e dados climatológicos

Para avaliar como a condição climática do local onde o edifício será construído impacta na escolha do subsistema de ventilação, foram considerados os parâmetros de temperatura e umidade para serem analisados. Diante disso, para a determinação dos locais para simulação da implantação dos edifícios no desenvolvimento da análise proposta, foram previamente definidos três critérios de seleção, devendo cada cidade possuir:

- a. Normais climatológicas de temperatura e umidade relativa do ar, do período histórico de 1991-2020, disponíveis no sítio eletrônico do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia);
- b. Parâmetros climáticos de temperatura e umidade relativa do ar distintos das demais cidades, de modo a permitir análises da influência destas grandezas climáticas decorrentes da variabilidade de seus valores. Assim, não poderiam ser selecionadas para o estudo, simultaneamente, duas ou mais cidades com igualdade de valores nos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar;
- c. População igual ou superior a 100 mil habitantes, segundo o censo demográfico realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2022, potencializando provável existência, no município, de edificações residenciais de múltiplos pavimentos, conforme as tipologias propostas.

As normais climatológicas consistem em valores médios de parâmetros climatológicos, determinados para um período de tempo não inferior a três décadas consecutivas, e que retratam as características médias do clima para um local específico (INMET, 2022a). Em decorrência da prevalência dos parâmetros de temperatura e umidade na manutenção do fecho hídrico dos desconectores, foram definidos como referência para a análise as normais climatológicas de Temperatura Máxima Mensal (°C) e de Umidade Relativa do Ar Compensada Mensal (%).

Os desconectores dos sistemas prediais de esgoto sanitário estão submetidos à evaporação, favorecida pela ocorrência de temperaturas mais elevadas e responsável por reduzir o volume do fecho hídrico (Montenegro, 1985). Deste modo, para cada uma das cidades incluídas neste estudo, foi considerada a temperatura máxima mensal, no período histórico de 1991-2020, para o mês mais quente do ano. Adicionalmente, a umidade relativa do ar compensada mensal adotada foi, também, aquela vinculada ao mês mais quente do ano.

Mediante a consideração dos três critérios prévios de seleção das cidades potenciais para simulação da análise, foram mapeadas 55 cidades brasileiras, regionalizadas conforme informado abaixo:

- Região Norte: 12 cidades;
- Região Nordeste: 13 cidades;
- Região Centro Oeste: 6 cidades;
- Região Sudeste: 13 cidades;
- Região Sul: 11 cidades.

Dada a variação dos valores de temperatura máxima mensal, predefiniu-se três categorias ou faixas de temperatura, visando a classificação das cidades quanto a este parâmetro climatológico:

- Temperatura baixa: nesta categoria, foram inseridas as cidades cuja temperatura máxima mensal fosse inferior a 30°C;
- Temperatura intermediária: nesta categoria, foram alocadas as cidades cuja temperatura máxima mensal fosse igual ou superior a 30°C e inferior a 33°C;
- Temperatura alta: nesta categoria, foram consideradas as cidades cuja temperatura máxima mensal fosse igual ou superior a 33°C.

Devido à variação dos valores de umidade relativa do ar compensada mensal, foi também definida a criação de duas categorias de faixa de umidade para a classificação das cidades quanto a este parâmetro climatológico:

- Umidade baixa: nesta categoria, foram listadas as cidades cuja umidade relativa do ar compensada mensal fosse igual ou inferior a 55%;
- Umidade alta: nesta categoria, foram agregadas as cidades cuja umidade relativa do ar compensada mensal fosse superior a 55%.

Associando as diferentes categorias de faixas de temperatura máxima mensal e umidade relativa do ar compensada mensal, as cidades pré-selecionadas para o estudo foram novamente divididas, conforme os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Quantificação de cidades por faixas de temperatura e umidade.

Faixa de temperatura	Faixa de umidade	Número de cidades
Baixa	Baixa	1
Baixa	Alta	14
Intermediária	Baixa	3
Intermediária	Alta	16
Alta	Baixa	5
Alta	Alta	16

Com base na quantificação do número de cidades dentro de faixas específicas de temperatura e umidade, em que cada cidade se enquadra em uma combinação única dessas faixas, as cidades foram selecionadas aleatoriamente. Assim, foram escolhidas as seguintes cidades brasileiras: Belém (PA), Brasília (DF), Goiânia (GO), Lages (SC), Maringá (PR) e Uberaba (MG). Os dados climatológicos dessas cidades estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Normais climatológicas (1991-2020) das cidades estudadas.

Cidade (UF)	Mês mais quente do ano	Temperatura máxima no mês mais quente	Umidade relativa no mês mais quente
Belém (PA)	Setembro	33,2 °C	79,3 %
Brasília (DF)	Setembro	29,1 °C	46,4 %
Goiânia (GO)	Setembro	34,0 °C	44,9 %
Lages (SC)	Janeiro	26,8 °C	78,8 %
Maringá (PR)	Fevereiro	30,5 °C	74,7 %
Uberaba (MG)	Setembro	31,8 °C	54,4 %

Fonte: Adaptada do INMET (2022b).

A categorização das cidades quanto ao parâmetro climatológico da temperatura máxima mensal, em valores crescentes de temperatura, é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5: Categorização das cidades por faixa de temperatura.

Cidade (UF)	Temperatura máxima no mês mais quente (1991-2020)	Classificação conforme faixa de temperatura
Lages (SC)	26,8 °C	Temperatura baixa
Brasília (DF)	29,1 °C	Temperatura baixa
Maringá (PR)	30,5 °C	Temperatura intermediária
Uberaba (MG)	31,8 °C	Temperatura intermediária
Belém (PA)	33,2 °C	Temperatura alta
Goiânia (GO)	34,0 °C	Temperatura alta

A classificação das cidades quanto ao parâmetro climatológico da umidade relativa do ar compensada mensal, em valores crescentes de umidade, pode ser visualizada na Tabela 6.

Tabela 6: Categorização das cidades por faixa de umidade.

Cidade (UF)	Umidade relativa no mês mais quente (1991-2020)	Classificação conforme faixa de umidade
Goiânia (GO)	44,9 %	Umidade baixa
Brasília (DF)	46,4 %	Umidade baixa
Uberaba (MG)	54,4 %	Umidade baixa
Maringá (PR)	74,7 %	Umidade alta
Lages (SC)	78,8 %	Umidade alta
Belém (PA)	79,3 %	Umidade alta

A população atualizada de cada uma das cidades, conforme censo demográfico datado de 2022 e conduzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: População das cidades estudadas.

Cidade (UF)	População no último censo demográfico (nº de habitantes)
Goiânia (GO)	1.303.403
Brasília (DF)	2.817.381
Uberaba (MG)	1.437.366
Maringá (PR)	164.981
Lages (SC)	409.657
Belém (PA)	337.836

Fonte: Adaptada do IBGE (2023).

De posse dos dados do edifício e dos ambientes sanitários, foram dimensionados os subsistemas de coleta e transporte, levando em consideração cada variação de quantidade de pavimentos. Para tal, aplicou-se o método hidráulico estabelecido no Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999). Em seguida, foi realizado o dimensionamento do subsistema de ventilação, seguindo as diretrizes a seguir.

2.3 Condições necessárias para suficiência de ventilação primária

O adequado desempenho do subsistema de ventilação primária é assegurado mediante a verificação de que os valores observados, nos SPES, de altura dos fechos hídricos dos desconectores, depressões e sobrepressões do sistema não excedam os valores admissíveis calculados para o sistema, conforme o Anexo C da NBR 8160 (ABNT, 1999).

2.3.1 Primeira condição – Perda de altura do fecho hídrico admissível

A primeira condição analisada remete à manutenção da integridade dos fechos hídricos dos desconectores selecionados por ambiente sanitário. Ressalta-se que, além do efeito da temperatura ambiente no processo de evaporação da lâmina d'água, prolongados períodos de não utilização dos aparelhos sanitários favorecem a redução do fecho hídrico

nos desconectores. Isso decorre do fato de que, sem utilização, não há renovação constante do volume de água que atua na proteção das peças sanitárias.

De modo a incluir também a influência deste fator, foi considerado um período de quatro semanas e meia sem que houvesse o uso dos pontos de consumo de água nos ambientes sanitários. Outra consideração foi que, sendo critério para o dimensionamento dos SPES, no subsistema de coleta e transporte dos dejetos, o escoamento dos rejeitos em regime livre, foi desprezado o fenômeno da autossifonagem e, conseqüentemente, sua eventual influência na redução de altura dos fechos hídricos (ABNT, 1999). Deste modo, para a primeira condição avaliada, foi aplicada a Equação 1 (ABNT, 1999), disposta no Anexo C da referida norma.

$$H_{a,i} \geq H_{r,i} \quad (1)$$

Sendo:

$H_{a,i}$: Perda de altura do fecho hídrico admissível para o desconector i , em milímetros;

$H_{r,i}$: Perda de altura do fecho hídrico resultante máxima por autossifonagem do desconector i , em milímetros; onde,

$H_{r,i} = 0$, decorrente da não consideração do fenômeno da autossifonagem, dado o escoamento livre dos rejeitos sanitários.

2.3.2 Segunda condição – Depressão admissível

A segunda condição avaliada relaciona-se à depressão à qual os desconectores definidos para os ambientes sanitários estão expostos. O fenômeno da depressão provém da ação combinada de sifonagem induzida, tiragem térmica e ação do vento, assim como das variações de pressão ambiental (ABNT, 1999). Para este critério, em cada um dos desconectores i analisados, a depressão admissível deve ser igual ou maior ao valor máximo da depressão provocada pela ação da sifonagem induzida, tiragem térmica, ação do vento e variações de pressão ambiental. Matematicamente, a verificação ocorre conforme a Equação 2 (ABNT, 1999).

$$D_{a,s} \geq D_r \quad (2)$$

Sendo:

$D_{a,s}$: Depressão admissível no sistema, em pascais; e

D_r : Depressão máxima provocada pelos efeitos de sifonagem induzida, tiragem térmica, ação do vento e das variações de pressão ambiental, em pascais.

2.3.3 Terceira condição – Sobrepressão admissível

A terceira condição elencada está atrelada à sobrepressão à qual os desconectores selecionados para análise estão sujeitos. O efeito da sobrepressão decorre da ação combinada da sobrepressão e das variações de pressão ambiental no sistema (ABNT, 1999). Para este item, em cada um dos desconectores i considerados, a sobrepressão admissível deve ser igual ou maior ao valor da sobrepressão resultante da ação conjunta da sobrepressão e das variações de pressão ambiental. Esta comparação é evidenciada pela Equação 3 (ABNT, 1999).

$$S_{a,s} \geq S_r \quad (3)$$

Sendo:

$S_{a,s}$: Sobrepressão admissível no sistema, em pascais;

S_r : Sobrepressão máxima no sistema, resultante dos efeitos de sobrepressão e das variações de pressão ambiental, em pascals; onde,
 $S_r = 0$, decorrente da consideração de que a sobrepressão oriunda das variações de pressão ambiental seja nula e de que as tubulações de esgoto não estejam interligadas nas regiões de sobrepressão dos sistemas sanitários.

Mediante a avaliação de cada uma das três condições supracitadas, foi considerado apto para suficiência do subsistema de ventilação primária o cenário no qual os três critérios foram simultaneamente satisfeitos, para um ambiente sanitário específico, em uma edificação com número pré-definido de pavimentos tipo e localizada em uma das cidades selecionadas para o estudo. As equações e modelos matemáticos adicionais, utilizados no decurso da determinação dos parâmetros admissíveis e verificados no sistema, podem ser encontrados no roteiro do Anexo C da NBR 8160 (ABNT, 1999).

Para os cenários em que foi identificado não cumprimento de uma ou mais condições, inviabilizando tecnicamente a adoção do subsistema de ventilação primária, foi explicitada a necessidade de previsão do subsistema de ventilação secundária. Nestes casos, foi indicado o diâmetro nominal do ramal de ventilação e da coluna de ventilação, sendo estas tubulações dimensionadas conforme as equações e considerações apresentadas no Anexo D da NBR 8160 (ABNT, 1999).

3 Resultados e discussões

3.1 Comportamento do fecho hídrico dos desconcentres

As condições nº 1 e 3 associadas à determinação da suficiência do subsistema de ventilação primária vinculam-se diretamente à manutenção do fecho hídrico dos desconectores. Isso decorre do fato de que os parâmetros admissíveis da perda de altura do fecho hídrico e da sobrepressão admissível no sistema estão atrelados à especificação técnica dos desconectores e à secagem ou não da lâmina d'água formadora do fecho hídrico. Além disso, para estas duas condições mencionadas, os parâmetros $H_{r,i}$ e S_r das Equações 1 e 3, respectivamente, são simplificados e definidos como zero. Logo, a satisfação das condições 1 e 3 é obtida mediante ao não rompimento do fecho hídrico dos desconectores, matematicamente evidenciada por valores positivos do parâmetro perda de altura do fecho hídrico admissível para o desconector i ($H_{a,i}$). A Tabela 8 apresenta os resultados calculados para este parâmetro, para cada um dos ambientes sanitários e cidades consideradas no estudo.

Tabela 8: Perda de altura do fecho hídrico admissível dos desconectores.

Cidade (UF)	$H_{a,i}$ para o desconector do banheiro (mm)	$H_{a,i}$ para o desconector da cozinha (mm)	$H_{a,i}$ para o desconector da área de serviço (mm)
Lages (SC)	28,64	35,72	28,64
Brasília (DF)	-6,04	23,87	-6,04
Maringá (PR)	19,88	32,73	19,88
Uberaba (MG)	-5,62	24,01	-5,62
Belém (PA)	21,16	33,17	21,16
Goiânia (GO)	-24,91	17,42	-24,91

Embora os modelos matemáticos dispostos no Anexo C da NBR 8160 (ABNT, 1999) permitam a obtenção de valores negativos para o parâmetro $H_{a,i}$, ressalta-se que não há possibilidade técnica quanto à obtenção de fechos hídricos com altura inferior a zero. Logo, na prática, os valores negativos indicam o rompimento e a secagem da lâmina

d'água que atua na proteção dos aparelhos sanitários, viabilizando o retorno de odores no sentido contrário ao fluxo de despejos sanitários.

Para um mesmo ambiente sanitário, localizado em qualquer uma das cidades selecionadas, verificou-se que as variações no número de pavimentos da edificação não exerceram influência sobre a manutenção do fecho hídrico. Desta forma, os valores calculados e apresentados na Tabela 8 correspondem às edificações dotadas de 04, 08, 12, 16 e 20 pavimentos tipo. Este comportamento provém do fato de que a altura da edificação não é um dado incorporado ao cálculo da perda de altura do fecho hídrico causada por evaporação. Logo, embora associada ao aumento da vazão de efluentes sanitários, progressivamente maior quanto maior o número de pavimentos tipo e, por conseguinte, de aparelhos sanitários, a altura da edificação não é determinante para a oscilação da lâmina d'água dos desconectores.

Nos ambientes sanitários do banheiro e da área de serviço, ainda que os desconectores adotados sejam iguais entre si, foram obtidos valores distintos para a perda de altura do fecho hídrico admissível, considerando a comparação entre diferentes cidades. Essa variação está relacionada com a determinante contribuição dos parâmetros climáticos na variação de altura da lâmina d'água do desconectores. Embora haja igualdade de especificações geométricas e técnicas entre as caixas sifonadas alocadas no banheiro e na área de serviço, a variabilidade das cidades expõe estes desconectores a cenários caracterizados por distintas combinações de temperatura máxima e umidade relativa compensada.

A Tabela 8 indica que, para os ambientes do banheiro e da área de serviço, foi verificado o rompimento do fecho hídrico em todas as cidades classificadas na categoria de umidade baixa (igual ou inferior a 55%), independentemente da categorização destas quanto à faixa de temperatura. Por outro lado, constatou-se a conservação da lâmina d'água em todas as cidades pertencentes à categoria de umidade alta (superior a 55%), independentemente de sua classificação quanto à faixa de temperatura. Logo, para o conjunto das cidades avaliadas neste estudo, associadas às faixas de temperatura e umidade previamente definidas, a normal climatológica da umidade relativa compensada apresentou maior influência no comportamento de conservação ou secagem dos fechos hídricos e, conseqüentemente, de atendimento às condições 1 e 3 apresentadas anteriormente. Esse comportamento corrobora o que foi apresentado por Graça (1985), que indicou que os desconectores apresentam comportamentos variados em função das condições climáticas locais.

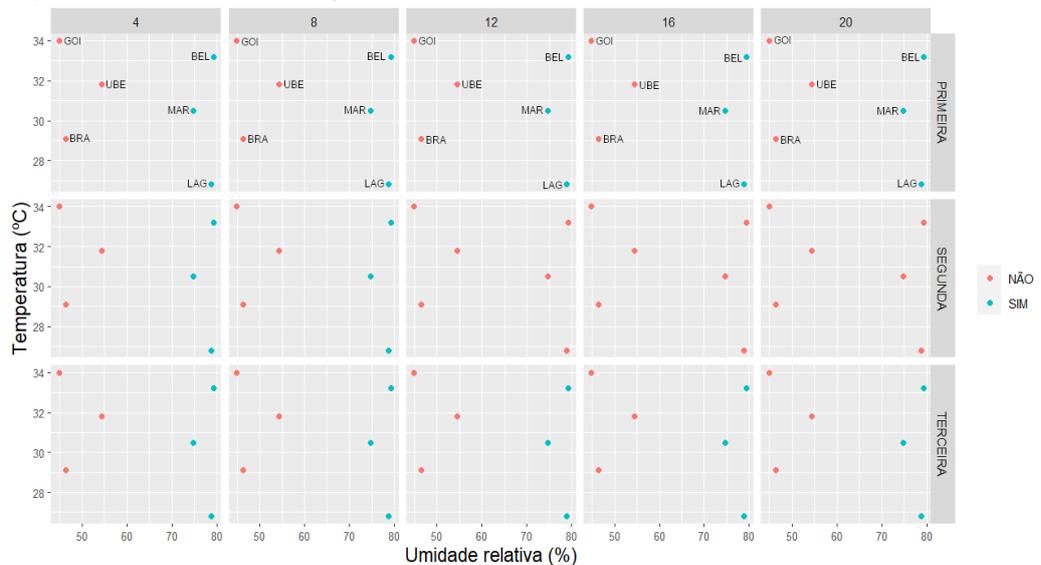
Para os ambientes estudados em uma mesma cidade e, portanto, submetidos a iguais condições de temperatura e umidade, a conservação do fecho hídrico apresentou melhores resultados na cozinha, quando comparados ao banheiro ou à área de serviço. A Tabela 8 evidencia que não houve ruptura do fecho hídrico, ocasionada por evaporação, na cozinha de nenhuma das cidades elencadas no estudo. Dada a não variação dos parâmetros climáticos, o melhor desempenho do fecho hídrico na cozinha justifica-se pelo modelo de desconector adotado (sifão tipo "S" flexível) em comparação ao desconector do banheiro e da área de serviço (caixa sifonada 150x150x50 mm com grelha). Conforme apresentado na Tabela 2, ainda que o sifão tipo "S" flexível possua fecho hídrico com altura menor do que o fecho hídrico da caixa sifonada, sua geometria resulta em um menor coeficiente de evaporação quando comparado ao mesmo parâmetro da caixa sifonada. Logo, o desconector da cozinha, embora dotado de menor lâmina d'água,

é menos suscetível ao fenômeno da evaporação e, portanto, apresenta menor perda de altura do fecho hídrico.

3.2 Suficiência do subsistema de ventilação primária no banheiro

A Figura 2 relaciona, para o ambiente sanitário do banheiro, todas as variáveis consideradas na análise de suficiência de ventilação primária adotadas neste estudo. No gráfico, os pontos vermelhos indicam relações de variáveis para as quais a suficiência do subsistema de ventilação primária não foi satisfeita; os pontos azuis demonstram combinações de variáveis que viabilizaram a adoção exclusiva do subsistema de ventilação primária.

Figura 2: Suficiência da ventilação primária no banheiro.



Depreende-se da análise gráfica que, para o ambiente sanitário do banheiro, as cidades de Brasília, Uberaba e Goiânia, pertencentes à categoria de “umidade baixa”, demandaram necessidade do subsistema de ventilação secundária, independentemente do número de pavimentos tipo da edificação considerada.

O não atendimento à primeira, segunda e terceira condições, para as cidades de Brasília, Uberaba e Goiânia, justifica-se pela excessiva perda de altura do fecho hídrico da caixa sifonada no banheiro, conforme apresentado na Tabela 8, resultando na secagem da lâmina d’água e consequente ruptura da proteção contra o retorno de odores. Verifica-se que os baixos valores de umidade relativa do ar, nestes cenários, prevaleceram sobre o parâmetro climático de temperatura, visto que houve a secagem do fecho hídrico no banheiro localizado em Brasília, cidade com temperatura máxima mensal inferior a 30°C e, portanto, categorizada na faixa de “temperatura baixa”.

As cidades de Lages, Maringá e Belém, inseridas na categoria de “umidade alta”, não apresentaram ruptura do fecho hídrico da caixa sifonada localizada no banheiro, segundo dados apresentados na Tabela 8. A conservação da lâmina d’água de proteção do desconector viabilizou, portanto, a validação da primeira e da terceira condições necessárias à suficiência do subsistema de ventilação primária, para qualquer uma das composições de pavimentos tipo sobrepostos. Notadamente, os elevados valores de umidade relativa do ar se sobrepuseram ante a variabilidade de temperaturas, assegurando a manutenção do fecho hídrico em Belém, cidade com temperatura máxima

mensal superior a 33°C.

A segunda condição necessária à suficiência de ventilação primária, nas cidades de Lages, Maringá e Belém, é atendida apenas nas edificações com 4 e 8 pavimentos tipo. A começar da edificação composta por 12 pavimentos tipo, as cidades mencionadas evidenciam a necessidade de adoção do subsistema de ventilação secundária. Embora nestas cidades os fechos hídricos se mantenham íntegros, a partir da consideração de 12 pavimentos tipo, o maior número de aparelhos sanitários (12 bacias sanitárias com caixa acoplada, 12 chuveiros e 12 lavatórios) resulta em um aumento considerável na vazão de esgoto sanitário, calculada conforme o método hidráulico preconizado pelo Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999), em direção ao tubo de queda do banheiro. Esse incremento na vazão de despejos acarreta, para um diâmetro nominal calculado para o tubo de queda, um aumento na vazão de ar no núcleo do tubo de queda, considerando o transporte de esgotos sanitários em regime de escoamento anular. O escoamento anular se caracteriza pelo fluxo de efluentes aderidos às faces internas da tubulação, enquanto que o ar flui por meio da região central da tubulação (Procópio, 2007).

O aumento do fluxo de ar no núcleo do tubo de queda potencializa o fenômeno da sifonagem induzida. Sendo que a sifonagem induzida é definida como a redução do fecho hídrico de um desconector provocada pelo escoamento de outros aparelhos sanitários que não estão diretamente conectados a este desconector (Swaffield, 2002). Portanto, o aumento progressivo da sucção causada pela sifonagem induzida eleva os valores de depressão no sistema, ultrapassando os limites admissíveis de depressão estabelecidos para os SPES. Este comportamento está alinhado com as conclusões do estudo de Fernandes e Gonçalves (2006), que também identificaram a suscetibilidade à ocorrência de sifonagem induzida para o banheiro em situações de aumento da vazão no tubo de queda. A Tabela 9 apresenta uma comparação entre os valores de depressão admissível e resultante de sifonagem induzida para as cidades de Lages, Maringá e Belém, evidenciando a intensificação da sifonagem induzida mediante o aumento do número de pavimentos tipo.

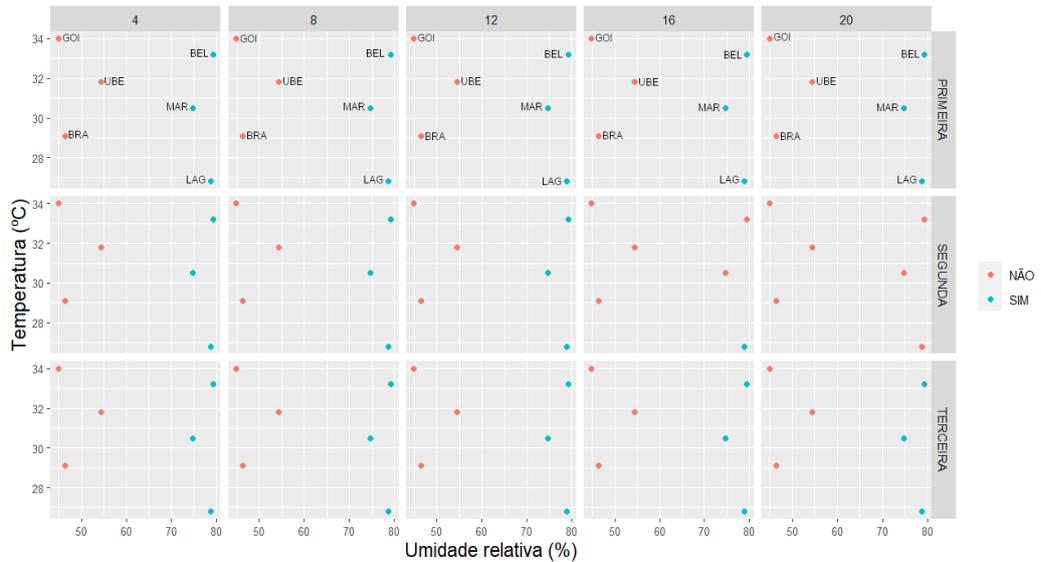
Tabela 9: Depressão no desconector do banheiro.

Cidade (UF)	D _{a,s} (Pa)	D _r (4 pvtos.) (Pa)	D _r (8 pvtos.) (Pa)	D _r (12 pvtos.) (Pa)	D _r (16 pvtos.) (Pa)	D _r (20 pvtos.) (Pa)
Lages (SC)	461,36	177,15	329,04	485,27	538,13	827,19
Maringá (PR)	331,48	177,15	329,04	485,27	538,13	827,19
Belém (PA)	352,91	177,15	329,04	485,27	538,13	827,19

3.3 Suficiência do subsistema de ventilação primária na área de serviço

A Figura 3 associa, para o ambiente sanitário da área de serviço, todas as variáveis selecionadas para a análise de suficiência de ventilação primária propostas neste estudo. É possível perceber grande semelhança de resultados entre os gráficos da Figura 2 da Figura 3. Isso decorre do fato de que, embora remetam a ambientes sanitários distintos, os desconectores utilizados em ambos os espaços são os mesmos. As variações de suficiência do subsistema de ventilação primária, entre os gráficos relacionados ao banheiro e à área de serviço, são observadas apenas nas edificações com tipologia de 12 e 16 pavimentos tipo.

Figura 3: Suficiência da ventilação primária na área de serviço.



Considerando que há igualdade entre as caixas sifonadas aplicadas no banheiro e na área de serviço, novamente são evidenciadas a não satisfação da primeira, da segunda e da terceira condições analisadas, para as cidades de Brasília, Uberaba e Goiânia. Reitera-se que nestes cenários o rompimento do fecho hídrico do desconector, indicado na Tabela 8, potencializado pelos valores reduzidos de umidade relativa compensada do ar inviabiliza o atendimento aos critérios analisados (perda de altura do fecho hídrico, depressão e sobrepressão nos SPES). Logo, para estas cidades mencionadas, o subsistema de ventilação secundária mostrou-se necessário independentemente da quantidade de pavimentos tipo da edificação.

Salientando a similaridade de resultados entre os ambientes do banheiro e da área de serviço, decorrente do uso do mesmo desconector, as cidades de Lages, Maringá e Belém satisfizeram a primeira e terceira condições para toda a variabilidade de número de pavimentos tipo. Conforme evidenciado pela Tabela 8, nestas cidades houve a preservação da lâmina d'água dos desconcentres, que embora tenham perdido altura por evaporação não incorreram em secagem do mecanismo protetor. Para esta combinação de variáveis, verificou-se uma vez mais a predominância da umidade relativa do ar, quando comparada às distintas faixas de temperatura das cidades anteriormente mencionadas, na definição dos cenários com viabilidade técnica para adoção do subsistema de ventilação primária.

Os resultados apresentados para a edificação de 16 pavimentos tipo, considerando as cidades pertencentes à faixa de umidade alta, indicam a adequação ao subsistema de ventilação primária apenas para a cidade de Lages. Esse comportamento decorre sobretudo da combinação de dois fatores. Primeiramente, a cidade de Lages se caracteriza por possuir, dentre as cidades elencadas para o estudo, a combinação de parâmetros climáticos mais favoráveis à dispensa de ventilação secundária. Estando categorizada nas faixas de temperatura baixa e umidade alta, há um favorecimento climatológico para a suficiência de ventilação primária. Dada a igualdade de vazões unitária e total da área de serviço para todas as cidades, é o conjunto de parâmetros climáticos favoráveis à ventilação primária que justifica a viabilidade desta solução em Lages e a inviabilidade desta nas cidades de Maringá e Belém, que possuem temperaturas intermediária e alta, respectivamente. Além disso, a vazão total (somatório das vazões

unitárias) dos aparelhos sanitários da área de serviço é menor do que a vazão total dos aparelhos sanitários do banheiro. Isso resulta em menor influência da vazão de despejos sanitários na intensificação da sifonagem induzida e, conseqüentemente, da depressão atuante nos SPES. A menor vazão total gerada na área de serviço, em comparação com a vazão total produzida no banheiro, justifica o fato de a cidade de Lages requerer ventilação secundária na área de serviço somente a partir de 20 pavimentos tipo, enquanto que no banheiro esta demanda surge já a partir da edificação com 16 pavimentos tipo, em um cenário caracterizado por igualdade nos parâmetros climáticos e de especificação técnica dos desconectores.

Para a edificação dotada de 20 pavimentos tipo e localizada nas cidades de Lages, Maringá e Belém, o não atendimento à segunda condição resulta da obtenção de valores de depressão no sistema superiores à depressão admissível para os SPES. Esse comportamento provém da elevada intensidade do fenômeno da sifonagem induzida, potencializada pela grande vazão de despejos sanitários provenientes do uso de 20 máquinas de lavar roupas e 20 tanques, o que gera alto fluxo descendente de despejos sanitários e de ar no interior do tubo de queda.

A Tabela 10 indica os valores de depressão admissível e resultante de sifonagem induzida para as cidades de Lages, Maringá e Belém, demonstrando a intensificação da sifonagem induzida progressivamente ao aumento do número de pavimentos. É possível observar a insatisfação da segunda condição, conforme Equação 2 (ABNT, 1999), a partir de 16 pavimentos (para as cidades de Maringá e Belém) e a partir de 20 pavimentos (para a cidade de Lages).

Tabela 10: Depressão no desconector da área de serviço.

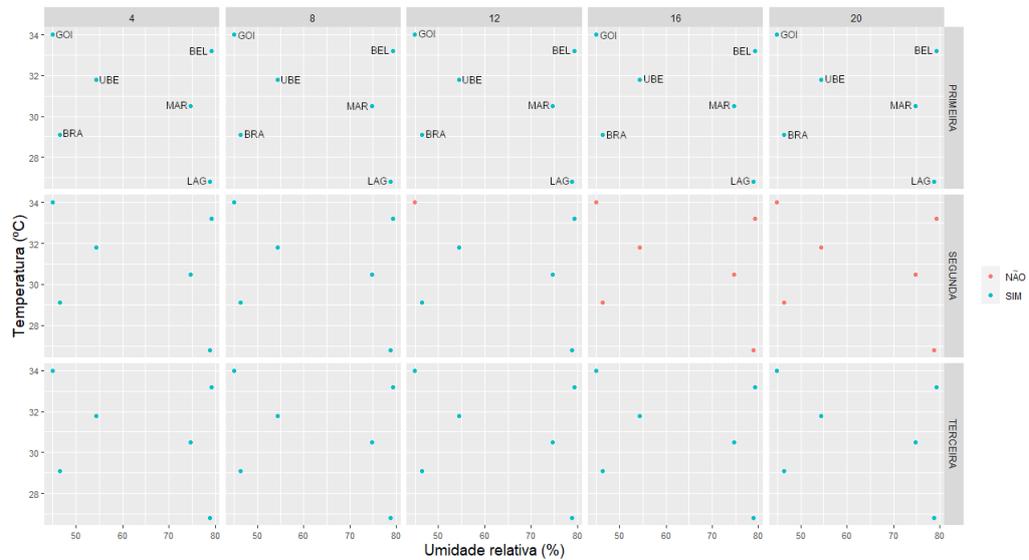
Cidade (UF)	D _{a,s} (Pa)	D _r (4 pvtos.) (Pa)	D _r (8 pvtos.) (Pa)	D _r (12 pvtos.) (Pa)	D _r (16 pvtos.) (Pa)	D _r (20 pvtos.) (Pa)
Lages (SC)	461,36	87,06	179,24	263,61	362,65	468,21
Maringá (PR)	331,48	87,06	179,24	263,61	362,65	468,21
Belém (PA)	352,91	87,06	179,24	263,61	362,65	468,21

3.4 Suficiência do subsistema de ventilação primária na cozinha

A Figura 4 traz, para o ambiente sanitário da cozinha, a correlação de todas as variáveis predefinidas para a avaliação da suficiência de ventilação primária. É possível perceber que há diferenças significativas entre os resultados obtidos para a cozinha, quando comparados àqueles registrados para os demais ambientes sanitários, o que se deve principalmente pela adoção de um modelo distinto de desconector. Verifica-se ainda que na cozinha a demanda pelo subsistema de ventilação secundária ocorre em menor quantidade, se comparado aos demais espaços analisados, surgindo esta necessidade apenas a partir da edificação dotada de 12 pavimentos tipo, e apenas para a cidade de Goiânia.

Conforme demonstrado na Tabela 8, não houve rompimento do fecho hídrico do sifão instalado na cozinha, para nenhuma tipologia de edificação e para nenhuma das cidades selecionadas para o estudo. A manutenção da lâmina d'água do desconector, ainda que exposta ao fenômeno da evaporação, justifica a validação, explicitada na Figura 4, da primeira e da terceira condições independentemente das variáveis analisadas (temperatura máxima mensal, umidade relativa do ar compensada e número de pavimentos tipo da edificação).

Figura 4: Suficiência da ventilação primária na cozinha.



Os dados consolidados para a edificação dotada de 12 pavimentos tipo apontam que, para a segunda condição analisada, a não satisfação quanto a este critério ocorre apenas para a cidade de Goiânia. Essa diferença de desempenho, quando comparado às demais cidades, ocorre devido ao fato de Goiânia deter a combinação de características climáticas menos favoráveis à aceitação do subsistema de ventilação primária. A cidade pertence às categorias de temperatura alta e umidade baixa, classificações estas que, individualmente, já geram maior propensão à necessidade de ventilação secundária. Considerando que em todas as edificações de 12 pavimentos tipo a vazão total de desejos sanitários é invariável para as diferentes cidades, é a combinação dos parâmetros climáticos de temperatura e umidade que deflagra, em Goiânia, a necessidade de ventilação secundária a partir dessa quantidade de pavimentos tipo sobrepostos.

A partir da edificação formada por 16 pavimentos tipo, o ambiente sanitário da cozinha exige ventilação secundária independentemente das faixas de temperatura e de umidade consideradas, o que é comprovado pelo não atendimento à segunda condição. Neste cenário, a contribuição de despejos sanitários oriunda de 16 pavimentos (16 pias e 16 máquinas de lavar louças) gera um valor elevado de vazão de esgoto no interior do tubo de queda, o que atrela uma vazão maior de ar pela região central da tubulação e a intensificação do fenômeno de sifonagem induzida. Assim sendo, a sucção atuante nos SPES atinge valores que excedem à depressão admissível do sistema, inviabilizando a solução técnica de prolongamento dos tubos de queda para viabilizar o controle de pressão no interior das tubulações.

A Tabela 11 expõe os valores de depressão admissível e resultante de sifonagem induzida para todas as cidades elencadas no estudo, evidenciando o aumento de valores, referentes à sifonagem induzida, progressivamente ao aumento do número de pavimentos. Baseando-se na Equação 2 (ABNT, 1999), é possível perceber a insatisfação do critério de depressão a partir de 12 pavimentos (para a cidade de Goiânia) e a partir de 16 pavimentos (para as demais cidades).

Tabela 11: Depressão no desconector da cozinha.

Cidade (UF)	D_{a,s} (Pa)	D_r (4 pvtos.) (Pa)	D_r (8 pvtos.) (Pa)	D_r (12 pvtos.) (Pa)	D_r (16 pvtos.) (Pa)	D_r (20 pvtos.) (Pa)
Lages (SC)	412,28	94,68	273,43	384,97	487,68	705,81
Brasília (DF)	412,28	94,68	273,43	384,97	487,68	705,81
Maringá (PR)	412,28	94,68	273,43	384,97	487,68	705,81
Uberaba (MG)	412,28	94,68	273,43	384,97	487,68	705,81
Belém (PA)	412,28	94,68	273,43	384,97	487,68	705,81
Goiânia (GO)	341,80	94,68	273,43	384,97	487,68	705,81

Nota-se que os valores de depressão admissível no sistema, para a cozinha, são iguais entre si, exceção feita ao resultado obtido para a cidade de Goiânia. Essa variação de valor registrada, em comparação às demais cidades, ocorre devido ao comportamento do fecho hídrico do sifão instalado na cozinha em Goiânia. Nesta, os parâmetros climáticos de temperatura alta e umidade baixa intensificam o fenômeno de perda de altura do fecho hídrico causada por evaporação, sendo esta redução da lâmina d'água mais intensa do que a provocada pela depressão inerente às especificações geométricas e técnicas do próprio desconector.

Nas demais cidades analisadas, a combinação menos desfavorável de parâmetros climáticos, quanto à suficiência de ventilação primária, faz com que a perda de altura do fecho hídrico causada por evaporação seja inferior àquela causada pela depressão associada ao modelo do desconector. Assim sendo, a depressão admissível no sistema é determinada com base exclusivamente nas características do desconector (diâmetros da entrada e saída e altura inicial do fecho hídrico). Deste modo, a igualdade do desconector para a cozinha, independente da cidade considerada, resulta na igualdade de resultados para a depressão admissível.

3.5 Demanda do subsistema de ventilação secundária

Para um determinado ambiente sanitário, pertencente a uma edificação com número específico de pavimentos tipo e localizado em uma cidade pré-definida, o não atendimento a uma ou mais condições necessárias à validação do subsistema de ventilação primária incorre na adoção do subsistema de ventilação secundária.

Deste modo, havendo a necessidade técnica quanto à previsão de sistemas sanitários com função específica de ventilação, o dimensionamento do subsistema de ventilação secundária independe da influência dos normais climatológicos. O Anexo D da NBR 8160 (ABNT, 1999) expõe os parâmetros considerados na determinação dos diâmetros nominais dos ramais e coluna de ventilação. Isento da interferência dos parâmetros de temperatura e umidade, o dimensionamento do subsistema de ventilação secundária depende da vazão de esgoto sanitário e de ar no interior do tubo de queda, do diâmetro do tubo de queda e do comprimento do tubo de queda (diretamente associado à altura da edificação e, portanto, ao número de pavimentos tipo).

A Tabela 12 apresenta o diâmetro nominal calculado para a coluna de ventilação e para o ramal de ventilação, considerando todos os cenários (combinação de parâmetros climáticos, altura da edificação e tipo de ambiente sanitário) em que a suficiência do subsistema de ventilação primária não foi obtida.

Tabela 12: Dimensionamento do subsistema de ventilação secundária (coluna de ventilação).

Cidade (UF)	Nº de pavimentos	Ambiente	Diâmetro da coluna de ventilação (mm)	Diâmetro do ramal de ventilação (mm)
Lages (SC)	12, 16 e 20	Banheiro	100	50
	16 e 20	Cozinha	75	50
	20	Área de serviço	75	50
Brasília (DF)	4 e 8	Banheiro	75	50
	4	Área de serviço	50	40
	8, 12, 16 e 20	Área de serviço	75	50
Maringá (PR)	12, 16 e 20	Banheiro	100	50
	16 e 20	Cozinha	75	50
	12, 16 e 20	Banheiro	100	50
	16 e 20	Área de serviço	75	50
	16 e 20	Cozinha	75	50
Uberaba (MG)	4 e 8	Banheiro	75	50
	4	Área de serviço	50	40
	8, 12, 16 e 20	Área de serviço	75	50
Belém (PA)	12, 16 e 20	Banheiro	100	50
	16 e 20	Cozinha	75	50
	12, 16 e 20	Banheiro	100	50
	16 e 20	Área de serviço	75	50
	16 e 20	Cozinha	75	50
Goiânia (GO)	4 e 8	Banheiro	75	50
	4	Área de serviço	50	40
	8, 12, 16 e 20	Área de serviço	75	50
	12, 16 e 20	Banheiro	100	50
	12, 16 e 20	Cozinha	75	50

Perante os dados apresentados na Tabela 12, verifica-se para o ambiente sanitário do banheiro, em que a demanda pelo subsistema de ventilação secundária surge a partir da edificação com 4 pavimentos tipo, que o diâmetro nominal da coluna de ventilação variou no intervalo de 75 mm a 100 mm. Até a edificação dotada de 8 pavimentos tipo, a vazão de despejos sanitários e de ar escoando através do tubo de queda resultou na determinação do diâmetro nominal de 75 mm para a coluna de ventilação. A partir da edificação com 12 pavimentos tipo, os acréscimos nas vazões de esgoto e de ar, somados ao aumento de altura da edificação, demandaram ajustes no dimensionamento da coluna de ventilação, que passou a apresentar diâmetro nominal de 100 mm.

Dentre todas as colunas de ventilação dimensionadas, aquelas associadas à área de serviço para a edificação de 4 pavimentos tipo (independentemente da cidade) apresentaram o menor diâmetro nominal, igual a 50 mm. Este menor valor de diâmetro nominal justifica-se pela reduzida vazão total dos aparelhos sanitários da área de serviço, em comparação com a vazão total do banheiro, associada à menor tipologia de edificação quanto ao número de pavimentos tipo. A partir da edificação de 8 pavimentos tipo, a área de serviço possui coluna de ventilação com diâmetro nominal de 75 mm, diâmetro este mantido até a edificação de 20 pavimentos.

Dada a igualdade de vazão total entre os ambientes sanitários da cozinha e da área de serviço, o diâmetro nominal das colunas de ventilação calculadas para a cozinha foi igual ao das colunas previstas para a área de serviço. Ressalta-se apenas que, sendo um ambiente mais propício à suficiência do subsistema de ventilação primária (dados os parâmetros mais favoráveis, a este fim, do sifão tipo S flexível em comparação à caixa

sifonada), a necessidade de colunas de ventilação na cozinha se manifesta apenas a partir da edificação de 12 pavimentos tipo, enquanto que na área de serviço o subsistema de ventilação secundária é requerido já a partir da edificação de 4 pavimentos tipo.

Diante dos resultados obtidos, mesmo em edificações com menor número de pavimentos, constatou-se, em alguns casos, a necessidade de utilizar o subsistema de ventilação secundária. Essa necessidade difere, em certa medida, dos achados de Fernandes e Gonçalves (2002), que concluíram que em edifícios com até 8 pavimentos, utilizando sifões do tipo copo e tubos de queda de 75 mm, a ventilação primária era suficiente para ambientes como cozinha e área de serviço. No entanto, as diferenças observadas no presente estudo podem ser atribuídas à amplitude da análise realizada, que considerou fatores adicionais, como variações nas condições climáticas (temperatura e umidade) e a diversidade no número de pavimentos. Esses fatores influenciaram diretamente o comportamento dos sistemas de esgoto, especialmente no dimensionamento das colunas de ventilação, sobretudo em edifícios mais altos ou situados em condições climáticas mais adversas (temperaturas mais elevadas e umidades relativas do ar mais baixas).

4 Conclusão

O adequado desempenho do subsistema de coleta e transporte de esgoto sanitário condiciona-se ao adequado dimensionamento do subsistema de ventilação. Seja este subsistema de ventilação definido como primário ou secundário, é fundamental a presença de solução técnica que garanta o controle de pressões no interior das tubulações e a manutenção dos fechos hídricos dos desconectores. Desta forma, são mitigados episódios de retorno de maus odores, resultantes da decomposição dos despejos sanitários, por meio dos aparelhos sanitários.

Mediante as análises propostas neste estudo, verificou-se que a definição do subsistema de ventilação mais adequado ao funcionamento dos SPES depende de todo o conjunto de variáveis previamente estabelecidas. No que concerne à influência exercida pelos parâmetros climáticos considerados (temperatura máxima mensal e umidade relativa do ar compensada mensal), verificou-se, para o conjunto de fatores analisados simultaneamente, a preponderância da umidade, em comparação à temperatura, como fator determinante na validação do subsistema de ventilação primária. Avaliados isoladamente, valores baixos de umidade relativa (inferiores a 55%) foram mais relevantes do que valores altos de temperatura (iguais ou superiores a 33°C) na demanda por ventilação secundária, considerando estas condições como menos favoráveis à aceitação do subsistema de ventilação primária.

Dada a simplificação da primeira e da terceira condições necessárias à suficiência do subsistema de ventilação primária, a manutenção do fecho hídrico dos desconectores foi essencial para a validação desses dois critérios. A atuação do fenômeno de evaporação, definida pelo conjunto das características climáticas do local analisado, pode ser potencializada pelas especificações geométricas e técnicas dos desconectores, fato que pode resultar na ruptura do fecho hídrico. A secagem da lâmina d'água que atua como barreira contra o retorno de odores, oriundos dos SPES, levou ao não atendimento das premissas necessárias à adoção do subsistema de ventilação primária.

A segunda condição necessária à determinação de suficiência do subsistema de

ventilação primária apresentou influência significativa da altura da edificação, analisada em relação ao número de pavimentos tipo. Evidenciou-se que, quanto maior o número de pavimentos tipo, maiores são as quantidades de aparelhos sanitários geradores de resíduos, resultando em progressivos incrementos de vazão no interior dos tubos de queda. O aumento das vazões de esgoto, e de ar, nos SPES potencializou a depressão atuante nos desconectores provocada por sifonagem induzida, tornando a manutenção dos fechos hídricos, apenas com o subsistema de ventilação primária, menos provável concomitantemente ao aumento do número de pavimentos tipo.

As avaliações realizadas nos ambientes sanitários estudados demonstraram similaridade de resultados entre os espaços do banheiro e da área de serviço. Esse comportamento justificou-se pela igualdade entre os desconectores selecionados para ambos os ambientes, fazendo com que as variações de resultados percebidas decorressem, sobretudo, da diferença entre as vazões totais de esgoto sanitário do banheiro e da área de serviço. Os resultados obtidos para a análise da cozinha distinguiram-se daqueles determinados para os demais ambientes, diferenças estas consequentes principalmente do modelo do desconector, dotado de especificações mais favoráveis à suficiência do subsistema de ventilação primária.

A inviabilidade do subsistema de ventilação primária preconiza a adoção de ventilação secundária. Nos cenários em que esta se fez necessária, o dimensionamento da coluna de ventilação demonstrou não ser influenciado diretamente pelos parâmetros climáticos do local considerado. Nestes casos, a determinação do diâmetro nominal das colunas de ventilação refletiu, sobretudo, as influências da vazão de rejeitos sanitários no interior dos tubos de queda e da altura da edificação. Assim, foram observados diâmetros nominais cujos valores cresceram mediante o aumento de peças sanitárias consideradas e, por conseguinte, de pavimentos tipo da edificação.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomendam-se avaliações que tragam maior variabilidade aos cenários analisados. Essas variações podem decorrer de considerações sobre layouts de ambientes sanitários dotados de maior quantidade e/ou tipos de aparelhos sanitários, bem como avaliações de edificações que possuam mais de um conjunto de ambientes sanitários por pavimento. Também podem ser avaliados cenários de locais caracterizados não apenas por valores pontuais de temperatura e umidade, mas sim por intervalos de valores mais abrangentes, executando avaliações estatísticas que permitam definir faixas de valores específicas a partir das quais seja possível, a nível de projeto, definir o subsistema de ventilação mais adequado. Adicionalmente, são recomendadas análises futuras que busquem correlacionar os diâmetros nominais das tubulações dos sistemas de coleta e transporte de esgoto sanitário com os diâmetros nominais das tubulações do subsistema de ventilação secundária, visando avaliar se há influência ou interdependência entre esses componentes que possa resultar em otimização de desempenho dos sistemas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999. 74 p.

- BOGO, A. B.; HENNING, E.; KALBUSCH, A. Monitoramento do consumo de água: uma revisão narrativa. **Paranoá**, v. 34, Edição Temática Água e Mudanças Climáticas, 2023. DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.18>.
- FERNANDES, V. M. C.; GONÇALVES, O. M. Análise do uso de válvulas de admissão de ar nos sistemas de esgotos sanitários brasileiro, In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 4, 2002, Porto Alegre. **Anais. Antac 2002**, Porto Alegre: 2002. p. 1926.
- FERNANDES, V.M.C.; GONÇALVES, O.M. Condições-limite para utilização do sistema de tubo de queda único nos sistemas prediais de coleta de esgoto sanitário residencial. In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 6, 2006, Porto Alegre. **Anais. Antac 2006**. Porto Alegre, 2006. p. 07-18.
- FORESTI, E.; BLUNDI, C.E. **Instalações prediais de esgotos sanitários**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: USP, 1980.
- GRAÇA, M.E.A. **Formulação de modelo para avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária em sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários**. 1985. 384 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 27 jan. 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1991 – 2020**. Brasília: INMET, 2022a. 27 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília: INMET, 2022b. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 27 jan. 2024.
- KINNEY, J.; STEVEN, R. **Effects of wet gas flow on gas orifice plate meters**. Engineering Experiment Station, Inc. Colorado, 2012.
- MONTENEGRO, M.H. **Desempenho de desconectores e dimensionamento das instalações prediais de esgoto**. 1985. 257 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.
- MORAIS, L. S. R.; FIORAMONTE, B.; LEITE, R. K.; PAULA, H. M.; REIS, R. P. A. Dimensionamento de sistemas prediais de distribuição de água: um estudo bibliográfico. **Paranoá**, v. 34, Edição Temática Água e Mudanças Climáticas, 2023. DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.05>.
- PROCÓPIO, N.L. **Verificação e quantificação em escala de bancada de testes do volume de ar medido em ligações prediais**. 2007. 126 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- RODRIGUES, R. **Desconectores nas instalações prediais de esgoto: uma avaliação crítica das especificações técnicas**. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.

FIORAMONTE, B; NETO, D. F. S.; REIS, R. P. A.

Determinação dos subsistemas de ventilação dos sistemas prediais de esgoto sanitário em edifícios multipavimentos

SWAFFIELD, J. **Transient Airflow in Building Drainage Systems**. 1º Ed. Tayloy & Francis. ISBN: 0-203-87975-9. 2010. 359 p.

WISE, A. F. E.; SWAFFIELD, J. A. **Water, Sanitary and Waste Services for Buildings**. 5º Ed. Butterworth Heinemann – Elsevier Science. Woburn, MA. ISBN: 0 7506 5255 1. 2002. 269p.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman. Porto Alegre. 5 ed. 2015.