

ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE UMIDADE  
EM AMBIENTES DE PISCINA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

Mateus Coimbra Gus – mcoimbragus@gmail.com

Eduardo Gus Brofman – eduardo@b2p Engenharia.com.br

Thiago da Rosa Secco – thiago.secco@puhrs.br

Marcelo Maciel de Santa Helena – marcelo.santahelena@puhrs.br

F3 – Cálculo, Projeto e Simulação Termo Energética

**Resumo:** Este estudo consiste na modelagem de um ambiente de piscina aquecida com o objetivo de detalhar e aprofundar a compreensão a respeito do funcionamento de diferentes estratégias de controle de umidade para este tipo de ambiente. Utilizou-se o software Energy Plus para a modelagem da edificação e dos sistemas. As estratégias estudadas foram o controle indireto de umidade por diluição com ar externo e o controle direto de umidade por serpentina fria. Definiu-se 6 tipologias de dias para avaliação detalhada: dias tipicamente de verão, de meia estação e de inverno. Para cada estação, estudou-se um dia seco e um dia úmido do arquivo climático de Porto Alegre (RS). Avaliou-se parâmetros de UR (umidade relativa), To (temperatura de orvalho) e TBS (temperatura de bulbo seco) do ambiente interno e do ar externo. A estratégia de controle indireto de umidade por diluição com ar externo garantiu a condição de UR em 86% e de condições combinada (UR e TBS) em 71% das horas de operação do sistema no ano. A estratégia de controle direto de umidade por serpentina de resfriamento garantiu as condições de controle de UR em 98% e de condições combinadas em 95% das horas de operação do sistema no ano. A estratégia de controle indireto de umidade por diluição com ar externo mostrou-se satisfatória. A estratégia de controle direto de umidade por serpentina fria mostrou-se a mais adequada, propiciando condições ambientais mais saudáveis para os ocupantes e para a integridade da edificação.

**Palavras-chave:** Desumidificação de piscinas, Controle de umidade, QAI de piscinas, Simulação energética

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Qualidade do ar interno em ambientes de piscina

Os ambientes de piscinas térmicas possuem atmosfera com condições críticas devido à umidade e substâncias corrosivas provenientes do tratamento e da evaporação da água. Esta condição deve ser controlada para propiciar um ambiente seguro para os ocupantes e para a edificação.

Segundo Sterling EM et al. (1985), existe uma zona ótima de UR (umidade relativa) que combina uma redução entre efeitos nocivos de umidades relativas altas e baixas. Uma condição de UR superior a 60% é favorável para a proliferação de bactérias, vírus, fungos e ácaros e para o desenvolvimento de rinites alérgicas e asma. Além disso, favorece interações químicas entre compostos presentes no ar e aumenta a penetração da umidade nas superfícies da edificação. Uma condição de UR inferior a 40% é favorável para a proliferação de bactérias e vírus e para o desenvolvimento de rinites alérgicas e asma, além de favorecerem a produção de ozônio no ar, composto tóxico em grandes concentrações. Para evitar-se riscos para a saúde de ocupantes, além de sensações de abafamento, odores desagradáveis, secura e desconforto, deve-se controlar a UR em ambientes de piscina térmica entre 40 e 60%. Além disso, estas condições reduzem a deterioração das paredes, piso e teto da edificação. Segundo Guarnieri et al. (2023), a importância do controle de UR é subestimada enquanto parâmetro de controle de qualidade do ar interno.

A temperatura de bulbo seco do ambiente deve propiciar conforto térmico para os ocupantes. Por isso, não pode ser muito baixa (sensação de frio para ocupantes com roupas de banho), muito alta (sensação de calor) nem muito inferior à temperatura da água da piscina (choque térmico ao sair da água).

De acordo com Lochner (2017), a maior parte dos métodos para a realização do tratamento da água da piscina utiliza produtos com Cloro. Ao entrar em contato com matéria orgânica, ocorre a formação de compostos orgânicos nocivos à saúde humana e à integridade da edificação. Segundo Baxter (2012), o vapor de cloramina é o subproduto deste processo considerado como o maior responsável por problemas respiratórios e de pele associados a ambientes de piscinas. Para controlar a concentração destes compostos em níveis seguros, deve-se realizar exaustão (remoção do ar com maior concentração de subprodutos do tratamento da água) e renovação de ar (diluição da concentração através do ar externo livre destes compostos) dos ambientes de piscinas.

## 1.2 Estratégias de controle de umidade

Existem diversas estratégias para realizar a climatização do ar de ambientes com piscina, mas nem todas garantem controle direto de temperatura e umidade. Abaixo as estratégias atualmente mais empregadas pelo mercado para controle de umidade de ambientes com piscina:

- a) Controle indireto de umidade através da captação de ar externo pelo sistema de climatização:  
Quando o ar externo possui conteúdo de umidade inferior ao conteúdo de umidade do ambiente interno, esta estratégia permite a redução do conteúdo de umidade. No entanto, em condições inversas, não é possível realizar o controle de umidade do ambiente. Além disso, a diluição depende da vazão de ar externo, que deve ser variável para melhor controle e eficiência energética. Este sistema deve contar com serpentina quente, possibilitando controle de temperatura no modo aquecimento. Em dias com temperaturas externas acima do setpoint de temperatura interna, ou com carga térmica que eleve o ar interno a temperaturas muito altas, o sistema não garante a condição de controle de temperatura.
- b) Controle direto de umidade com serpentina fria:  
Remoção de umidade por condensação quando o ar de retorno do sistema de climatização entra em contato com a serpentina fria, que possui temperatura inferior ao ponto de orvalho do ar. Esta serpentina pode ser com fluido frigorífico (sistema do tipo expansão direta) ou com água gelada (chillers). O sistema deve contar com serpentina de reaquecimento, para elevação da temperatura do ar. Se corretamente dimensionado, este sistema garante o controle de umidade e temperatura do ar interno em todas as condições climáticas.
- c) Controle direto de umidade com uso de roda dessecante:  
Roda composta por elemento dessecante que, em contato com o ar úmido, remove umidade. O giro da roda leva a porção que removeu a umidade para outro fluxo de ar, que restaura o elemento dessecante (remove a umidade). Este segundo fluxo de ar é rejeitado para o ambiente externo.

A Tab. 1 apresenta as vantagens e desvantagens dos conceitos descritos:

Tabela 1. Vantagens e desvantagens de diferentes estratégias de controle de umidade de ambientes internos

Estratégia	Vantagens	Desvantagens
(a) Controle indireto por diluição com ar externo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema mais simples. Não há necessidade de produção de frio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controle indireto de UR. Risco de não atender o setpoint de UR em todas as condições climáticas;</li> <li>Controle de temperatura apenas em modo aquecimento. Risco de temperaturas acima do setpoint de TBS em dias de alta carga térmica.</li> </ul>
(b) Controle direto por serpentina fria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controle direto de UR e TBS;</li> <li>Sempre garante as condições de projeto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema mais complexo;</li> <li>Maior investimento inicial;</li> <li>Necessidade de mais espaço físico.</li> </ul>
(c) Controle direto por roda dessecante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controle direto de UR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Não controla TBS em modo resfriamento nem aquecimento.</li> </ul>

Além dos parâmetros apresentados como vantagens e desvantagens, é pertinente avaliar-se aspectos como custo operacional e impacto ambiental, na escolha da estratégia mais adequada para cada aplicação, edificação e clima.

## 1.3 Objetivos

Este estudo buscou detalhar o funcionamento de diferentes estratégias de controle de umidade em ambientes de piscina térmica. O objetivo deste trabalho é aprofundar a compreensão a respeito da evolução dos parâmetros de controle dos ambientes (temperatura e umidade) com cada tipo de sistema. Através da simulação termoenergética, foi possível avaliar a operação ao longo do ano inteiro, e não apenas nos dias críticos, como normalmente é realizado o dimensionamento dos sistemas.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1 Simulação termoenergética

O estudo é baseado em resultados de simulações termo energéticas. Essas são capazes de mostrar o consumo de energia, desempenho térmico e diversos parâmetros de conforto, como temperatura e UR do ar, variando diferentes parâmetros da edificação. Utilizou-se dados fornecidos pela equipe de operação do sistema para calibração do modelo termo energético, buscando aproximar os resultados simulados com o comportamento real da edificação.

O software de simulação utilizado foi o EnergyPlus (EP), um dos softwares mais utilizados e completos dentro do universo da simulação computacional de desempenho termo energético de edificações. É um software desenvolvido pelo Department of Energy (DOE) americano. O EP possui uma extensa biblioteca, com modelos para simulação de diversos fenômenos físicos e tipos de sistemas.

O desempenho termoenergético da edificação foi mensurado através do consumo de energia em uma operação anual e da avaliação qualitativa de parâmetros de controle ao longo de dias com diferentes condições. O arquivo climático utilizado é de Porto Alegre, RS, com dados básicos registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia entre 2001 e 2010 e disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE/ UFSC).

## 2.2 O estudo de caso

Os ambientes e sistema estudados estão localizados no prédio 81 do Parque Esportivo da PUCRS (Pontifícia Universidade Católica do RS), em Porto Alegre, RS, Brasil. São 3 piscinas aquecidas e climatizadas e uma CAQ (central de água quente). A CAQ possui 4 caldeiras a GN (gás natural), com capacidade total de 2092 kW, e atende o aquecimento de piscina, a calefação do ar dos ambientes das piscinas e o aquecimento de água para consumo (banhos e torneiras). A CAQ possui um circuito primário, com bombeamento dedicado por caldeira, e 7 circuitos secundários, que se comunicam com o primário por trocadores de placas. Cada trocador de placas possui uma bomba dedicada. O sistema possui 6 fancoils com serpentina de aquecimento (água quente) para climatizar os ambientes das piscinas

Avaliou-se o comportamento do ambiente da piscina olímpica, responsável por 63% do consumo de GN da CAQ (entre aquecimento de água e calefação). Cada uma das piscinas menores é responsável por 12% do consumo anual de GN da CAQ e o aquecimento de água para consumo é responsável por 13% do consumo anual de GN da CAQ.

O sistema de aquecimento de água e climatização da piscina é operante nos dias e horários abaixo:

Domingo:	das 21:00 às 23:59;
Segundas:	das 00:00 às 23:00;
De terça a sexta:	das 05:00 às 23:00;
Sábados:	das 05:00 às 13:15.

Os parâmetros de controle da piscina (setpoint) olímpica estão descritos abaixo:

TBS (temperatura de bulbo seco):	27 °C /29 °C (modo aquecimento/resfriamento)
UR (umidade relativa):	65% (com deadband de 5%)
Tágua (temperatura da água):	29 °C

Este estudo realizou uma comparação entre as estratégias de controle de umidade (a) e (b) descritos na seção 1.2, em um sistema real que atualmente opera utilizando a estratégia (a). Não se avaliou a estratégia (c) por uma limitação de espaço na casa de máquinas de fancoils (ou em outros espaços disponíveis no local).

Este estudo comparou dois cenários. O cenário A (CNA) consiste na modelagem da edificação e do sistema conforme o projeto e operação existentes, com desumidificação do ar dos ambientes das piscinas através da mistura com ar externo. O cenário B (CNB) propõe uma alteração no sistema de controle de umidade, utilizando serpentina fria com água gelada nos fancoils. Os cenários estão descritos a seguir.

### **Cenário A (CNA)**

Controle de umidade dos ambientes utiliza um sistema de dampers para regulagem do ar externo e retorno. A vazão de insuflamento é constante e a vazão de ar externo varia de 33% a 100% da vazão de insuflamento. A atuação proporcional dos dampers é função da UR do ambiente interno, sendo controlada entre 60% e 70% de UR. Quando a UR é inferior a 60%, a vazão de ar externo é mínima (33% da vazão total) e quando a UR é superior a 70%, a vazão de ar externo é máxima (100% da vazão total).

Utilizou-se o objeto *SwimmingPool:Indoor* no EP para modelagem das piscinas. O comportamento dos dampers foi modelado através do parâmetro *HighHumidityControl* no controle de ar externo dos fancoils.

### **Cenário B (CNB)**

A estratégia de controle de umidade consiste no uso de serpentina fria, removendo a umidade do ar por condensação dentro dos fancoils. O sistema possui serpentina de reaquecimento, para elevação da temperatura do ar após a desumidificação. A serpentina quente também realiza o controle de temperatura no modo aquecimento, mesmo em dias sem necessidade de remoção de umidade. A água gelada é produzida na CAG (central de água gelada), que fica na cobertura do prédio 81. A vazão de ar externo é fixada na vazão mínima, de 33% da vazão total.

## 2.3 Tipologias de dias

Definiu-se 6 tipologias de dias para avaliação detalhada. São dias tipicamente de verão, de meia estação e de inverno. Para cada estação, um dia seco e um dia úmido. Todos os dias típicos são dias de semana, quando a piscina está aberta para o público e os sistemas de aquecimento e desumidificação habilitados. Os dias selecionados são apresentados abaixo:

Dia 1	Dia de verão úmido	27/01 (sexta-feira)
-------	--------------------	---------------------

Dia 2	Dia de verão seco	03/02 (sexta-feira)
Dia 3	Dia de meia estação úmido	24/04 (segunda-feira)
Dia 4	Dia de meia estação seco	30/03 (quinta-feira)
Dia 5	Dia de inverno úmido	10/07 (segunda-feira)
Dia 6	Dia de inverno seco	13/06 (terça-feira)

O gráfico da Fig. 1 mostra a evolução da TBS, To e UR do ar externo ao longo do ano do arquivo climático. As linhas verticais tracejadas indicam os 6 dias selecionados.

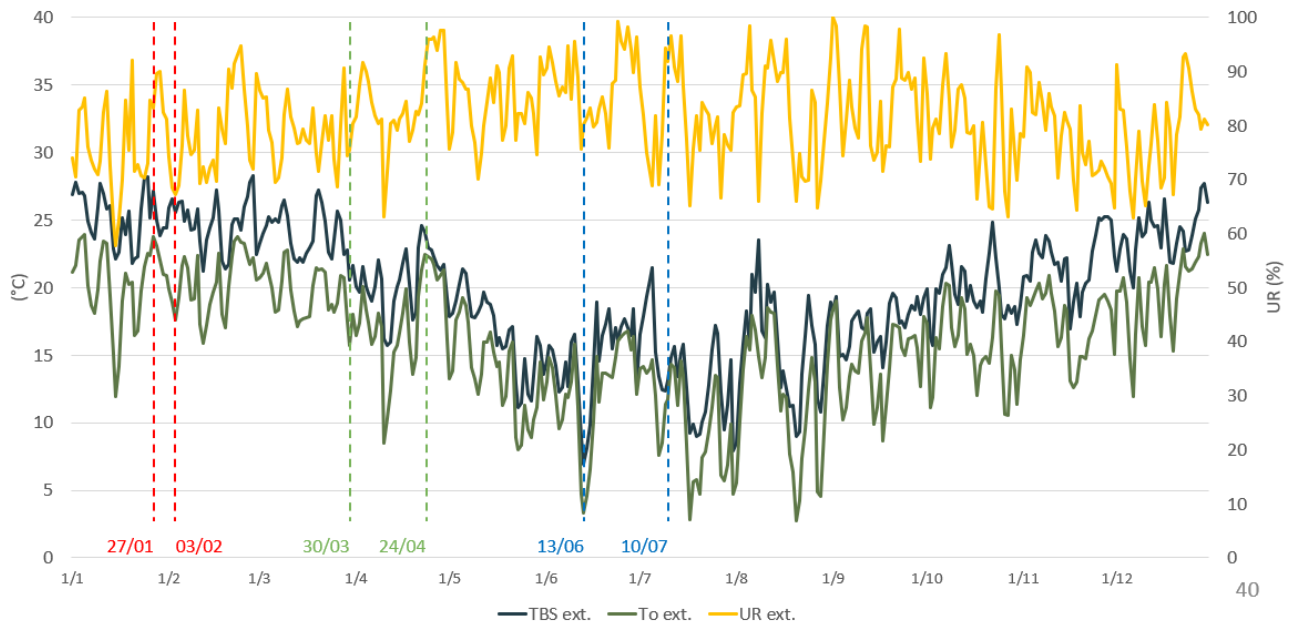


Figura 1. Evolução anual da TBS, To e UR do ar externo (arquivo climático de POA/RS) e dias típicos estudados

## 2.4 Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados em cada dia são descritos abaixo:

- **TBS Piscina Olímpica:** temperatura de bulbo seco do ambiente da piscina olímpica. No CNA, o Fancoil que climatiza o ar do ambiente da piscina não possui resfriamento. Portanto, a temperatura evolui livremente para valores acima do setpoint. O sistema não permite que o ar atinja temperaturas inferiores ao setpoint, utilizando calefação. No CNB, a TBS é controlada para permanecer no setpoint em modo aquecimento e resfriamento;
- **Orvalho Piscina Olímpica:** temperatura de ponto de orvalho no ambiente da piscina olímpica;
- **UR Pisc. Olímpica:** umidade relativa no ambiente da piscina olímpica. No CNA, quando este valor está acima do setpoint e o sistema está em operação (disponível), os atuadores dos dampers de retorno vão para a posição de maior fechamento possível e os dampers de ar externo vão para a posição de maior abertura. No CNB, quando este valor está acima do setpoint e o sistema está em operação (disponível), a umidade é removida pela serpentina de água gelada;
- **Setpoint UR:** setpoint de umidade relativa utilizado no controle dos fancoils do ambiente da piscina (65%);
- **TBS Ar Externo:** temperatura de bulbo seco do ambiente exterior;
- **Orvalho Ar Externo:** temperatura de ponto de orvalho do ambiente exterior. O ponto de orvalho possui o mesmo comportamento do conteúdo de umidade. Para a apresentação do conteúdo de umidade seria necessário criar uma terceira escala no gráfico, dificultando a leitura. Por este motivo, utilizou-se a temperatura de orvalho como indicador do conteúdo de umidade do ar externo e interno.
- **Schedule de Operação da Piscina Olímpica:** Valor binário (0 ou 1). Quando vale 0, o sistema de climatização da piscina está inoperante/indisponível. Quando vale 1, o sistema está operante/disponível;
- **Humidity Control FC Piscina Olímpica:** Parâmetro utilizado apenas no CNA. Status do controle de umidade do sistema, que opera através da regulagem de ar externo e retorno dos fancoils. Quando vale 0, o sistema reconhece que a UR do ambiente está adequada (abaixo do setpoint). Quando vale 1, o sistema passa a operar com 100% de ar externo. Em alguns pontos do gráfico, o valor de 0,5 indica a média dentro do intervalo de simulação (timestep). O CNB possui vazão de ar externo constante e por isso este parâmetro não é utilizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Dia 1



Figura 2. Evolução dos parâmetros do dia de verão úmido para o CNA (esquerda) e para o CNB (direita)

Observa-se na Fig. 2 que no CNA o sistema opera com 100% de ar externo desde o momento em que é ligado, até o final da manhã. Neste dia, o conteúdo de umidade do ar externo é alto demais para reduzir o conteúdo de umidade interno. Pode-se observar que o comportamento da  $TBS_{int}$  acompanha a  $TBS_{ext}$ . Isto ocorre devido à alta vazão de ar externo do sistema. A partir das 14h, com o aumento da  $TBS_{ext}$  e conteúdo de umidade praticamente constante, ocorre a redução da  $UR_{int}$ . Como efeito indesejado, a  $TBS_{int}$  também se elevou, atingindo temperatura máxima de 32,7°C e se mantendo superior a 29°C durante 9 horas.

Já no CNB, a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  foram mantidas dentro do intervalo de controle em todo o período de operação.

#### 3.2 Dia 2



Figura 3. Evolução dos parâmetros do dia de verão seco para o CNA (esquerda) e para o CNB (direita)

Observa-se que no CNA o sistema modula a vazão de ar externo ao longo da manhã. Já à tarde, a vazão de ar externo é mínima (33%). A  $UR_{int}$  se mantém abaixo do setpoint ao longo de todo o dia. Uma das razões para tanto é a  $To_{ext}$ , que não ultrapassa os 20°C. Já no dia 1, a  $To_{ext}$  média é de 23,7°C. Também se observa que a  $TBS_{int}$  permanece acima de 29°C por 12h, atingindo 34,2 °C em seu pico, das 16h às 17h.

Já no CNB, a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  foram mantidas dentro do intervalo de controle em todo o período de operação.

### 3.3 Dia 3



Figura 4. Evolução dos parâmetros do dia de meia estação úmido para o CNA (esquerda) e para o CNB (direita)

Observa-se que no CNA o sistema opera com 100% de ar externo em todo o período de operação do sistema. Neste dia, o conteúdo de umidade do ar externo é alto demais para reduzir o conteúdo de umidade interno. A  $UR_{int}$  permanece acima do setpoint (65%) ao longo do dia inteiro. Já a  $TBS_{int}$  se manteve abaixo de 30°C ao longo de todo o dia.

Já no CNB, a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  foram mantidas dentro do intervalo de controle em todo o período de operação.

### 3.4 Dia 4



Figura 5. Evolução dos parâmetros do dia de meia estação seco para o CNA (esquerda) e para o CNB (direita)

Observa-se que no CNA a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  ficaram dentro do intervalo de controle em todo o tempo de operação do sistema. No período da manhã, o sistema operou com 100% de ar externo ao longo de 6 horas.

No CNB, a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  também ficaram dentro do intervalo de controle em todo o período de operação.

### 3.5 Dia 5



Figura 6.- Evolução dos parâmetros do dia de inverno úmido para o CNA (esquerda) e para o CNB (direita)

Neste dia, tanto para o CNA quanto para o CNB, a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  ficaram dentro do intervalo de controle em todo o período de operação. Em ambos os cenários, o sistema operou com vazão mínima de ar externo o dia inteiro.

As curvas de  $TBS_{int}$  e  $UR_{int}$  são muito similares em ambos os cenários. Isto ocorre porque nestes dias o sistema só operou em modo aquecimento, sem necessidade de resfriamento ou desumidificação. O modo aquecimento dos dois cenários opera da mesma forma. Além disso, a vazão de ar externo foi a mesma em ambos os cenários ao longo de todo o período de operação.

### 3.6 Dia 6

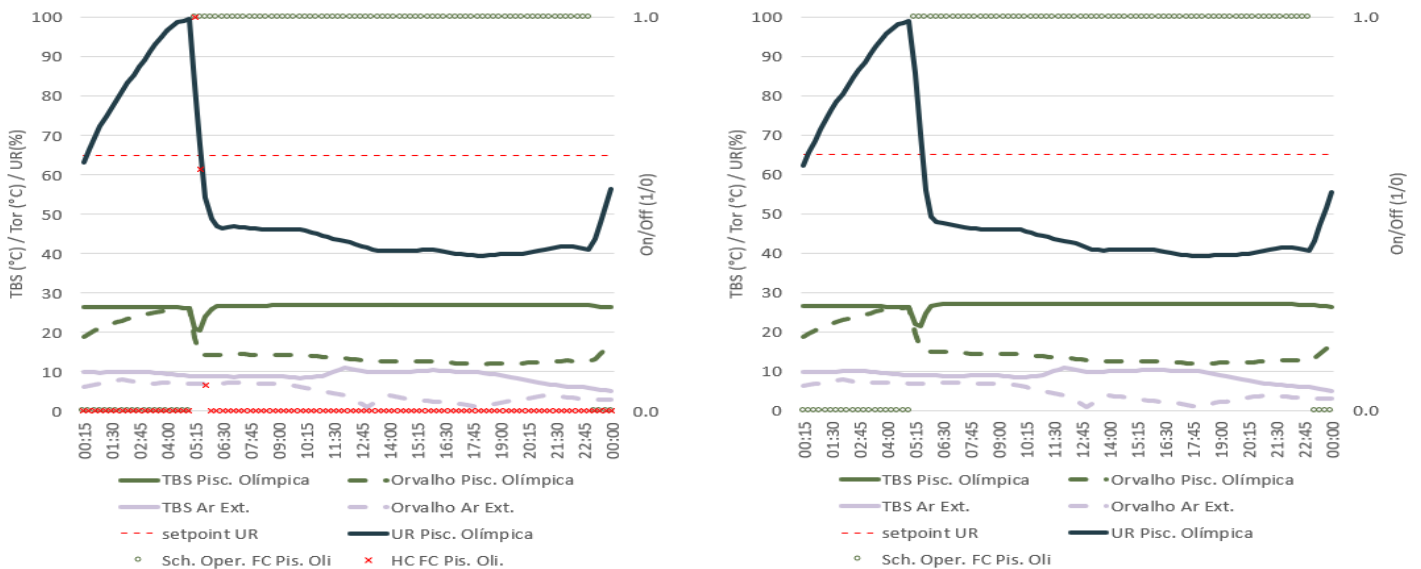


Figura 7. Evolução dos parâmetros do dia de inverno seco para o CNA (esquerda) e para o CNB (direita)

Neste dia, tanto para o CNA quanto para o CNB, a  $TBS_{int}$  e a  $UR_{int}$  ficaram dentro do intervalo de controle em todo o período de operação. No CNA, o sistema operou com 100% de ar externo imediatamente ao ser ligado, já que a  $UR_{int}$  era de 100% (sistema estava desligado à noite). Em menos de 45 minutos, a  $UR_{int}$  ficou abaixo do valor de setpoint e então o sistema operou com a vazão mínima de ar externo por todo o restante do período de operação.

As curvas de  $TBS_{int}$  e  $UR_{int}$  são muito similares em ambos os cenários. Isto ocorre porque, salvo nos primeiros 45 minutos de operação, o sistema só funcionou em modo aquecimento, sem necessidade de resfriamento ou

desumidificação. O modo aquecimento dos dois cenários opera da mesma forma. Além disso, após os primeiros 45 minutos do dia, a vazão de ar externo foi a mesma em ambos os cenários.

### 3.7 Avaliação quantitativa

#### Parâmetro $UR_{int}$

O gráfico da Fig. 8 apresenta a distribuição de frequências da  $UR_{int}$  ao longo do ano simulado (apenas para as horas de operação do sistema) para ambos os cenários.

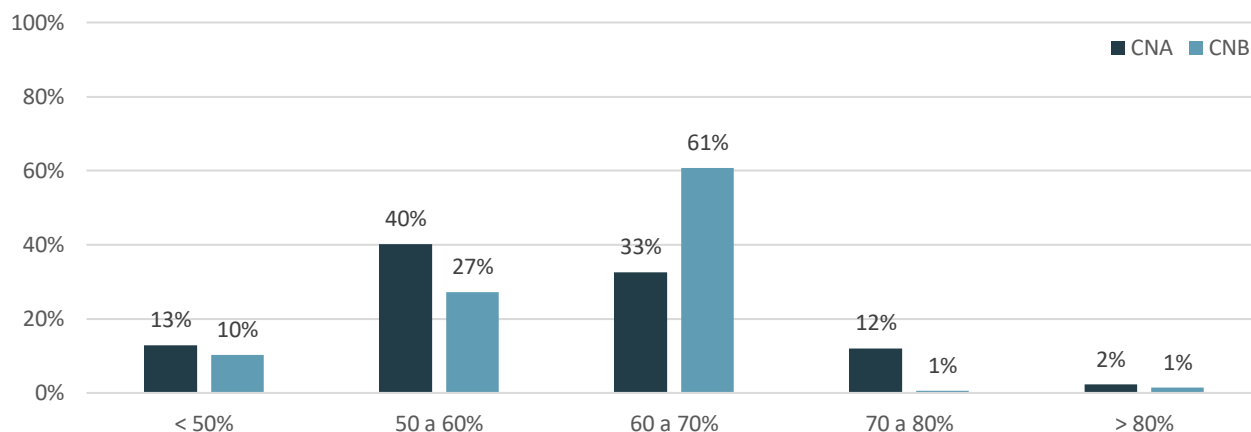


Figura 8. Distribuição de frequência da  $UR_{int}$  (anual, apenas em horas de operação)

No CNA a  $UR_{int}$  a superou o valor do seu setpoint (mais deadband) em 14% do tempo de funcionamento do sistema. Isto ocorreu nos momentos em que o conteúdo de umidade do ar externo é alto demais para reduzir o conteúdo de umidade interno.

Já no CNB, a  $UR_{int}$  ficou acima do seu setpoint 2% das horas de operação no ano, que é a soma dos intervalos logo após a partida do sistema, onde o ambiente acumulou umidade da evaporação das piscinas por pelo menos 6 horas sem o sistema de desumidificação operante.

Também se percebe no gráfico da Fig. 8 que a  $UR_{int}$  possui frequência mais distribuída entre os intervalos no CNA do que no CNB. Isto ocorreu porque no CNA a condição de  $UR_{int}$  é mais influenciada pelo ar externo, enquanto no CNB a condição de  $UR_{int}$  é controlada de forma direta, nunca ultrapassando o valor de setpoint (mais deadband).

#### Parâmetro $TBS_{int}$

O gráfico da Fig. 9 apresenta a distribuição de frequências da  $TBS_{int}$  ao longo do ano simulado (apenas para as horas de operação do sistema) para ambos os cenários.

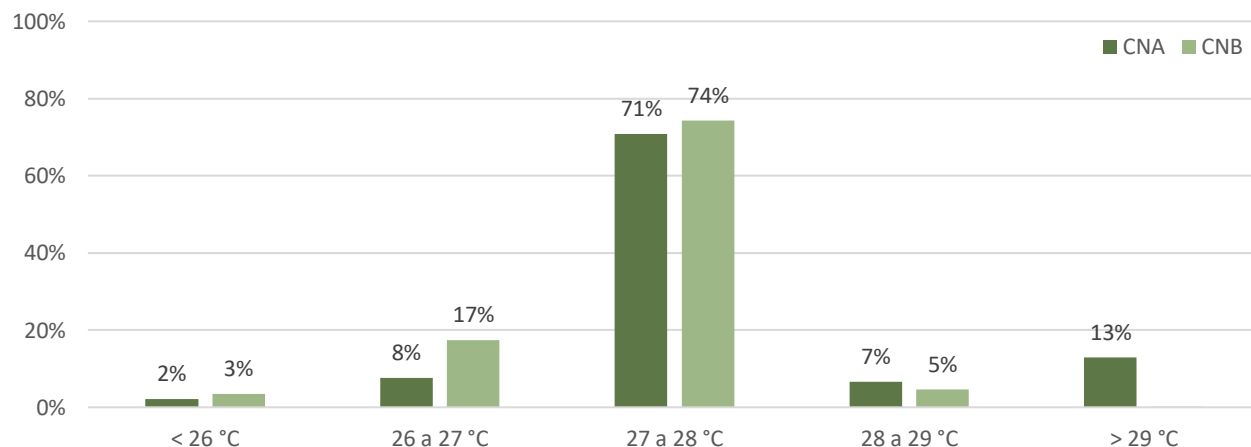


Figura 9. Distribuição de frequência da  $TBS_{int}$  (anual, apenas em horas de operação)



No CNA a  $TBS_{int}$  superou o valor do setpoint de aquecimento em 20% do tempo de funcionamento do sistema. Isto ocorreu porque o sistema não possui modo de resfriamento do ar.

Já no CNB, a  $TBS_{int}$  ficou acima do setpoint de aquecimento 5% das horas de operação no ano, nunca ficando acima do setpoint de resfriamento. Isto é o que se espera da configuração de sistema utilizada no CNB, onde a condição de setpoint de resfriamento será sempre atendida, desde que o dimensionamento estiver adequado.

### Horas atendidas

O gráfico da Fig. 10 apresenta o número de horas de operação não atendidas e atendidas, para ambos os cenários. As horas atendidas são aquelas em que a  $UR_{int}$  se encontra abaixo de 65% (mais deadband) e a  $TBS_{int}$  entre 27 e 29 °C.

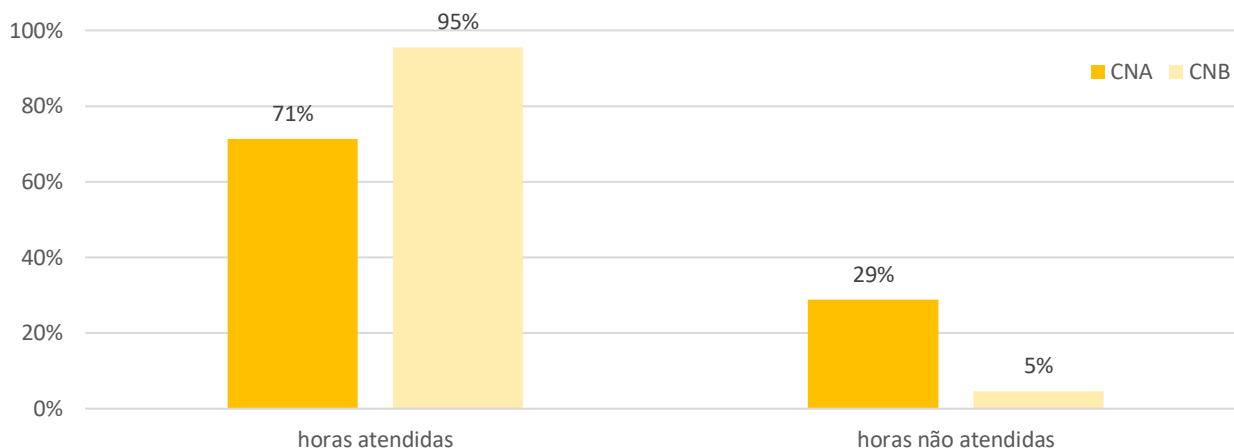


Figura 10. Distribuição de frequência do parâmetro atende/não atende as condições de projeto (anual, apenas em horas de operação)

### 3.8 Conclusões

O estudo detalhado das 6 tipologias de dias permitiu concluir que a estratégia de controle indireto de umidade por diluição com ar externo não garante as condições de projeto de  $UR_{int}$  para dias úmidos de verão e meia estação. Nestes dias, não é possível realizar a diluição com ar externo, já que o conteúdo de umidade do ar externo é alto demais. Constatou-se que isto ocorre em 14% das horas de operação do sistema.

O estudo das tipologias de dias também demonstrou que para o CNA, em parte das horas onde a  $UR_{int}$  esteve dentro do setpoint de projeto, a  $TBS_{int}$  esteve acima da temperatura de setpoint. Em alguns momentos, como verificado para o Dia 1, o aumento da  $TBS_{int}$  foi responsável pelo controle da  $UR_{int}$ . No CNA, a  $TBS_{int}$  superou o setpoint de aquecimento em 20% das horas de operação do sistema.

A estratégia de controle indireto de umidade por diluição com ar externo garantiu a condição de  $UR_{int}$  em 86% das horas de operação do sistema no ano e a condição de  $TBS_{int}$  em 87% das horas de operação do sistema no ano. Deve-se salientar que o setpoint de controle de  $UR_{int}$  recomendado é de 40 a 60%, sendo mais restrito do que o setpoint utilizado no caso do estudo (70%). Para condições de  $UR_{int}$  mais adequadas às boas práticas, espera-se um resultado pior.

A estratégia de controle direto de umidade por serpentina de resfriamento garantiu as condições de controle de  $UR_{int}$  em 98% e de  $TBS_{int}$  em 95% das horas de operação no ano. Este resultado deve manter-se similar para outros valores de setpoint, já que o sistema só não atende as condições de projeto na hora inicial à sua partida diária em dias críticos.

A avaliação combinada entre condições de  $UR_{int}$  e  $TBS_{int}$  mostrou que o sistema de climatização do ar empregado no CNA não garante as condições globais de projeto em 29% do tempo de operação, contra 5% no CNB.

Mesmo com a deficiência no controle de temperatura e com a ressalva do setpoint de  $UR_{int}$  utilizado neste estudo de caso, a estratégia de controle indireto de umidade por diluição com ar externo (CNA) mostrou-se satisfatória, já que garantiu o controle de umidade dentro do parâmetro desejado em 86% das horas do ano. O sistema deve possuir controle de vazão de ar externo, para evitar desperdício em uma parte significativa do ano – dias frios ou secos – onde não é necessário climatizar 100% do ar externo.

A estratégia de controle direto de umidade por serpentina fria (CNB) mostrou-se a mais adequada, propiciando condições ambientais mais saudáveis para os ocupantes e para a integridade da edificação.

Estas conclusões aplicam-se para este estudo de caso, na cidade de Porto Alegre/RS, não podendo ser generalizadas para qualquer instalação de ambiente de piscina.

## TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que a metodologia utilizada neste trabalho seja aplicada para ambientes similares em outras Zonas Bioclimáticas, ou que seja aplicada para ambientes de piscina menores, como piscinas de condomínios, na mesma Zona Bioclimática. Em casos em que seja viável a aplicação da estratégia de controle de umidade por roda dessecante, sugere-se a inclusão deste cenário no estudo. Também pode ser interessante avaliar-se os mesmos sistemas com uma condição de controle de umidade mais restrita.

Para um aprofundamento no entendimento das diferentes estratégias de controle de umidade, recomenda-se que outros estudos avaliem o consumo/custo de energia e o custo de cada sistema. Esta comparação poderá considerar diferentes matrizes energéticas como gás natural, energia elétrica e energia solar.

### *Agradecimentos*

Agradeço à equipe do GEINFRA (PUCRS) pelo esforço no fornecimento de dados, pelo interesse e dedicação nas discussões referentes ao estudo realizado.

## 5. REFERÊNCIAS

- Guarnieri, G.; Olivieri, B.; Senna, G.; Vianello, A., Relative Humidity and Its Impact on the Immune System and Infections, *Internacional Journal of Molecular Sciences*, 2023
- Lochner, G.; Wasner, L., Ventilation Requirements For Indoor Pools, *ASHRAE Journal*, 2017
- Randy C. Baxter, *Designing for IAQ In Natatoriums*, 2012
- Sterling, E.M.; Arundel, A.; Sterling, T.D. Criteria for Human Exposure to Humidity in occupied buildings. *ASHRAE Trans.* 1985, 91, 611–622.

**Abstract.** *This study compares different humidity control strategies for indoor pool environments. Energy Plus Software was used to model the building and systems. Two rows of simulations were done. The first one considered indirect control through outdoor air control and the second one used direct control with a cooling coil. Six typical days were established for detailed evaluation: typically summer, mid-season and winter days. For each season, two days from the climate data of Porto Alegre (RS) were studied. Parameters of RH (relative humidity), DP (dew temperature) and DBT (dry bulb temperature) of the internal environment and external air were evaluated. Only the system's operating hours during the year were considered. The strategy of indirect humidity control guaranteed the RH condition at 86% of the considered hours and combined conditions (RH and TBS) at 71% of the studied hours. The strategy of direct humidity control guaranteed RH control conditions at 98% of the considered hours and combined conditions for 95% of the system's operating hours. The strategy of indirect humidity control proved to be satisfactory. The direct humidity control strategy proved to be the most appropriate solution, providing healthier environmental conditions for occupants and better conditions to the integrity of the building.*

**Keywords:** *Indoor Pool Air Dehumidification, Humidity Control, IAQ of Indoor Pools, Building Energy Simulation*