

ANÁLISE PSICROMÉTRICA EM AMBIENTE DE PISCINA TÉRMICA VISANDO ATENDER CONFORTO TÉRMICO

Rodrigo Todi Martins, rodrigo.todi@edu.pucrs.

Prof. Bruno de Rosso.

Resumo. Este artigo consiste no estudo de caso de um ambiente de piscina aquecida com o objetivo de detalhar e compreender o funcionamento do sistema de controle de temperatura e umidade para este tipo de ambiente. Dados foram fornecidos pelo setor responsável no controle do ambiente, por meio de leituras e medidores eletrônicos, constatando a ineficiência do sistema atual, como consequência identificou-se problemas como alteração na umidade, causando a degradação da estrutura do prédio e desconforto para os usuários. O controle inadequado consequentemente causa problemas de saúde para os ocupantes da piscina. Foi efetuado um levantamento de carga térmica do ambiente, para realizar um redimensionamento e troca do sistema atual existente. Como resultado de 198TR, a estratégia mais eficiente é a implementação do sistema de serpentina fria para controle direto da umidade e temperatura do ar independente das condições climáticas externas, proporcionando condições mais saudáveis para os ocupantes e a integridade da edificação.

Palavras-chave: Piscinas aquecidas, Umidade, Serpentina, Conforto térmico, Renovação de ar.

1. INTRODUÇÃO

Conforme estudos e pesquisas realizadas a respeito de piscinas de uso coletivo, há documentos e relatos mais antigos de que se sabe onde grandes tanques foram descobertos em pirâmides do antigo Egito. Embora mais remotos, são as invenções que mais se aproximam da piscina que conhecemos atualmente. Eram utilizadas em decorações, sendo de alto luxo. (Oliveira, 2020).

Ao longo dos anos as piscinas ao ar livre começaram a ser utilizadas pelas pessoas no mundo todo para atividades de lazer, exercícios físicos e até mesmo para relaxamento em spas e hotéis. No verão são bastante úteis para confortar e diminuir a sensação térmica do corpo. A água se mantém a uma temperatura ambiente, mas os dias quentes não estão presentes o ano todo, em cidades com climas frios ou na estação de inverno, as piscinas em locais abertos acabam se tornando inutilizáveis devido as suas baixas temperaturas onde o corpo humano fica desconfortável. (Venâncio, 2020)

O corpo humano requer uma temperatura interna corporal na faixa dos 37°C (Frota; Schiffer, 2001). Alterando esse equilíbrio o indivíduo pode sofrer um mal-estar devido a troca de energia do corpo com o ambiente tentando se adequar as baixas condições térmicas atuando com mecanismos geradores de calor. No geral, o ser humano acaba sendo impactado pelas condições térmicas do ambiente, afetando o seu estado físico e psicológico, devido ao desconforto ocasionado pelo frio ou calor (Leal; Rodrigues; Silva, 2010).

Para superar estes obstáculos existe a piscina aquecida em locais geralmente cobertos, muito usada em ginásios, academias e em hotéis. Seu uso pode ocorrer o ano inteiro, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2019), a norma NBR-10339 de 2019, indica que a água deve ficar na faixa de temperatura que pode variar de 25°C a 38°C dependendo muito do tipo de atividade que será realizada. Também deve ser respeitada a umidade relativa do ar ficando em torno de 40% e 60% trazendo conforto para atender uma grande faixa etária de seus usuários.

As piscinas térmicas estão entre as instalações mais populares no mundo esportivo, portanto deve-se promover um ambiente interno termicamente confortável e saudável para seus ocupantes, tanto

dentro como fora da água, principalmente protegendo o envoltório da instalação. Entretanto, a gestão da qualidade do ar interior e o conforto térmico dos usuários, nesse ambiente de alta umidade, muitas vezes é mal gerida por possuir uma área muito grande e altas temperaturas internas, consumindo uma energia excessiva (Limane; Fellouahy; Galanis, 2018).

Porém, por se tratar de um ambiente fechado, a água aquecida que pode facilmente ultrapassar os 30°C e ocasionar uma alta taxa de evaporação, gerando altas cargas latentes, que devem ser tratadas corretamente, ou seja, com falta de sistemas de controle de umidade e vazões de ar, causando a condensação de vapor no local, ocasionando uma sensação de calor excessivo no ambiente da piscina (de Rosso, 2022). Este comportamento do ar, por não possuir um controle adequado, acaba se tornando incomodo para os usuários, fazendo com que as perdas de calor do corpo sejam inferiores as necessárias para a conservação da temperatura interna constante, possibilitando as condições de troca de calor mais acentuada entre o indivíduo e o ambiente através do suor (Frota; Schiffer, 2001).

Um problema muito comum encontrado é a falta de climatização apropriada nesses locais úmidos e aquecidos. Em piscinas térmicas a alta taxa de evaporação que se encontra no ambiente acaba por consequência elevando a umidade relativa do ar através do aquecimento da água, causando uma sensação de mal-estar a ponto de ocorrer uma hipertermia, ou seja, ocorre quando uma atividade física é realizada em um ambiente quente, principalmente quando a umidade relativa do ar estiver elevada. A pessoa tem uma redução no seu desempenho, e é quando o corpo humano sofre um aumento de temperatura, podendo resultar em uma desidratação (Garcia; Rodrigues, 1998).

Um outro erro que ocorre ao projetar um sistema de climatização, é pensar somente em desumidificar o ambiente através do aquecimento do ar a fim de diminuir a umidade do local, mas é deixado de lado a parte que deveria fazer o resfriamento do ambiente para diminuir a temperatura no local da piscina. Conforme a norma NBR-10339 (ABNT, 2019), recomenda que a temperatura de bulbo seco do ar ambiente seja superior ou igual à da piscina, admitindo uma temperatura mínima de 24°C, atingindo o conforto térmico.

A maneira correta de contornar esse tipo de problema, se dá através do uso de sistemas de aquecimento, ventilação e resfriamento por tornar possível o controle da temperatura e o nível de umidade do ambiente. Porém, se utilizar apenas com o intuito de remover a carga térmica da área desejada, o sistema não garantirá a qualidade do ar no interior da piscina, logo não atenderá a condição de conforto necessária para os usuários (Gonçalves, 2021).

Assim, desta forma é primordial que seja feito um estudo detalhado do ambiente levando em consideração todas as cargas latentes e sensíveis que ali se concentram, por exemplo: a quantidade de pessoas, o tipo de atividade a ser realizada, além de outros fatores a serem considerados no cálculo. O número de renovações do ar é parte fundamental para alcançar as boas práticas de projeto nesta aplicação específica, por conter grandes taxas de umidade no local (de Rosso, 2022).

A eficiência e conforto é um assunto bastante estudado e que possui impacto significativo no cotidiano das pessoas, o desempenho térmico em instalações climatizadas é um tema bastante falado. Historicamente sempre dependeu de alto consumo de energia para atingir tais exigências de conforto através dos equipamentos de refrigeração, consumo este desnecessário devido à falta de análise precisa das cargas térmicas (Mohamed *et al*, 2023).

Neste artigo, foi demonstrado o que deve ser levado em consideração para realizar o correto dimensionamento de um sistema de climatização, respeitando as normas técnicas vigentes, com levantamento das cargas latentes e sensíveis presentes no ambiente da piscina, considerando inclusive as estações do ano, para que seja possível o ajuste ideal da temperatura conforme a condição externa,

sendo possível atingir o conforto térmico, ajudando no desempenho físico e na saúde das pessoas que a utilizam a área da piscina.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O principal objetivo deste artigo é dimensionar corretamente um sistema de climatização para um local com ambiente quente e úmido, no caso, uma piscina aquecida. Para sua realização serão usados os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecânica, focando na área de refrigeração e climatização. Neste projeto, será priorizado o correto dimensionamento de equipamentos HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), tendo como objetivo principal a garantia da condição de conforto térmico do ambiente e a qualidade do ar interior. Para dimensionar o sistema, será considerado o aquecimento da água da piscina e as cargas térmicas do ar no seu envoltório, além da temperatura necessária para cada atividade que será realizada na água.

Baseado nos resultados encontrados a partir de cálculos e considerando as variáveis que interferem na qualidade do ar interior, alterando o conforto térmico, poderá saber qual a demanda necessária de potência e o tipo de equipamento que deverá ser escolhido, atendendo a necessidade do ambiente.

2.1 Piscinas térmicas e seus principais problemas devido à falta de climatização

As piscinas aquecidas geralmente estão localizadas em grandes espaços fechados. São caracterizados por possuir um ambiente com umidade elevada acima de 60% devido a evaporação da água e os fenômenos de condensação que influenciam a transferência de calor e conforto térmico dos ocupantes. Com isso, o uso de sistemas HVAC é o mecanismo capaz de assegurar o controle da temperatura do ar na piscina com o auxílio de sistemas de aquecimento (Limane; Fellouahy; Galanis, 2018).

Segundo Gonçalves (2021), a falta deste controle pode ocasionar alguns problemas na qualidade do ambiente interior, no envoltório da piscina e na saúde dos ocupantes. O desconforto térmico pode ocorrer quando algumas destas situações acontecem, sendo elas:

- a) temperaturas muito altas;
- b) temperaturas muito baixas;
- c) variação brusca da temperatura ambiente;
- d) excesso de correntes de ar;
- e) radiação excessiva;
- f) piso muito frio ou muito quente.

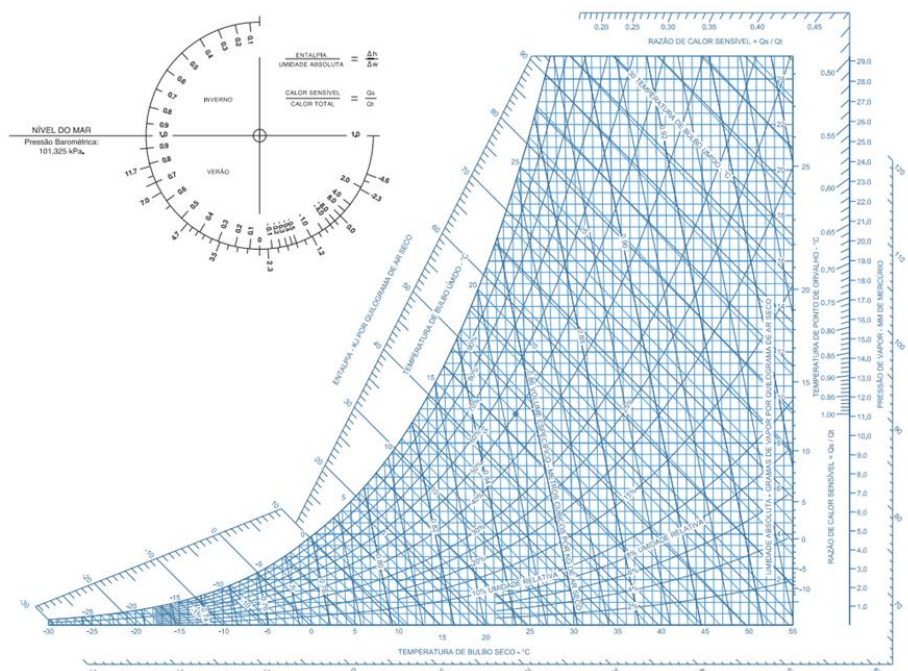
Estes acontecimentos podem ser evitados através de um bom controle de temperatura interior em conjunto com a difusão e remoção do ar ambiente. Outro problema bastante presente no ambiente das piscinas aquecidas, é a ocorrência de condensação, dando origem ao surgimento não projetado de água nas estruturas do local, podendo desenvolver diversas formas de degradação. Isso pode ocorrer, dependendo da constituição construtiva, condições climáticas externas e principalmente dos sistemas de comportamento do ar úmido. Em determinadas condições, sempre que o ar entrar em contato com superfícies mais frias e a sua umidade absoluta atinge a saturação para a temperatura em questão, irá ocorrer a condensação (Santos, 2015).

O comportamento do ar úmido irá depender da temperatura e a quantidade de vapor de água que nele contém, sendo denominada como umidade absoluta. Essa quantidade de vapor de água que uma unidade de ar pode conter é finita, ou seja, acima desse valor o ar estará saturado. Não sendo mais capaz de absorver vapor de água, irá condensar as quantidades excedentes. Este valor limite de umidade absoluta é atribuído para designar o limite de saturação no qual corresponde uma pressão limite, denominada pressão de saturação. Isso se torna mais complexo na medida em que o limite de

saturação não é constante, variando com a temperatura. Essa é a maneira de explicar que o ar aumenta de umidade relativa quando resfria e diminui quando aquece, nos dois casos, mantem-se a umidade absoluta (Santos, 2015).

Estas interações existentes entre a umidade absoluta, umidade relativa e a temperatura do ar, podem ser demonstradas através de um diagrama específico, denominado por carta psicrométrica, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Carta psicrométrica



Fonte: de Rosso (2022)

Uma outra maneira de identificar uma alteração na qualidade do ar é o aparecimento de fungos e bolores na estrutura do prédio. Isso indica que a umidade relativa do ar está elevada e que a temperatura superficial está baixa. Geralmente, o local onde essa patologia se prolifera, pode danificar a estrutura do local, podendo estar visível nas paredes, causando desconforto para quem pretende utilizar os espaços da piscina (Santos, 2015).

Os fungos e bolores são organismos vivos, geralmente parasitas, causadores de doenças como a micose que ocorre em humanos, animais e plantas. Podem aparecer em qualquer parte do corpo na forma de infecções. Em locais de piscinas, esse problema se torna mais comum, mesmo que outros fatores também serem os causadores assim como a falta de higienização, mas dependem diretamente das condições de temperaturas e umidade do ambiente (Cruz; Francos; Aquino, 2019).

Na figura 2 a seguir pode-se identificar como esses fungos são visíveis.

Figura 2. Fungos e bolores aparentes.



Fonte: Granconato (2020)

A qualidade do ar interior também é um fator fundamental que deve ser considerado. Para que isso seja possível, deve haver a presença de sistema de ventilação, com a tarefa de promover a circulação do ar-condicionado, para obter o conforto térmico e a qualidade do ar interior. Se não mantidos em condições perfeitas, esse ar irá perder a sua qualidade, pois pode conter impurezas, vírus e bactérias, afetando a saúde dos usuários no local das piscinas. As principais causas ocorrem por falta de manutenção, limpeza e desinfecção do sistema de climatização (Matias, 2011).

2.2 Saúde dos usuários

Faz algum tempo que a umidade do ar vem sendo considerada como um causador de problemas de saúde, normalmente, em conjunto com outras variáveis do tempo como a temperatura, vento e a pressão atmosférica, visto que recentemente houve uma pandemia mundial através do vírus COVID-19 e também do surto de gripe H1N1, estes sendo transmitidos pelo ar. Todo esse conjunto afeta de alguma forma a saúde humana. Em piscinas, sem o controle adequado, podem surgir outros fatores que afetam significativamente a saúde dos ocupantes, como fungos e bactérias, podendo afetar a pele, olhos e pulmões mais diretamente. Para evitar tais contaminações é primordial o manejo correto de sistemas de condicionamento de ar (Gonçalves; Nedel; Alves, 2012).

Quando se trata de exercícios físicos, dependendo da intensidade da atividade a ser realizada, a temperatura tem forte influência no desempenho do corpo humano, na saúde e no bem-estar.

Estudos comprovam que em certas atividades, o aumento exagerado da temperatura e a umidade relativa do ar, influenciam fortemente no desempenho da pessoa, colocando em risco a saúde do praticante. O esforço fisiológico que o corpo faz para manter estável a temperatura corporal é intensa, quando ele não consegue esta estabilização, a pessoa pode ter febre, suor excessivo, desidratação e sensação de fogo, isso resultará num acúmulo excessivo de calor no corpo, é quando ocorre a hipertermia (Garcia; Rodrigues, 1998).

A hipertermia é a manifestação mais grave das síndromes induzidas pelo calor. É caracterizada por aumentar drasticamente a temperatura corporal acima dos 40°C, podendo comprometer órgãos e tecidos corporais. Afetam pessoas fisicamente ativas, devido a atividades prolongadas, somado a temperatura ambiente e umidade elevada, causando confusão mental e até danos aos órgãos internos (Tarini *et al*, 2006).

A transpiração em excesso devido ao calor excessivo, ocorre quando a temperatura do ambiente supera a temperatura corporal, é quando o corpo absorve o calor ambiente e passa a depender do suor para eliminá-lo. Para que isso ocorra de maneira eficiente, é essencial que haja um gradiente favorável, se o ar estiver com umidade relativa alta, irá comprometer este gradiente impossibilitando a transpiração do indivíduo. Nesse caso, a chance de o ocupante sofrer uma desidratação é grande (Tarini *et al*, 2006).

2.3 Normas para condições de conforto térmico

Para que seja possível definir quais devem ser os requisitos de salubridade e condições adequadas que um local de piscinas aquecidas deva obedecer, fornecendo qualidade, saúde e bem-estar aos seus ocupantes, existem as normas técnicas. A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) é uma associação de profissionais engenheiros, que buscam padronizar e normatizar o projeto e construção correta de sistemas de ar-condicionado em diversos países. No Brasil, também se usa a norma NBR-10339 (ABNT, 2019), no qual recomenda que em locais de piscinas com ambiente fechados, equipado com condicionamento de ar, a umidade relativa do ar esteja na faixa de 40% a 60%, não ultrapassando estes limites. Já a temperatura seca do ar deve ser superior ou igual à da água do tanque, mas limitando a uma temperatura mínima de 24°C.

Existe uma temperatura pré-definida do ar e da água para ambientes com instalações de piscinas aquecidas, dependendo do tipo de atividade que ali será realizada. Na Tabela 1 pode-se ver o tipo de atividade e sua respectiva temperatura.

Tabela 1 – Limites de temperatura para conforto térmico.

Tipo de atividade	Temperatura do Ar (°C)	Temperatura da Água (°C)	Umidade Relativa (%)
Recreação	24 a 30	24 a 30	40 a 60
Terapêutico	27 a 30	30 a 35	40 a 60
Competição	25 a 30	24 a 28	40 a 60
Mergulho	27 a 30	27 a 32	40 a 60
Natação para idosos	29 a 32	30 a 32	40 a 60
Hotel	28 a 30	28 a 30	40 a 60
Hidromassagem	27 a 30	36 a 40	40 a 60

Fonte: o autor, adaptado de ASHRAE (2019).

A quantidade de pessoas que deverão utilizar os espaços das piscinas, deve ser levada em consideração ao efetuar o projeto, pois o número de ocupantes influencia diretamente nas cargas latentes internas em conjunto com a evaporação. Com base na norma, o fator de ocupação estimado conforme a respectiva atividade que será realizada, na Tabela 2 será possível visualizar o valor numérico do fator de atividade de cada pessoa. Porém não é necessariamente aplicado para áreas que não são consideradas molhadas (Gonçalves, 2021).

Tabela 2 – Fator de atividade específica para diferentes tipos de piscinas.

Tipo de Piscina	Fator de Ocupação (Fo)
Linha de base (piscina desocupada)	0,5
Piscina residencial	0,5
Terapia	0,65
Hotel	0,8
Público, escolas	1
Hidromassagens, Spas	1
Piscinas de ondas, Tobo águas	1,5 (mínimo)

Fonte: o autor, adaptado de ASHRAE (2019).

O número máximo de pessoas que devem ocupar a área a ser climatizada, deve ser estipulado no projeto pelo contratante. É importante que se considere o tempo que essas pessoas irão ficar no ambiente. Segundo a NBR 16401-01 (ABNT, 2008), o número máximo de pessoas estipulados deve ser considerado para o projeto quando estes permanecerem por mais de 90 min. no ambiente. Para determinar as taxas de calor sensível e latente gerada pelas pessoas, a Tabela 3 indica esses valores para cálculos de projeto.

Tabela 3 – Taxa de calor liberado por pessoas.

Nível de atividade	Local	Calor Total (W)		Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
		Homem Adulto	Ajustado M/F ^a		
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30
Sentado no teatro noite	Teatro noite	115	105	70	35
Sentado, trabalho leve	Escritório, hotéis	130	115	70	45
Praticando Esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315

Fonte: o autor, adaptado de (ABNT, 2008).

A iluminação é outro fator importante que deve ser considerado para o dimensionamento do sistema, dependendo do tipo de lâmpada e sua quantidade, é gerada uma alta carga sensível no ambiente. O tipo de potência das luminárias pode ser obtido no projeto ou estipulados pelo contratante. Quando esta informação é ausente, conforme a NBR 16401-01 (ABNT, 2008), devem ser adotados os valores típicos para as densidades de potência de iluminação, estipulados através da Tabela 4.

Tabela 4 – Taxa de dissipação de calor liberado pela iluminação.

Local	Tipos de iluminação	Nível de iluminação LUX	Potência dissipada W/m ²
Escritórios e bancos	Fluorescentes	500	16
	Fluorescente		17
Lojas	Fluorescentes compacta	700	23
	Vapor metálico		28
	Fluorescentes compacta	150	9
	Incandescente		30
Supermercados	Fluorescentes	1000	21
	Vapor metálico		30

Fonte: o autor, adaptado de (ABNT, 2008).

As taxas de ventilação do ar externo, servem para fornecer uma qualidade aceitável do ar para piscinas médias que utilizam cloro para desinfecção. O requisito de ventilação pode ser excessivo e inadequado para piscinas de alta ocupação (ASHRAE, 2019).

Segundo a NBR 16401-3 (ABNT, 2008), estipula a vazão mínima de ar exterior com qualidade aceitável que deve ser respeitada pelo sistema de climatização, promovendo a renovação de ar interior e manter o nível de particulados aceitável. Essas vazões estipuladas, são dimensionadas ao considerar os poluentes químicos, físicos e biológicos presente no ambiente, a partir de condições normais de uso e ocupação. Na Tabela 5, pode-se observar o tipo de ambiente e a e a vazão ideal.

Tabela 5 – Vazão de ar mínima de ar exterior para ventilação.

Local	D pessoas/ 100m ²	Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s.m ² a
		Fp L/s*pessoas	Fa L/s*pessoas	Fp L/s*pessoas	Fa L/s*pessoas	
Boliche - área do público	40	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Ginásio coberto (arquibancada)	150	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Ginásio coberto (quadra)	--	--	0,4	--	0,5	--
Piscina Coberta	--	--	3,0	--	3,6	2,5
Fitness center - aeróbica	40	12,5	0,4	15,0	0,5	--
Fitness center - aparelhos	10	6,3	0,8	7,5	0,9	--

Fonte: o autor, adaptado de (ABNT, 2008).

A maioria das normas exige um troca mínima de ar por hora, essas renovações podem variar para o tipo de ocupação e uso. Conforme a resolução 09 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) exige que locais com instalações maiores do que 5 TR (Toneladas de Refrigeração) devem ter um número mínimo específico de renovações de ar por hora para cada tipo de situação (Araújo, 2019). Para o caso de piscinas aquecidas, onde é utilizado a desumidificação mecânica, novas taxas de renovações de ar devem ser estabelecidas para que as condições de temperatura e umidade sejam apropriadas. Na tabela 6 pode-se visualizar o número de trocas que é esperado.

Tabela 6 – Número de renovações de ar.

Tipo de Ambiente	Renovações de Ar
Áreas de piscinas	4 a 6 troca de ar por hora
Áreas de espectadores	6 a 8 troca de ar por hora
Piscinas terapêuticas	4 a 6 troca de ar por hora

Fonte: o autor adaptado de ASHRAE (2019).

2.4 Comportamento térmico de piscinas aquecidas

As piscinas aquecidas em locais cobertos, são conhecidas por necessitar manter constantes as condições de temperatura da água, do ar e a umidade relativa ambiente. Esse controle deve ser feito de maneira precisa, de modo que gere uma qualidade satisfatória para os usuários deste local.

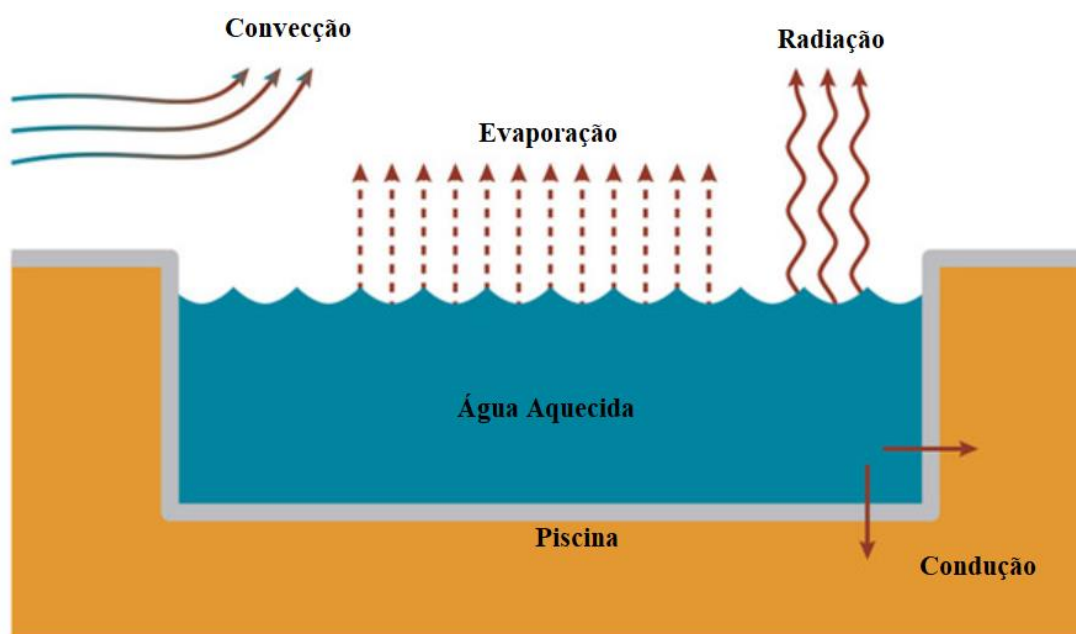
Como já foi falado, o corpo humano precisa manter uma certa temperatura corporal, por isso a necessidade de manter o ambiente em equilíbrio entre o corpo humano e o envoltório. Esse equilíbrio

permite que o corpo se adapte de maneira mais eficiente através da troca de energia, utilizando mecanismos termorreguladores (Oliveira, 2020).

É comum usuários de piscinas aquecidas encontrarem condições térmicas inadequadas. Geralmente estas condições estão relacionadas a alguns fatores como o clima externo, a temperatura da água sem um controle adequado, o ambiente por não possuir sistemas de controle ou estar ineficiente e até mesmo a própria estrutura da piscina. Estes ambientes são caracterizados pela sua elevada umidade, devido a evaporação da piscina. Esse cenário pode ser acentuado caso não tenha uma ventilação eficiente e um sistema de desumidificador do ar, este conjunto de situações pode ser responsável por causar o desconforto térmico (Oliveira, 2020).

A água realiza troca de calor com a estrutura da piscina através das paredes, fundo do tanque e pela superfície em contato com o ar através da convecção. Estas trocas são resultantes da condução pelo envoltório da piscina, radiação e evaporação da superfície, a soma dessas trocas totaliza as perdas térmicas. Estas perdas estão relacionadas a alguns fatores específicos que são a temperatura interna do ar, velocidade do ar em contato com a superfície da água aquecida e a umidade relativa do ambiente (Oliveira, 2020). Na figura 3 pode-se observar de que maneira isso ocorre no ambiente.

Figura 3. Perdas de calor que ocorrem em piscinas aquecidas.



Fonte: o autor, adaptado de Bluwhale Tiel (c2016-2017).

2.5 Taxa de evaporação

A água de uma piscina pode ser aquecida de várias formas, geralmente usa aquecedores a gás, elétrico, solar e bomba de calor. Estes meios aquecem a água lentamente até que atinja sua temperatura desejada. O processo de aquecimento é de maneira lenta, fazendo com que a água passe do estado líquido para o estado gasoso, vapor de água. Geralmente o ambiente possui uma temperatura maior do que a da água da piscina. A evaporação gerada é um processo de transferência de calor latente, ocorre como efeito da absorção do calor da água quente, quanto mais houver evaporação maior será necessário removê-la do ambiente com uso de desumidificadores de ar (Duarte, 2022).

Por outro lado, essa alta taxa de evaporação acaba por diminuir o volume de água da piscina, logo é preciso reabastecer seu volume, o que gera uma demanda de aquecê-la novamente. Esse processo

de evaporação ocorre pelo contato da superfície da piscina com o ar ambiente. Ao remover a carga latente do ambiente o sistema de climatização retorna calor sensível ao local (Oliveira, 2020).

2.6 Perdas térmicas

A perda térmica acontece quando o calor gerado pela água quente da piscina é transmitido para o ambiente, normalmente a água tem temperatura igual ou inferior a temperatura do ar. Há também uma troca de calor do organismo humano com ambiente térmico, essa troca ocorre a partir de duas maneiras:

- Corpos que tenham diferenças de temperatura;
- Mudança de estado de agregação.

Por haver uma diferença de temperatura, os corpos acabam trocando calor, geralmente os corpos com temperaturas maiores (perdem) fornecem calor para os corpos mais frios (ganham), essa troca é chamada de calor sensível. Quando um elemento termo higrométrico como a água, realiza troca térmica por mudança de estado, é denominada calor latente (Frota; Schiffer, 2001).

Segundo Saliba (2010) as perdas ocorrem através de alguns processos de transferência de calor e massa, conhecidos como:

- Condução:** ocorre quando dois corpos sólidos ou fluidos que não estão em movimento se encontram sujeitos a diferentes temperaturas, entram em contato. O corpo que possui maior temperatura em excesso, irá transferir seu calor para o de menor temperatura até que ocorra o equilíbrio entre ambos, igualando sua temperatura. O contato da água aquecida, com as paredes e fundo do tanque da piscina, irá conduzir o calor até que se igualem;
- Convecção:** é praticamente o mesmo processo de transferência de calor que ocorre na condução, porém o calor é transferido através do fluido em movimento. Estas perdas dependem da velocidade do ar no ambiente, para piscinas térmicas esse fator pode ser desprezado, visto que a temperatura do ar precisa ser superior à da água;
- Radiação:** a transferência de calor ocorre sem que haja contato entre os corpos. A energia radiante é transportada pelo ar, sem aquecê-lo consideravelmente, tendo somente aquecida a sua superfície afetada. A água da piscina é um meio radiante, pois está próximo dos 30°C, emanando calor constantemente no ar e no ambiente interno.
- Evaporação:** é o processo em que a água quando aquecida lentamente, passa do estado líquido para o estado de vapor, dispersando o acumulado para o ambiente. É necessário que tenha diferença de temperatura na água e no ar, em conjunto com a velocidade do ar para que ocorra, é desta maneira que o calor é transmitido, sendo denominado calor latente. Ocorre na superfície da piscina, onde a água está em contato com o ar.
- Reposição:** para que a água mantenha uma certa qualidade, é necessário que haja renovação. A água evaporada e a renovação estão sempre alinhadas. À medida que a água evapora é necessário que seja reabastecido o seu volume original. É comum considerar uma reposição diária de 5% do volume total. Água é fornecida pela rede, geralmente com uma temperatura em torno de 15°C, é considerado uma perda significativa, visto que precisa ser aquecida para chegar próximo a 30°C.

2.7 Água da piscina

Em piscinas de uso coletivo, onde pode haver a concentração de várias pessoas ao mesmo tempo. A água está propensa a circulação de microrganismos e ficar contaminada, podendo transmitir doenças para seus usuários. É necessário que ocorra um controle da qualidade da água, sendo

semelhante à de consumo humano, para evitar infecções, visto que a água está em contato direto com a pele e outras partes do corpo (Mattos *et al*, 2022).

Em piscinas aquecidas, normalmente a temperatura é de $30^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, este ambiente contribui significativamente para o desenvolvimento de infinitos organismos, provocando riscos à saúde dos ocupantes. Grande parte destes riscos são considerados benignos, mas se não tratados de maneira correta, podem se tornar graves. Para sanar esse tipo de problema, é necessário haver um tratamento de desinfecção, neutralização e clarificação (Oliveira, 2020).

Para desinfetar piscinas em locais públicos é necessário fazer uso de algumas substâncias químicas, sendo a mais usada atualmente é o cloro, devido a sua disponibilidade e fácil acesso em diversas formas. Possui alta solubilidade e baixo preço, bastante usado em ginásios, academias e parques aquáticos. Ao entrar em contato com a água, é absorvido rapidamente ao desinfetar os contaminantes presentes na água, o restante não absorvido fica na água e forma uma espécie de barreira contra novos contaminantes (Matias, 2011).

Além de efetuar a desinfecção da piscina, a água com cloro cria um problema, ao entrar em contato com superfícies metálicas de ligas de aço, cobre, inoxidável entre outros pelo processo de evaporação ou contato direto, é responsável pelo ataque corrosivo do material. Além do cloro, temperaturas elevadas influenciam diretamente na corrosão, em um ambiente de aproximadamente 20 a 30°C esse processo aumenta cerca de 30% (Silva *et al*, 2020).

2.8 Conforto térmico

O corpo humano possui melhores condições de vida e saúde, quando o seu organismo não sofre fadiga, estresse físico ou térmico. Projetos e estruturas devem oferecer condições térmicas adequadas ao conforto térmico humano, independente das condições climáticas externas. Os principais fatores que interferem no conforto são a temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar. A necessidade de conforto humano está diretamente ligada ao desempenho do seu organismo, cujo mecanismo de controle é complexo. É necessário avaliar a quantidade de carga térmica que o local da construção ou ar livre receberá, deve ser considerado qualquer dia e estação do ano (Frota; Schiffer, 2001).

Ambientes de piscinas aquecidas vem se tornando cada vez mais comum no uso de atividade esportivas. Um ambiente termicamente confortável é necessário para realizar as atividades com saúde e conforto, além de proteger a estrutura do local. Muitas vezes é negligenciado o controle do ar e umidade nestes locais, devido a suas grandes dimensões e altas temperaturas. Por outro lado, é um desafio encontrar o conforto e qualidade do ar, em parceria com a eficiência energética. (Limane; Fellouahy; Galanis, 2018).

Conforto térmico depende muito para cada tipo de pessoa, há fatores envolvidos como hábitos, vestimentas e temperatura corporal. Conforto significa que a pessoa presente no ambiente não vai sentir frio e nem calor. Como já foi mencionado no item 2.3, existe normas que regulam o controle ideal de temperatura e umidade nos ambientes climatizados, desta maneira se cria um padrão, independentemente da localização da estrutura (Oliveira, 2020).

2.9 Qualidade do ar

Em ambientes climatizados é preciso garantir a qualidade do ar interno, para que isso aconteça é necessário que ocorra a renovação do ar. Essa renovação consiste na retirada do ar provavelmente contaminado do ambiente interno e renová-lo por um ar mais limpo. Esse ar novo vindo da parte externa, antes de ser insuflado no ambiente, passa por filtros para que seja feita a limpeza e retirada de possíveis contaminantes. O objetivo da troca de ar é eliminar qualquer tipo de contaminante químico ou biológico, preservando a saúde das pessoas (Araújo, 2019).

Existe uma preocupação com o ar em ambientes de piscina aquecidas, as condições térmicas e higrométricas podem ser controladas mais precisamente. Esse controle possui um custo elevado, alto investimento e custos de operação, por esses motivos que muitos locais não possuem ou possui um sistema ineficiente. O contato do ar com a água da piscina promove a troca de energia e matéria, fazendo com que o ar acumule umidade e agentes químicos. Estes químicos agora no ar podem afetar o bem-estar dos ocupantes, devido ao seu potencial tóxico, trazendo riscos à saúde (Oliveira, 2020).

Os filtros de ar-condicionado funcionam como uma barreira protetora, filtram o ar externo antes de ser insuflado para o ambiente interno. Tem por finalidade reter particulados, fungos, bactérias e vírus. Ao mesmo tempo, as fibras do filtro se tornam depósitos destes organismos, é um bom local para sua proliferação e multiplicação. É essencial que ocorra uma manutenção e troca de filtros periodicamente, para manter a qualidade do ar (Machry, 2020).

O uso de sistemas de ventilação é de extrema importância para que se tenha uma boa qualidade do ar. É responsável por promover a circulação do ar-condicionado, obtendo as condições necessárias de conforto e qualidade do ar interior (Matias, 2011).

2.10 Cargas térmicas

O objetivo de um sistema de climatização é garantir a condição de conforto projetada para cada tipo de situação. Deve ser capaz de manter a condição estipulada durante o dia todo, o ano todo, independentemente da situação climática externa. Para obter um sistema eficiente, é fundamental estimar as cargas térmicas corretamente, considerando ganhos ou perdas. Deste modo pode se obter a potência térmica que deve ser retirada ou introduzida no local, sendo o cálculo destas a parte mais importante do projeto (Gonçalves, 2021).

É necessário que se saiba distinguir os dois tipos de cargas térmicas na hora do projeto, pois influência diretamente na manipulação do ar através da psicrometria. O calor sensível produz uma variação de temperatura no ar sem que ocorra alteração na umidade. O calor latente é o calor gerado pela evaporação do vapor de água no ar, produzindo uma variação de umidade do ar sem que ocorra alteração da temperatura (Santos, 2019)

Segundo Gonçalves (2021), as cargas podem ser de diferentes origens, internas, externas e até do envoltório. Há diversos tipos de cargas térmicas que devem ser considerados no projeto como:

a) Cargas térmicas externas:

- Transferência de calor por condução ou convecção pela estrutura do prédio;
- Radiação solar que passa por vidros ou superfícies transparentes;
- Renovação de ar, vindo do ambiente externo que depende das condições atmosféricas;
- Influenciadas principalmente pela temperatura e umidade externa;
- Permeabilidade e resistência térmica do edifício;
- Intensidade da radiação solar e inclinação;
- Temperatura e refletividade do solo.

b) Cargas térmicas internas:

- Áreas superficiais da estrutura em contato com ambientes sem climatização;
- Iluminação e equipamentos elétricos;
- Pessoas e o tipo de atividade desenvolvida.

2.11 Renovação do ar

Ambientes climatizados precisam de uma boa qualidade do ar interno, para este objetivo usa-se a renovação de ar. Consiste na retirada do ar interior supostamente contaminado para a atmosfera, substituindo-o por um ar mais puro vindo do ambiente externo. Como o ar que entra possui

contaminantes e poluentes, é necessário que passe por filtros para retirada destas impurezas antes de ser insuflado para o interior. A renovação serve para retirar possíveis contaminantes que podem trazer riscos à saúde dos ocupantes (Araujo, 2019).

No ambiente de piscinas, o uso de agentes químicos para o tratamento da água, acabam sendo dispersados por vapor no ar interior. É importante que ocorra a renovação de ar, conforme Duarte (2022), nesse ambiente deve haver uma taxa de renovação de ar de 6 litros por segundo por banhista a ser garantido no sistema de climatização.

A renovação de ar, além de purificar o interior do ambiente, ajuda também a redução de umidade do ar na piscina. A circulação em conjunto com a renovação, permite que ocorra a mistura de diferentes massas de ar, equilibrando a sua constituição e consequentemente uniformizando a umidade relativa no ar ambiente (Santos, 2015).

2.12 Dimensionamento do sistema de climatização

O dimensionamento de um sistema de ar-condicionado deve ser feito através do uso de equações, através de dados conhecidos e com o uso carta psicrométrica. A psicrometria é a área da ciência que estuda as propriedades termodinâmicas do ar seco e da água, principalmente na forma de vapor. Para fins de cálculos, deve-se considerar o ar como um gás ideal, mesmo que conste diversos outros tipos de componentes e contaminantes ocultos, podendo interferir na manipulação do ar (de Rosso, 2022).

Inicialmente, será importante levar em consideração a quantidade de pessoas que o local pode acomodar. O fator de ocupação (F_o) é o nível de atividade que vai ocorrer na piscina, como visto na Tabela 2.

A piscina aquecida gera altas cargas latentes, por possuir uma alta taxa de evaporação. Esta taxa pode ser determinada na Equação 1, considerando a área da piscina. Porém, não há necessidade de considerar o seu volume de água, visto que a evaporação só ocorre na superfície em contato com o ambiente (de Rosso, 2022).

$$\dot{m}_{ev} = \frac{(0,089 + 0,0782 \cdot Vel_{ar}) \cdot (P_{H_2O} - P_{ar}) \cdot A \cdot F_o}{h_{hfg}} \quad (1)$$

Sendo:

$\dot{m}_{ev}$: taxa de evaporação da água (kg/s);

Vel_{ar} : velocidade do ar na superfície da piscina (m/s);

P_{H_2O} : pressão de vapor na superfície da água (kPa);

P_{ar} : pressão de vapor do ar ambiente (kPa);

A : área da piscina (m²);

F_o : fator de ocupação (ad);

h_{hfg} : entalpia necessária para mudar o estado da água líquida para vapor (kJ/kg).

O cálculo para dimensionamento de sistemas de climatização deve levar em consideração as cargas presentes no ambiente. Estas cargas são divididas em latentes e sensíveis. A carga latente gerada pela piscina é vista na Equação 2.

$$Q_{l_{piscina}} = (\dot{m}_{ev} \cdot h_v) \quad (2)$$

Sendo:

$Q_{l_{piscina}}$: carga latente da piscina (W);

$\dot{m}_{ev}$: taxa de emissão de vapor da piscina;

h_v : entalpia de vapor saturado (kJ/kg).

Já as cargas latentes e sensíveis geradas por pessoas, podem ser calculadas com o auxílio da Tabela 3 onde indica a taxa de calor liberada por pessoas em cada tipo de atividade. Utiliza-se as Equações 3 e 4.

$$Q_{l_{pessoas}} = N \cdot Q_{pl} \quad (3)$$

Sendo:

$Q_{l_{pessoas}}$: carga latente de pessoas (W);

N : número de pessoas;

Q_{pl} : taxa de calor latente liberada por pessoas (W).

$$Q_{s_{pessoas}} = N \cdot Q_{ps} \quad (4)$$

Sendo:

$Q_{s_{pessoas}}$: carga sensível de pessoas (W);

N : número de pessoas;

Q_{ps} : taxa de calor sensível liberada por pessoas (W).

A iluminação também é responsável por gerar uma quantidade de carga sensível no ambiente, considerando sua área e tipo de lâmpada, conforme a Tabela 4, pode-se determinar a equação 5.

$$Q_{s_{iluminação}} = P_d \cdot A \quad (5)$$

Sendo:

$Q_{s_{iluminação}}$: carga sensível de iluminação (W);

P_d : potência dissipada (W/m²);

A : área do local a ser iluminado (m²).

O envoltório recebe a incidência solar durante o dia, essa energia é absorvida e repassada através de calor sensível para o ambiente interno, é muito importante saber a constituição da estrutura do local e a sua localização geográfica. Pode-se determinar através da Equação 6.

$$Q_{s_{parede}} = U \cdot A \cdot (T_e + (\alpha \cdot RS \cdot R_{se}) - T_i) \quad (6)$$

Sendo:

$Q_{s_{parede}}$: carga sensível da parede (W);

U : fator global de transferência de calor (W/m²°C);

A : área (m²);

T_e : temperatura externa (°C);

α : absorptância a radiação solar (ad.);

RS : radiação solar (W/m²);

R_{se} : resistência superficial externa (m².K)/W;

T_i : temperatura interna (°C).

Geralmente esse tipo de ambiente faz uso de janelas de vidros para auxiliar na iluminação, por fazer parte do envoltório, janelas também geram uma quantidade significativa de carga térmica para o ambiente. Através da Equação 7, pode-se determinar a quantidade de energia que será transmitida para o local.

$$Q_{s_{janela}} = U \cdot (A \cdot [T_e - T_i]) + (RS \cdot F_s) \quad (7)$$

$Q_{s_{janela}}$: carga sensível da janela (W);

U : fator global de transferência de calor ($W/m^2\text{°C}$);

A : área (m^2);

T_e : temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$);

T_i : temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$);

RS : radiação solar (W/m^2);

F_s : Fator solar de vidros (ad.).

Após determinar a quantidade total de cargas latentes e sensíveis presentes no ambiente, pode-se determinar o fator de calor sensível a partir da Equação 8.

$$FCS = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l} \quad (8)$$

Sendo:

FCS : fator de calor sensível (ad.);

Q_s : carga de calor sensível (kW);

Q_l : carga de calor latente (kW).

É importante saber a vazão de ar que será necessária para atender a demanda do local, para isso se faz uso da Equação 9.

$$V_{ar} = \frac{\sum Q_s}{1,21 \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Sendo:

V_{ar} : vazão de ar total (m^3/s);

$\sum Q_s$: somatório de calor sensível (kW);

ΔT : diferença de temperatura de projeto e insuflamento ($^{\circ}\text{C}$).

Por norma, é necessário que ocorra renovação de ar no ambiente, conforme a Tabela 4. É preciso determinar a vazão necessária de ar externo que deve haver no sistema, conforme a Equação 10.

$$V_{ar_{externo}} = (P \cdot F_p) + (A \cdot F_a) \quad (10)$$

Sendo:

$V_{ar_{externo}}$: vazão de ar externo (m^3/s);

P : número de pessoas;

F_p : fator por pessoas de vazão de ar (L/s);

A : área (m^2);

F_a : fator de atividade por pessoas de vazão de ar (L/s).

Após dimensionar as vazões de ar total e externo, com a Equação 11 é possível determinar a quantidade de ar de retorno que deve haver no local.

$$V_{ar_{retorno}} = V_{ar} - V_{ar_{externo}} \quad (11)$$

Sendo:

$V_{ar_{retorno}}$: vazão de ar de retorno (m^3/s).

Nesta etapa, para determinar o ponto de mistura, deve ser considerado as devidas proporções de ar externo e ar de retorno, conforme a Equação 12.

$$T_c = (T_B \cdot \%V_{ext}) + (T_A \cdot \%V_{ret}) \quad (12)$$

Sendo:

T_c : temperatura no ponto de mistura ($^{\circ}C$);

T_B : temperatura externa ($^{\circ}C$);

T_A : temperatura interna ($^{\circ}C$);

$\%V_{ext}$: volume de ar externo (%);

$\%V_{ret}$: volume de ar de retorno (%).

Com base no que já foi calculado, será possível dimensionar qual deve ser a potência do ar-condicionado que será selecionado, considerando a diferenças de entalpia do ponto de mistura do ar e do ponto de saída de ar da serpentina. Conforme a Equação 13.

$$Q_{ac} = 1,2 \cdot V_{ar} \cdot \Delta h \quad (13)$$

Sendo:

Q_{ac} : potência do ar-condicionado (kW);

V_{ar} : vazão de ar total (m^3/s);

Δh : diferença de entalpia no ponto de mistura e de insuflamento (kJ/kg).

Para não insuflar o ar frio diretamente no ambiente após a desumidificação, o ar deve passar por um processo de aquecimento. Esse aquecimento deve ter uma potência certa para ocorrer de forma correta, sendo considerado a entalpia no ponto de aquecimento após o resfriamento do ar e o ponto de saída de ar da serpentina, como mostra a Equação 14.

$$Q_{aq} = 1,2 \cdot V_{ar} \cdot \Delta h \text{ (kW)} \quad (14)$$

Sendo:

Q_{aq} : potência de aquecimento (kW);

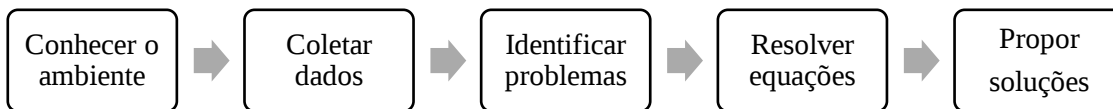
V_{ar} : vazão de ar total (m^3/s);

Δh : diferença de entalpia no ponto de insuflamento e de aquecimento (kJ/kg).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O objeto de estudo será uma piscina de competição aquecida em ambiente fechado, situada no Prédio 81 do Parque Esportivo da PUCRS, localizada em Porto Alegre, RS, Brasil. Para a realização deste estudo, foi necessário seguir uma sequência de etapas, somente assim é possível determinar o dimensionamento do sistema de climatização mais adequado.

Figura 4 – Etapas para o desenvolvimento.



Fonte: o autor.

Segundo o site oficial (PUCRS, c2024), o Parque esportivo é um dos maiores complexos esportivos, de saúde e bem-estar do Brasil. Possui uma grande infraestrutura destinada a atividades físicas, reunindo esforços que vão desde a prevenção, diagnóstico, tratamento e reabilitação.

Por possuir um andar somente com a piscina olímpica para atividades aquáticas, oferece aulas de aprendizagem, atividades terapêuticas e a atividade de nado livre, onde nadadores podem nadar livremente ou efetuar competições.

A piscina possui medidas aproximadas a de uma piscina olímpica oficial, conforme a World Aquatics reconhecida pelo COI (International Olympic Committee) determina que a piscina deva ter 50 metros de comprimento, 25 metros de largura e uma profundidade mínima de 2 metros, estas medidas serão utilizadas para os cálculos.

Para os dados de temperatura e umidade relativa externas, serão utilizadas as duas condições consideradas extremas no período de inverno e verão, levando em conta a presença de pessoas usando o espaço.

Conforme mostra a Tabela 7, os dados foram coletados durante o ano de 2024 pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Com esses dados será possível determinar a situação real de clima que ocorre durante dos dias do ano na cidade de Porto Alegre, logo pode-se determinar o sistema de climatização mais adequado.

Tabela 7 – Dados climáticos (INMET).

Estação	Data	Horário	Ambiente externo	Ambiente interno
Verão	10/02/2024	17:00	36,7°C e UR 46%	29°C e UR 50%
Inverno	06/07/2024	10:00	3,4°C e UR 96%	29°C e UR 50%

Fonte: o autor, com dados do INMET (2024).

A piscina precisa ser aquecida constantemente para manter a temperatura da água estável. Esse aquecimento faz com a piscina gere uma alta taxa de evaporação. Este vapor precisa ser controlado, sem um sistema adequado, acaba alterando a temperatura de conforto e a umidade interna do local. Este problema acaba ficando mais evidente ao verificar os dados coletados por meio de um sistema eletrônico, com uso de sensores e medidores. A temperatura da água é mantida em 29°C, já a temperatura e umidade do ar são coletadas a cada hora e podem ser vistas na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados coletados no local da piscina.

Estação	Data	Horário	Ambiente externo	Ambiente interno
Verão	10/02/2024	17:00	36,7°C e UR 46%	30,1°C e UR 74,6%
Inverno	06/07/2024	10:00	3,4°C e UR 96%	26,1°C e UR 35,9%

Fonte: o autor.

Outro problema gerado pela falta de um sistema adequado, é a ocorrência de oxidação em estruturas metálicas no ambiente e entorno da piscina, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Oxidação aparente na escada de acesso.



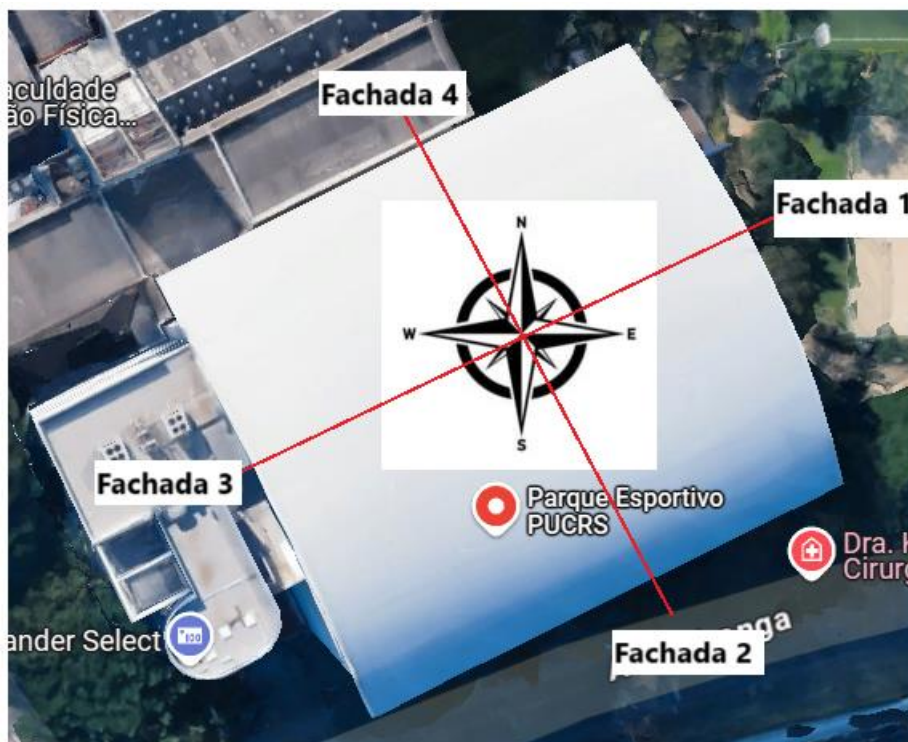
Fonte: o autor.

Após analisar os dados coletados e a identificação dos problemas, é visível que o sistema existente é ineficiente, por estar com temperaturas e umidade fora dos padrões estabelecidos em normas. Com o auxílio da planta de projeto estrutural do Parque Esportivo, será possível dimensionar o sistema adequado de climatização que vai atender a demanda do ambiente interno.

Com base na planta de projeto, o local suporta 705 pessoas sentadas na arquibancada com uma área de 570 m² e 16 pessoas utilizando a piscina ao mesmo tempo, que possui uma área de 1.250 m². O ambiente possui iluminação com lâmpadas fluorescentes, com uma área total de 2.565 m².

A incidência do sol no prédio é de extrema importância para determinar a carga térmica. É preciso saber a localização geográfica. Com a ajuda do Google Maps, usando imagens de satélite, na Figura 6 pode-se demarcar as direções correspondentes de cada fachada do prédio.

Figura 6 – Vista superior do Parque Esportivo da PUCRS.



Fonte: o autor, adaptado de Google Maps (c.2024).

Com os pontos cardeais determinados, pode-se calcular a carga térmica das paredes, que conforme o projeto são compostos por blocos de concreto (9,0 x 19,0 x 39,0 cm), com revestimento de argamassa interna e externa de 2,5 cm de espessura, utilizando pintura como acabamento interno e externo de tinta acrílica fosca na cor branca. Segundo Frota e Schiffer (2001), deve ser considerado os dados de radiação solar (R_s) nas equações, são tabelados conforme a localização geográfica do prédio, a hora de incidência do sol e o período de estação do ano. Já a resistência superficial externa (R_{se}) considera um valor fixo de 0,04 °C/W para cálculos. Conforme o anexo da portaria nº50/2013 do INMETRO, esse tipo de construção de parede considera um fator global de transferência de calor de 2,78 W/(m².K), com a pintura, sua absorvância à radiação solar (α) é de 15,8%.

As paredes ainda são compostas por janelas de vidros, com uma área total de 600,50 m². Esses vidros possuem 6mm de espessura, sendo do tipo incolor, vidro comum encontrado no mercado e em residências. A mesma portaria nº50/2013 do INMETRO determina que vidros com essas características, considera-se o fator solar de vidros (F_s) um valor de 0,359 para fins de cálculos.

Um dos fatores mais importante no projeto é a taxa de evaporação da piscina, dados de propriedades termodinâmicas da água precisam ser localizados, segundo Çengel (2009) a pressão de vapor na superfície da água (P_{h_2O}) a 29°C é de 4,03 kPa, a entalpia necessária para mudar o estado da água líquida para vapor (h_{hfg}) é de 2432,84 kJ/kg e a entalpia de vapor saturado (h_v) é de 2454,17 kJ/kg. A pressão de vapor do ar ambiente (P_{ar}) pode ser encontrado na carta psicrométrica através da temperatura de projeto que é de 29 °C, com o valor de 17,5 mmHg, mas deve ser convertido para o sistema internacional, portanto será 2,33 kPa. Com todos os dados necessários obtido, pode-se enfim resolver as equações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o levantamento de todos os dados relevantes do envoltório do prédio para efetuar os cálculos, a fim de redimensionar o sistema de climatização, encontrou-se valores satisfatórios e uma nova potência de equipamento conforme a Tabela 9. Primeiro foi calculado a taxa de evaporação da piscina, onde aproximadamente 303,88 kg/h de vapor é liberado para ao ambiente. Foi considerado um dia de verão, mais precisamente o dia 10 de fevereiro de 2024, as 17h, com uma temperatura do ar externa de 36,7 °C e umidade relativa de 46%. A análise psicrométrica com as temperaturas dimensionadas para o projeto encontra-se no anexo A.

Tabela 9 – Dimensionamento para um dia de verão.

Carga térmica latente	233,35 kW
Carga térmica sensível	135,16 kW
Fator de calor sensível (FCS)	0,36
Temperatura interna do ar (TA)	29°C
Temperatura externa do ar (TB)	36,7 °C
Temperatura do ponto de mistura (TC)	32,7 °C
Temperatura de insuflamento (TD)	10 °C
Temperatura de aquecimento (TE)	21,7 °C
Vazão de ar total	15,30 m³/s
Vazão de ar externo	7,36 m³/s
Vazão de ar de retorno	7,94 m³/s
Vazão de ar externo	48,11 %
Vazão de ar retorno	51,89 %
Potência de refrigeração	697,79 kW (198,4 TR)
Potência de aquecimento	57,44 kW (16,33 TR)

Fonte: o autor.

Em seguida foi considerado um dia de inverno, mais precisamente o dia 06 de julho de 2024, as 10h, com uma temperatura do ar de 3,4 °C e umidade relativa de 96%. Encontrou-se uma potência adequada para efetuar o aquecimento ambiente conforme a Tabela 10, visto que a temperatura externa do ar está em 3,4 °C, não há necessidade de utilizar a refrigeração. A análise psicrométrica com as temperaturas dimensionadas para o projeto encontra-se no anexo B.

Tabela 10 – Dimensionamento para um dia de inverno.

Carga térmica latente	233,35 kW
Carga térmica sensível	216,43 kW
Fator de calor sensível (FCS)	0,48
Temperatura interna do ar (TA)	29°C
Temperatura externa do ar (TB)	3,4 °C
Temperatura do ponto de mistura (TC)	14,2 °C
Temperatura de insuflamento (TD)	38,5 °C
Vazão de ar total	18,83 m³/s
Vazão de ar externo	7,36 m³/s
Vazão de ar de retorno	11,46 m³/s
Vazão de ar externo	39,10 %
Vazão de ar retorno	60,90 %
Potência de aquecimento	587,45 kW (167,12 TR)

Fonte: o autor.

Segundo Gus *et al.* (2024), o sistema utilizado atualmente para controle do ar no local da piscina, é o método de controle indireto por diluição com o ar externo. Esse método consiste no controle indireto da umidade através da captação do ar, ou seja, quando o ar externo possui umidade menor que o ambiente interno, essa troca permite a redução da umidade do ambiente interno, mas em condições inversas, o sistema não consegue realizar o controle da umidade. Outro ponto identificado, é que a diluição de ar está relacionada a vazão de ar externo que é variável para atender a eficiência energética. Atualmente o local da piscina possui apenas um sistema de serpentina quente (calefação) que permite o controle da temperatura por aquecimento, possuindo uma potência de 562,69 kW de aquecimento. Em dias com temperatura externa acima do setpoint (nesse caso 29 °C) ou as cargas térmicas internas acima desse limite, o sistema não consegue garantir o controle da temperatura interna.

O processo de controle da umidade é feito através de sensores que fazem a leitura do ar interno, se o sistema identifica que a umidade está elevada, o ar interno é retirado do ambiente, aumenta-se a vazão de ar externo, ocorrendo uma renovação de ar no ambiente, fazendo com que a umidade se estabilize. Mas esse sistema não vem atendendo a demanda necessária, como pôde ser visto na tabela 8, com valores totalmente alterados.

Devido as estas alterações, houve a necessidade de realizar o estudo para analisar o sistema atual, como será necessário alterar para um sistema de serpentina fria, os dutos de distribuição de ar existentes, mostrados na Figura 7, também deverão ser alterados e passar por um novo dimensionamento.

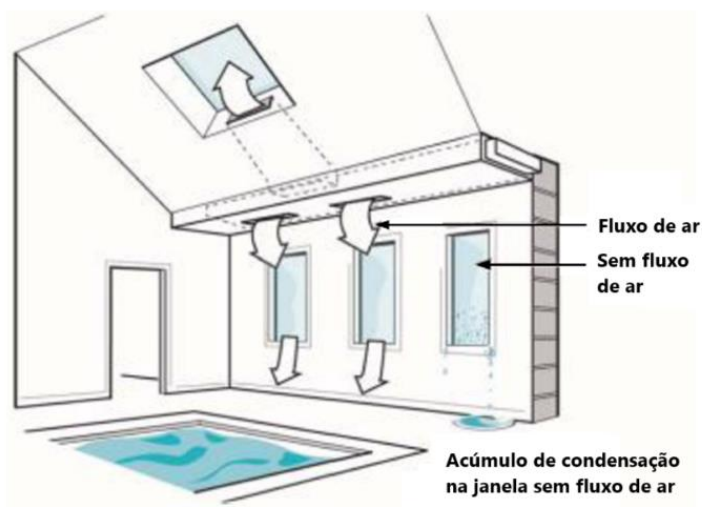
Figura 7 – Dutos utilizados atualmente no ambiente.



Fonte: o autor.

A Figura 8 mostra como deve ser feito o insuflamento do ar frio. O ar deve ser insuflado diretamente no envoltório do ambiente. Esse direcionamento evita que ocorra a condensação no local e que pessoas sofram choque térmico ao sair da piscina aquecida, mantendo o conforto térmico conforme a necessidade de projeto.

Figura 8 – Direção do ar frio a ser insuflado no ambiente.



Fonte: ASHRAE (2019).

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu concluir que o sistema utilizado atualmente através do controle indireto de umidade por diluição com o ar externo, não garante as condições de projeto nos dias considerados de pico, como no verão que possui altas temperaturas e baixa umidade e no inverno com baixas temperaturas e alta umidade. Nesses dias não é possível realizar a diluição com o ar externo, visto que o nível de umidade fica totalmente fora dos parâmetros de projeto.

Nos dias e horários escolhidos é visível o quanto o sistema está em desequilíbrio, a temperatura do ar que deveria estar em 29°C está acima e abaixo dos valores que são considerados de conforto por norma, conforme a Tabela 1. Outro fator importante é a umidade relativa que acentua o desconforto ao estar fora do intervalo de 40% a 60%.

A solução seria a implementação da estratégia de controle direto de umidade por serpentina fria. Esse sistema permite controlar a umidade e temperatura do ar interno, independente da situação climática externa, garantindo sempre as condições de projeto. Por ser um sistema mais complexo, de maior investimento, será necessária uma readequação inclusive no posicionamento dos dutos de insuflamento e novas dimensões para garantir a sua eficiência.

Estas conclusões aplicam-se somente para este estudo de caso, na cidade de Porto Alegre/RS, qualquer outro tipo de instalações em ambientes de piscinas, deve ser feito um novo estudo com novos dados para dimensionamento.

Fica como sugestão para trabalhos futuros, realizar o levantamento de custos para a implementação deste novo sistema, assim como as opções de máquinas disponíveis no mercado ou o novo dimensionamento e posicionamento de novos dutos de insuflamento de ar frio para o ambiente.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Luana Dantas de. **Simulação numérica de distribuição térmica de uma sala de aula com ar-condicionado split e renovação de ar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4589/1/LuanaDA_MONO.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

ASHRAE. **Heating, ventilating, and air-conditioning applications**. 1. ed. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019. Disponível em: https://ia802801.us.archive.org/4/items/ashraehandbook2019hvacapplicationsip_202002/AS%20A%20P%2019%20IP.pdf. Acesso em: 8 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10339**: Piscina: Projeto, execução e manutenção. 2. ed. Versão corrigida. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários: Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários: Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BLUWHALE TILE. **Why Bluwhale Tile?** [S. l.], c2016-2017. Disponível em: <https://www.bluwhaletile.com/introduction.html>. Acesso em: 19 set. 2024.

BRASIL. INMET. **Dados históricos anuais**: ano 2024 (automática até 31/10/2024). Brasília: INMET, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 26 out. 2024.

BRASIL, INMETRO. **Anexo da Portaria INMETRO nº 50**: ano 2013. Brasília: INMETRO, 2024. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/anexov.pdf>. Acesso em 03 nov. 2024.

COSTA, Hugo Santana; MATTOS, Caique Marques; SANTOS, Daniel Cesar Bispo. **Avaliação do uso de peróxido de hidrogênio para diminuição da concentração de cloro livre em águas de piscina de uso recreativo**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química) – Escola Técnica Estadual ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2022. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/11745>. Acesso em: 22 out. 2024.

CRUZ, Allecineia Bispo da; FRANCOS, Maria Solange; AQUINO, Simone. Fungos isolados em um ginásio de esportes na cidade de São Paulo: pontos críticos de controle ambiental para prevenção de micoses em centros recreativos. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 11-20, 2019. Disponível em: <http://periodicos.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/2260>. Acesso em: 14 out. 2024.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, AFSHIN J; Transferência de calor e massa: uma abordagem prática. Ed. McGrawHill, São Paulo, 2009.

DUARTE, Paula Cristina Vieira Monteiro. **Influência da desumidificação no consumo energético em complexos desportivos com piscinas cobertas**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica, Energia, Climatização e Refrigeração) – Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.1/19252>. Acesso em: 22 out. 2024.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GARCIA, Emerson Silami; RODRIGUES, Luiz Oswaldo Carneiro. Hipertermia durante a prática de exercícios físicos: riscos, sintomas e tratamento. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, [s. l.], v. 19, n. 3, 1998. Disponível em: <http://www.rbce.cbce.org.br/index.php/RBCE/article/view/827/496>. Acesso em: 2 out. 2024.

GOOGLE. [Mapa da Avenida Ipiranga, nas imediações do Parque Esportivo PUCRS]. [S. l.]: Google, c2024. 1 mapa, color. Escala -30.0553581,-51.1722375. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/@-30.0553581,-51.1722375,19.75z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTEwOC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 26 nov. 2024.

GONÇALVES, Diogo Alexandre Almeida. **Projecto de AVAC para um edifício escolar com piscina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.21/13731>. Acesso em: 03 set. 2024.

GONÇALVES, Fábio Luiz Teixeira; NEDEL, Anderson Spohr; ALVES, Maria Regina Cardoso. Uma análise da umidade relativa do ar em ambientes internos e externos na cidade de São Paulo: deve-se umidificar ou secar os ambientes internos? **Revista Brasileira de Medicina**, [s. l.], v. 69, n. 7, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Goncalves-14/publication/259194351_Uma_analise_da_umidade_relativa_do_ar_em_ambientes_internos_e_externos_na_cidade_de_SAO_PAULO_deve-se_umidificar_ou_secar_os_ambientes_internos/links/5e849a85299bf130796e2a64/Uma-analise-da-umidade-relativa-do-ar-em-ambientes-internos-e-externos-na-cidade-de-SAO-PAULO-deve-se-umidificar-ou-secar-os-ambientes-internos.pdf. Acesso em: 5 out. 2024.

GRANCONATO, Elaine. Piscinas públicas de SP tem vestiários mofados e fechados. *Agora São Paulo*, São Paulo, 6 jan. 2020. Disponível em: <https://agora.folha.uol.com.br/sao-paulo/2020/01/piscinas-publicas-de-sp-tem-vestiarios-mofados-e-fechados.shtml>. Acesso em: 19 set. 2024.

GUS, Mateus Coimbra; BROFMAN, Eduardo Gus; SECCO, Thiago da Rosa; HELENA, Marcelo Maciel de Santa. **Análise de estratégias de controle de umidade em ambientes de piscina através de simulação termoenergética**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO, 14., 2024, Porto Alegre. Documento em PDF.

LEAL, Joana; RODRIGUES, Matilde; SILVA, Maria Manuela. **Avaliação do ambiente térmico em piscinas cobertas**. Centro de Investigação em Saúde e Ambiente, Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, Vila Nova de Gaia, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/1411>. Acesso em: 5 out. 2024.

LIMANE, Abdelhakim; FELLOUAH, Hachimi; GALANIS, Nicolas. Three-dimensional OpenFOAM simulation to evaluate the thermal comfort of occupants, indoor air quality and heat losses inside an indoor swimming pool. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 167, p. 49-68, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817325938>. Acesso em: 8 out. 2024.

MACHRY, Karine. **Modificação de filtros de ar-condicionado com nanopartículas de cobre com efeito biocida para ambientes indoor rooms**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13274>. Acesso em: 22 out. 2024.

MATIAS, Nuno Alexandre de Almeida Nunes. **Condições ambientais de piscinas interiores**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/20143>. Acesso em: 5 out. 2024.

MOHAMED, Houssameldin M. *et al.* **Thermal Comfort Conditions of an Indoor Hot-Climate Swimming Pool.** Qatar, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3801514/v1>. Acesso em: 3 set. 2024.

OLIVEIRA, Marta Sofia Ricardo. **Projeto de aquecimento, ventilação e ar condicionado e solar térmico de um edifício de piscinas.** 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Energia, Climatização e Refrigeração) – Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Portugal, 2020. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/entities/publication/a55d340e-787c-4568-a3d3-bba71f554d88> Acesso em: 3 set. 2024.

PUCRS. Parque Esportivo. **Quem somos.** Porto Alegre: PUCRS, c2024. Disponível em: <https://www.pucrs.br/parqueesportivo/sobre-o-parque/quem-somos/>. Acesso em: 22 set. 2024.

ROSSO, Bruno de. **Psicrometria aplicada à climatização & refrigeração:** guia prático. 1. ed. Caxias do Sul: São Miguel, 2022.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual prático de avaliação e controle de calor:** PPRA. 3. ed. São Paulo: LTr, 2010.

SANTOS, Mariana Isabel Almeida. **Avaliação do Desempenho Higrotérmico de Ginásios: Qualidade do Ambiente Interior e Risco de Condensação.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação) – Instituto Politecnico de Viseu, Portugal, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.19/3016>. Acesso em: 8 out. 2024.

SANTOS, Ruanna de Paiva. **Dimensionamento da carga térmica de uma academia.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/e913ea87-c069-410e-b34b-19539dfbb895/content>. Acesso em: 14 out. 2024.

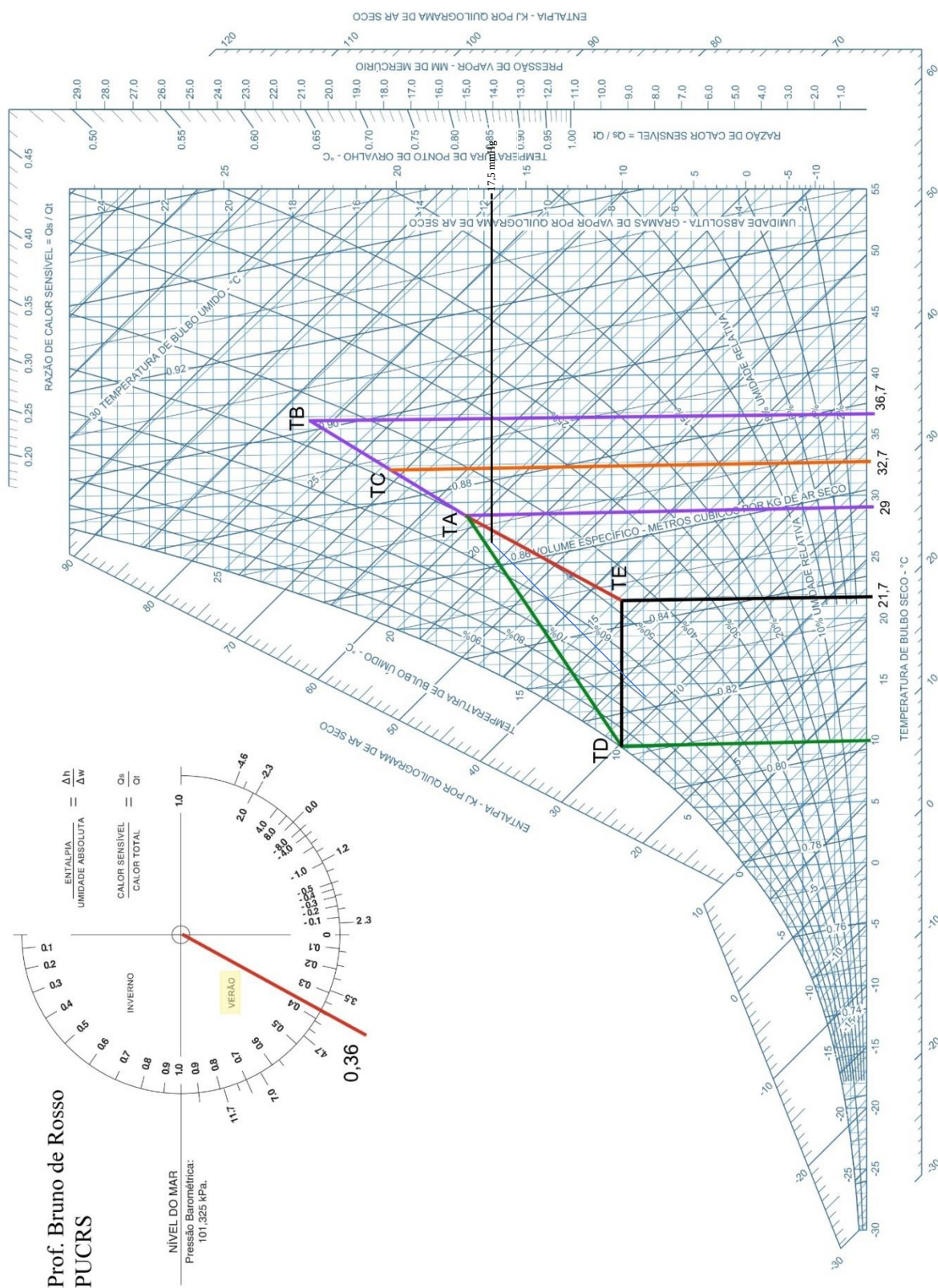
SILVA, Aleson JA; FONSECA, José Erinaldo; NUNES, Bruno Moser. Análise físico-química da resistência do chuveiro elétrico através do processo de fadiga e corrosão. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, [s. l.], v. 12, n. 3, 2020. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/15162/209209213697>. Acesso em: 22 out. 2024.

TARINI, Victor A. F. *et al.* Calor, exercício físico e hipertermia: epidemiologia, etiopatogenia, complicações, fatores de risco, intervenções e prevenção. **Revista Neurociências**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 144-152, 2006. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/neurociencias/article/download/8751/6285>. Acesso em: 2 out. 2024.

VENÂNCIO, Ketlyn Mayara dos Reis. **Comparativo de métodos construtivos de piscinas com estrutura metálica e painéis pré-moldados em edificações na cidade de vacaria-rs.** 2020. Trabalho de conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIFACVEST, Vacaria, 2020. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/138a2-venancio,-k.-m.-r.-comparativo-de-metodos-construtivos-de-piscinas-com-estruturametallica-e-paineis-pre-moldados-em-edificacoes-na-cidade-de-vacaria---rs,-2020.-tcc-defendido-em-julho-de-2.pdf>. Acesso em: 3 set. 2024.

WORLD AQUATICS. **Swimming world record validation.** [S. l.], 2024. Disponível em: https://resources.fina.org/fina/document/2024/06/28/e4812852-f0be-4a58-bb5a-2aa2d27fcf27/AQUA-World-Record-Validation-Swimming_NEW.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

ANEXO A – Análise psicrométrica para o dia de verão.



ANEXO B – Análise psicrométrica para o dia de inverno.

