

## ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE TERMOACUMULAÇÃO EM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

**Andressa Ullmann Duarte** – andullmann@yahoo.com.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, www.pucrs.br/politecnica/

**Bruno de Rosso Ribeiro** – bruno.ribeiro@pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, www.pucrs.br/politecnica/

R1 – Sistemas, equipamentos e componentes

**Resumo.** *Ao projetar um sistema de ar condicionado, sua capacidade deve ser baseada no horário de maior exigência do sistema. Em consequência disto, ocorrem o superdimensionamento destes equipamentos e sua ociosidade por longos períodos de tempo. A implantação da termoacumulação possibilita o projeto de um sistema com capacidade abaixo da máxima necessária, reduzindo a potência instalada. Além disto, permite também a independência da produção e utilização do frio, por meio da transferência de horário de produção do horário de ponta, onde a tarifação é mais alta, para um horário fora de ponta. Nesse cenário, esse trabalho apresenta uma análise da possibilidade de redução de custos na fatura energética, por meio da implantação de um tanque de termoacumulação ao sistema de climatização de uma universidade, localizada na cidade de Porto Alegre – RS. Para fins de avaliação, foram selecionados chillers para os cenários com e sem termoacumulação. Observou-se uma economia de 9,37% no consumo de energia elétrica, considerando somente o consumo dos chillers durante o dia analisado, levando-se em consideração as duas situações comparadas. Outra questão relacionada à implantação do reservatório é a possibilidade de um equipamento com capacidade abaixo da exigida pelo pico do sistema, verificando-se, no caso estudado, uma redução de 34% na capacidade do equipamento instalado no sistema com termoacumulação se comparado ao sistema sem o reservatório.*

**Palavras-chave:** termoacumulação, climatização, água gelada, gerenciamento energético.

### 1. INTRODUÇÃO

Em um cenário em que a energia elétrica se apresenta cada vez mais onerosa, edifícios comerciais e institucionais buscam alternativas para usufruir deste recurso de forma mais eficiente.

O ar condicionado, principalmente no período do verão, influencia de maneira significativa episódios de picos de demanda de energia elétrica. Essa carga exigida soma-se ao comportamento já acentuado por situações que não permitem transferência no tempo, como, por exemplo, utilização de equipamentos, iluminação, elevadores, entre outros. O controle de uma parcela do gasto de energia pode ser efetivado pelo gerenciamento das demandas dos sistemas de condicionamento de ar, por meio de armazenamento de energia térmica (Viana et al., 2012).

Os sistemas de climatização são projetados com base no levantamento de carga térmica, a qual varia de acordo com o fluxo de pessoas no ambiente, posição em relação ao sol, temperaturas externas, equipamentos presentes no ambiente, entre outras fontes de calor, apresentando oscilações durante o dia. Dentro desse período de oscilação, o edifício apresenta um pico de consumo para o qual o sistema é dimensionado para suprir. Fora desse período, ou seja, durante a maior parte do dia, a instalação trabalha abaixo da capacidade instalada (Stoecker e Jones, 1985).

O acúmulo de água gelada, também denominado de termoacumulação, é inserido de maneira positiva, visando a redução dos gastos energéticos do sistema de climatização, além de apresentar possibilidade de ampliação da capacidade da planta (Dombrosky, 2012). A termoacumulação absorve potência da instalação, quando a mesma opera abaixo da capacidade instalada, compensando a carga térmica do sistema quando não há exigência da demanda térmica máxima (Allenge, 2018).

Além de ser atraente do ponto de vista de custos operacionais, a termoacumulação separa o horário de geração de resfriamento do horário de consumo. Essa característica além de deslocar a carga térmica, oferece o gerenciamento energético do sistema, permitindo que este opere nos períodos em que as condições são mais favoráveis.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é analisar a redução no gasto de energia, com a implantação de acumulação térmica, interligada ao sistema de climatização do edifício em um campus universitário, localizado na cidade de Porto Alegre – RS.

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para desenvolver o presente trabalho foram revisados alguns conceitos importantes, para a devida inserção da alternativa proposta no atual cenário energético do país e, justificando, por meio de conceitos técnicos, a eficiência do processo de termoacumulação interligado ao sistema de climatização do edifício da universidade.

## 2.1 Carga térmica

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada ou fornecida em um ambiente, com a finalidade de manter as condições adequadas para conservação de produtos e equipamentos, realização de atividades, ou conforto do ser humano (Matos, 2015).

A carga térmica de um ambiente é composta por diversas fontes de calor, como infiltração de calor externo pelas estruturas do edifício, condução pelas paredes, dissipação por equipamentos e produtos existentes no ambiente, fluxo de pessoas, abertura de portas e janelas, entre outros (Miller; Miller, 2014).

A carga térmica total é composta por duas componentes: a carga térmica sensível e a carga térmica latente. A carga térmica sensível é a quantidade de calor responsável pela manutenção da temperatura pré-definida em um ambiente, sendo um fenômeno exclusivamente convectivo. Já a carga térmica latente é a quantidade de calor que deverá ser retirada ou inserida no ambiente, com a finalidade de controle da umidade. (Neto, Tribess, Vittorino, 1999).

### 2.1.1 Perfil de carga

O perfil de carga é a representação da carga térmica em um período de tempo (ASHRAE, 2012), e depende do uso da instalação e das características do projeto.

Para o projeto de um sistema com armazenamento térmico o perfil de carga deve ser calculado para todo o ciclo de carga-descarga. É de extrema importância que haja uma estimativa correta de todas as atividades geradoras de calor no ambiente, como horários de ocupação, iluminação e utilização de equipamentos (Dorgan; Elleson, 1993).

O perfil de carga é representado de forma gráfica, contendo o levantamento da carga do sistema ao longo do ciclo completo de resfriamento. A partir da representação é possível identificar a carga máxima exigida, a qual deve ser atendida pela instalação (ASHRAE, 2012).

## 2.2 Conforto térmico

Conforto térmico é a satisfação que a mente expressa com o ambiente térmico onde o indivíduo está (ASHRAE, 2009). Porém, esta definição não trata somente de uma percepção individual, é um conceito que envolve parâmetros ambientais, como temperatura do ar, temperatura de superfícies circundantes, umidade e velocidade do ar, condições pessoais, como vestimenta, e fisiológicas (Stoecker; Jones, 1985).

Os fatores fisiológicos estão ligados às condições dos ocupantes do ambiente. O corpo humano libera calor por evaporação ou troca de calor sensível. A taxa metabólica determina a quantidade de calor liberado, e é um fator vinculado diretamente ao nível de atividade física exercida pelo indivíduo (Wang; Lavan; Norton, 2000).

No entanto um sistema de condicionamento de ar é projetado para controlar, principalmente, os parâmetros ambientais, já que os outros dois fatores estão sujeitos a muitas variações. A Tabela 1 apresenta os parâmetros ambientais considerados de conforto térmico estipulado pela NBR 16401-2, válidos para grupos homogêneos de pessoas, em atividade leve e com vestimenta típica da estação.

Tabela 1. Parâmetros de conforto térmico (NBR 16401-2, 2008).

Estação	Temperatura operacional	Umidade relativa
Verão	22,5°C a 25,5°C	65%
	23,0°C a 26,0°C	35%
Inverno	21,0°C a 23,5°C	60%
	21,5°C a 24,0°C	30%

A NBR 16401-2 (2008) ainda indica a velocidade média do ar na zona de ocupação, não devendo ultrapassar 0,20 m/s, distribuição de ar convencional, e 0,25 m/s, distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento, no verão. No inverno as velocidades devem ser menores ou iguais a 0,15 m/s, distribuição de ar convencional, e 0,20 m/s, distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento.

## 2.3 Sistema de climatização

O sistema de climatização em edificações de grande porte deve ser projetado de tal modo que o impacto do sistema no consumo energético seja minimizado. Desta maneira, é comum a instalação de sistemas centrais de expansão indireta. O sistema de expansão indireta utiliza um fluido intermediário para realizar a troca com o ar do ambiente a ser condicionado. Esse fluido intermediário, normalmente a água, é resfriado em uma planta de climatização composta por equipamentos que cumprem papéis específicos na instalação.

### 2.3.1 Chiller

Os *chillers* são unidades resfriadoras de líquido, e constituem a parte fundamental do processo de refrigeração. São selecionados de acordo com a capacidade necessária e podem ser classificados de acordo com a Tab. 2, sendo a capacidade indicada em toneladas.

Tabela 2. Modelos e capacidades de *chillers* (Adaptado de DORGAN, 1993).

Tipo	Faixas de capacidade			
	Modelos disponíveis		Faixa de seleção	
	Ton	kWh	Ton	kWh
Alternativo	<25 - 450	<90 - 1600	<25 - 150	<90 - 530
Parafuso	25 - 1250	90 - 4400	50 - 500	180 - 1800
Centrífugo	80 - 10000	280 - 35000	200 - 2,000	700 - 7000
Scroll	<20 - 60	<70 - 210	20 - 60	70 - 210
Absorção	40 - 1600	140 - 5600	200 - 1,600	7000 - 5600

### 2.4 Termoacumulação

A termoacumulação é uma forma de armazenamento de energia térmica em reservatórios, que variam a capacidade de acordo com a exigência do sistema que irá atender. A energia pode ser armazenada por água gelada ou gelo.

As primeiras instalações eram ligadas a sistemas de comportamentos similares: cargas térmicas de elevada intensidade, curta duração e que os equipamentos estivessem grande tempo inativos (Matos, 2015).

Porém, o interesse pelo processo se expandiu para outros perfis de usuários, principalmente do setor comercial, após as décadas de 1970 e 1980, quando as distribuidoras reconheceram a necessidade de reduzir a demanda de energia (Dorgan; Elleson, 1993).

Apesar da expansão dos perfis de usuários, para a implantação do sistema de acumulação térmica, Dorgan e Elleson (1993) destacam a importância do estudo das características da instalação e citam alguns critérios que devem ser avaliados no sistema para a escolha do tipo de armazenamento, dentre eles:

- A carga máxima de resfriamento da instalação é significativamente maior que a carga média;
- A estrutura da taxa de serviços públicos de eletricidade inclui altas taxas de demanda e um diferencial entre as taxas do horário de ponta e fora de ponta;
- As cargas de resfriamento ultrapassam a carga média duas ou mais vezes ao dia.

Além da escolha do tipo de armazenamento mais adequado para o perfil do usuário em questão, o armazenamento de energia térmica conta com dois modos operacionais, parcial e completo, que são selecionados com base na estrutura da taxa de eletricidade, perfil de carga de resfriamento, tamanho e capacidade da planta de resfriamento (Khan; Rasul; Khan, 2004).

No armazenamento completo, o chiller trabalha para atender a demanda de pico, deslocando por completo a carga de frio das horas de ponta para um horário fora de ponta, como mostra a Figura 1. A instalação do modo operacional completo é justificada para taxas de demanda altas, diferencial entre horário de ponta e horário fora de ponta alto e período de demanda de pico curto (PNNL, 2000).

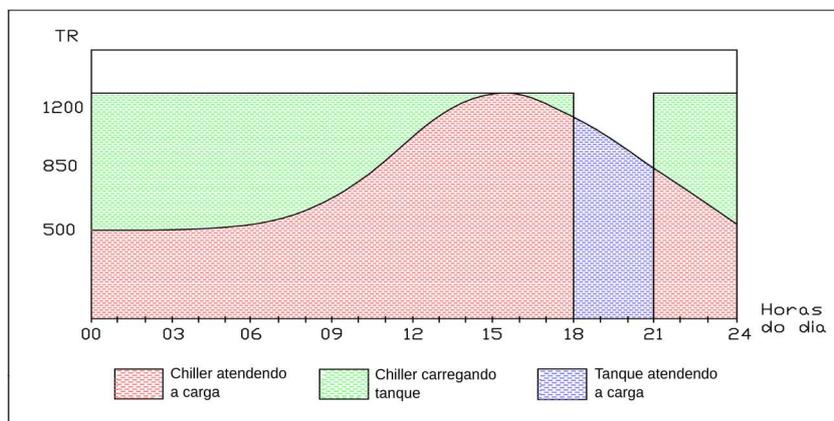


Figura 1. Modo operacional de armazenamento completo (Adaptado de Dombrosky, 2012).

Já no armazenamento parcial o chiller funciona de maneira integral, armazenando frio durante a noite e atendendo a carga do sistema durante o dia. Nesse modo, a carga do sistema é nivelada com a ajuda do uso do frio armazenado durante a noite (PNNL, 2000). Mesmo funcionando 24 horas, a capacidade do chiller pode ser reduzida em até 60% (Viana, et al., 2012).

O armazenamento parcial é dividido em duas versões, nivelamento de carga e demanda limitada. Na versão de armazenamento parcial por demanda limitada, conforme apresenta a Figura 2, a operação do chiller é reduzida no momento de pico do sistema, mas não eliminada como acontece no armazenamento completo. O armazenamento parcial é dividido em duas versões, nivelamento de carga e demanda limitada. Na versão de armazenamento parcial por demanda limitada, conforme apresenta a Figura 2, a operação do chiller é reduzida no momento de pico do sistema, mas não eliminada como acontece no armazenamento completo.

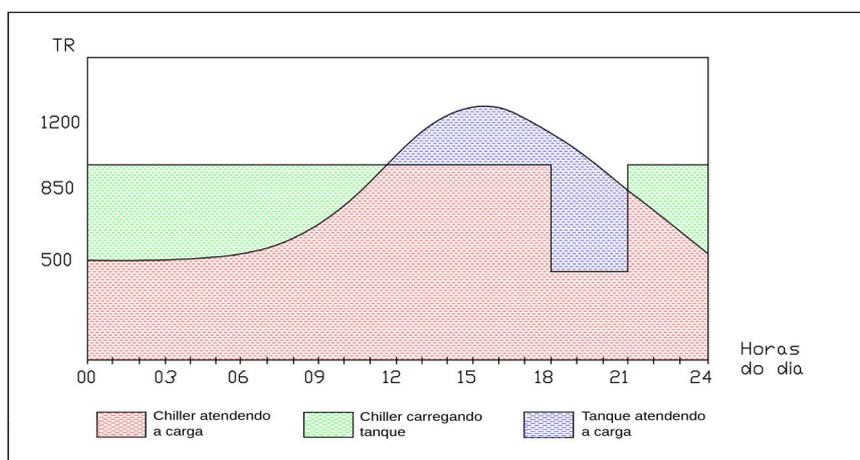


Figura 2. Modo operacional armazenamento parcial com demanda limitada (Adaptado de Dombrosky, 2012).

Já o modo de nivelamento de carga é projetado para o *chiller* operar em plena carga. O frio armazenado no tanque é utilizado no momento em que a carga exigida pelo sistema é maior que a capacidade máxima do *chiller*, ou seja, no momento de pico. É um modo operacional atraente quando os incentivos a deslocamentos de carga são moderados e o período de pico é longo (PNNL, 2000). A Fig. 3 apresenta o comportamento de um sistema com armazenamento parcial do tipo demanda limitada.

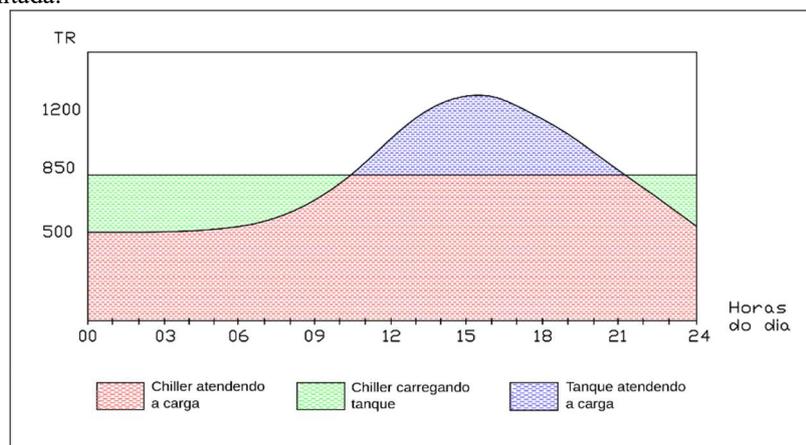


Figura 3. Modo operacional armazenamento parcial com nivelamento de carga (Adaptado de Dombrosky, 2012).

Um sistema de armazenamento térmico projetado e instalado de forma correta reduz os custos operacionais, a dependência dos serviços elétricos e o tamanho dos equipamentos, aumenta a flexibilidade operacional e permite a expansão da capacidade de um sistema existente (Dorgan; Elleson, 1993).

## 2.5 Classificação dos sistemas de armazenamento

Os sistemas térmicos podem ser classificados conforme o meio de armazenamento e a tecnologia aplicada ao meio. O armazenamento de energia térmica pode ser efetivado por meio de água gelada ou gelo.

### 2.5.1 Armazenamento de gelo

Para armazenamento de energia, sistemas de gelo utilizam o calor latente do mesmo, próximo de 334 kJ/kg, a uma temperatura de 0°C, conforme a ASHRAE (2003). Os sistemas de gelo têm menor volume se comparado a um sistema de armazenamento de água (Rutberg et al., 2013). O volume de armazenamento, considerando um tanque totalmente carregado, está na faixa de 0,02 a 0,03 m³/kWh (Dorgan; Elleson, 1993). Para uma mesma capacidade de refrigeração, o volume do armazenamento de gelo chega a 12% do total do sistema de água (Wang; Lavan; Norton, 2000). Todavia,

nessa forma de armazenamento o *chiller* deve fornecer fluido a temperaturas entre -9 e -3°C, faixa abaixo do normal de operação convencional de equipamentos utilizados para sistema de ar condicionado (Dorgan; Elleson, 1993).

### 2.5.2 Armazenamento de água gelada

A água gelada é a forma mais simples de armazenar energia térmica, por meio do calor sensível do fluido, em torno de 4,184 kJ/kg. Esse armazenamento é baseado na separação das camadas de menor e maior temperatura da água (Dorgan; Elleson, 1993).

Normalmente os sistemas trabalham armazenamento do fluido a temperaturas entre 4 e 6°C (ASHRAE, 2012). Segundo Dorgan e Elleson (1993), o volume armazenado em um reservatório de água gelada, é de aproximadamente 0,086 m<sup>3</sup>/kWh.

Diversos métodos de separação da água podem ser utilizados, como estratificação, múltiplo tanque, diafragma e labirinto, porém atualmente os tanques estratificados são os mais utilizados por apresentarem maior simplicidade e baixo custo (Wang; Lavan; Norton, 2000).

## 2.6 Estratificação térmica

No processo de estratificação, a água é armazenada em um tanque, com camadas de menor e maior temperatura estratificadas pela diferença de densidade entre elas (Wang; Lavan; Norton, 2000). Existem tanques de diversas formas para armazenamento de água, no entanto, os verticais são os mais comuns (ASHRAE, 2012).

Durante a carga do sistema, a água de retorno é retirada pela parte superior, resfriada e devolvida ao tanque pela parte inferior, por difusores que minimizam a turbulência causada pelas correntes de entrada e saída do fluido no tanque (Rutberg Et al., 2013). A ASHRAE (2012) classifica os difusores em dois modelos: difusores em tubos e difusores em disco radial.

Os tanques estratificados mantêm uma zona de transição entre as zonas superior e inferior do tanque, impedindo que os fluidos em diferentes temperaturas se misturem (Dorgan; Elleson, 1993). A formação dessa zona é um ponto importante para determinar a eficiência do tanque, quanto menor essa camada de transição maior é o volume utilizável (ASHRAE, 2012).

O volume de acumulação depende da diferença de temperatura da água, podendo ser reduzido de acordo com o aumento do diferencial de temperatura entre as camadas (Rutberg et al., 2013). A ASHRAE (2012), apresenta o método de cálculo para determinação do volume necessário na instalação, que é apresentado pela Equação 1.

$$V = \frac{X.3600000}{Cp_{\text{água}}.\Delta T.SG.\rho_{\text{água}}.eff} \quad (1)$$

Onde:

V = volume do tanque [m<sup>3</sup>]

X = capacidade térmica necessária [kWh]

Cp<sub>água</sub> = calor específico da água [J/kg.K]

ΔT = diferencial de temperatura [K]

SG = gravidade específica

ρ<sub>água</sub> = massa específica da água [kg/m<sup>3</sup>]

eff = eficiência do tanque

A eficiência do tanque é determinada pela zona de separação das camadas fria e quente, assim como pelo espaço acima e abaixo dos difusores, o qual não é incluído no volume utilizável (ASHRAE, 2012).

A termoacumulação estratificada pode ser instalada de tal maneira que o *chiller* atenda somente o tanque, facilitando o controle do sistema, como mostra a Figura 4. O *chiller* carrega o tanque de forma contínua e o tanque alimenta o sistema, conforme a carga exigida ao longo do dia.



Figura 4. Sistema de resfriamento com termoacumulação estratificada (Adaptado de MAYEKAWA, 2018).

O *chiller* alimenta o tanque com a carga pré-definida, conforme a sua capacidade. Parte dessa carga é repassada ao sistema e o restante é acumulado no tanque. A energia acumulada é enviada ao sistema no momento que a instalação exige a demanda máxima, a qual o *chiller*, que apresenta uma capacidade menor que o pico do sistema, não consegue atender sozinho. Garantindo que o *chiller* forneça ao tanque a capacidade exigida para atendimento do sistema durante as 3 horas de horário de ponta, além do pico do sistema, se o mesmo não estiver contido dentro desse período de ponta, o *chiller* pode ser desligado durante o horário de ponta, determinado pela concessionária de energia, economizando o pagamento da tarifa onerosa do horário de ponta de acordo com a estrutura de preços estipulada pela concessionária.

A instalação conta com conjuntos de bombas primárias e secundárias, com a finalidade de garantir a circulação do fluido. As bombas primárias têm como função garantir a circulação da água entre o tanque e o *chiller*. Já as bombas secundárias, equipadas com inversor de frequência, serão responsáveis pelo envio da água gelada para o sistema e retorno para o tanque.

O controle do sistema é realizado pela medição de temperatura por transmissores acoplados ao longo do tanque. Após a leitura da temperatura de retorno da água, os sensores fazem uma analogia com a temperatura de entrada da água no sistema, com base no diferencial entre as duas temperaturas, os inversores atuam nas bombas.

Se o diferencial de temperatura é pequeno, indica que o consumo térmico no sistema é menor que a carga que está sendo enviada, logo o inversor diminui a rotação reduzindo a vazão das bombas secundárias. No caso de um diferencial de temperatura maior, o inversor pela alta rotação aumenta a vazão enviada ao sistema para consumo.

## 2.7 Energia elétrica

### 2.7.1 Classificação dos consumidores

As unidades consumidoras de energia elétrica são divididas em grupos tarifários, conforme a Resolução Normativa ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 414/2010. Esses grupos são divididos, principalmente, segundo o nível de tensão em que são atendidos e em função da demanda (ELETROBRAS, 2011). No grupo A estão contidos todos os consumidores que recebem tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou são atendidos por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária. São caracterizados pela tarifa binômica, ou seja, a tarifa de fornecimento é constituída pelos preços do consumo de energia elétrica ativa e a demanda faturável, e ainda podem ser subdivididos conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos subgrupos do Grupo A (ANEEL, 2018)

Subgrupos	Tensão de fornecimento
A1	Maior ou igual a 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 25 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Inferior a 2,3 kV

Os consumidores do grupo A, ainda, estão sujeitos a três modalidades tarifárias distintas: convencional binômica, horária verde e horária azul.

Os clientes que se enquadram na tarifa convencional pagam pela demanda contratada e pela energia consumida independente da hora de utilização durante o dia. Já os que pagam tarifa horária estão sujeitos a valores diferenciados de

demanda contratada e de energia conforme as horas de utilização. Na tarifa horária azul, o cliente paga o valor da energia elétrica e da demanda de potência, conforme as horas de utilização do dia. Já na tarifa horária verde, o consumidor paga tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, e uma única tarifa de demanda de potência.

No Anexo A são apresentados os valores de energia e demanda, em R\$ sem impostos, das modalidades tarifárias horária azul e verde, vigentes a partir de maio de 2017, de acordo com a Resolução Homologatória ANEEL nº 2.214/2012.

Os valores do Anexo 1, ainda estão sujeitos a acréscimos de acordo com as bandeiras tarifárias, sofrendo adicional de 0,020 R\$/kWh em bandeira amarela, 0,030 e 0,035 R\$/kWh em bandeira vermelha patamar 1 e patamar 2, respectivamente.

São classificados como Grupo B, todos os consumidores que recebem tensão inferior a 2,3 kV e são caracterizados pela tarifa monômnia, ou seja, realizam o pagamento somente do consumo de energia elétrica, independente das horas de utilização do dia.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizado o método quantitativo, realizando a análise da exigência da demanda térmica da construção analisada, com a finalidade do dimensionamento do tanque e posteriormente a análise da economia gerada pelo sistema proposto, comparando-o a um sistema sem o uso da termoacumulação.

O estudo é realizado segundo as características do edifício de uma universidade situada na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Para o desenvolvimento do trabalho foi considerado apenas dois blocos, dos seis existentes no edifício, com três andares cada.

#### 3.1 Sistema proposto

O estudo propõe a implantação de um tanque de água gelada entre os sistemas primários e secundários, semelhante ao exemplo ilustrado na Fig. 4. O fluxo de água enviado ao sistema é regulado pela controle de temperatura da água de retorno do circuito secundário ao tanque.

Em razão do presente estudo ter a finalidade de analisar a termoacumulação aliada a um sistema de climatização, foi escolhida a utilização de água gelada como forma de armazenamento de energia térmica, considerando as temperaturas necessárias para oferecer o conforto térmico adequado.

Com a finalidade de aproveitar as vantagens oferecidas pelo acúmulo de água gelada, o *chiller* foi selecionado com base na carga média da planta, possibilitando a instalação de um equipamento com capacidade menor que o pico exigido pelo sistema.

#### 3.2 Dimensionamento do tanque

Para o dimensionamento do tanque de termoacumulação foi estimada a variação da carga térmica exigida em um dos dias mais quentes do mês de março na cidade de Porto Alegre, tendo em vista que neste período há o retorno às aulas e maior movimentação de pessoas.

O perfil de carga foi determinado por meio do *software* CTVer versão 3.0.

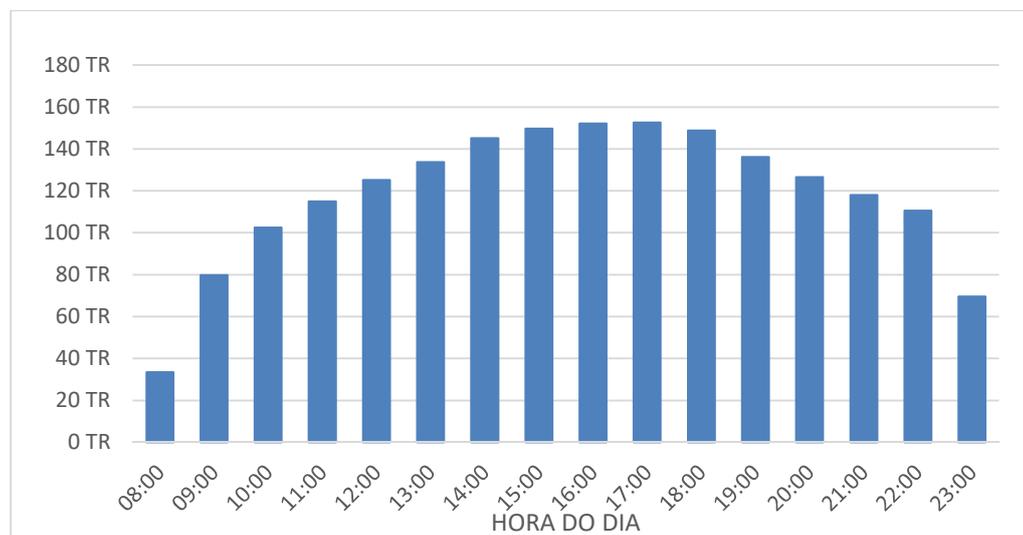


Figura 5. Perfil de carga térmica diária.

Na análise da carga utilizada para cálculo do volume útil do tanque, foi considerada a carga necessária no horário de ponta, que compreende o período das 18 às 21 horas, somada a carga excedente à média da distribuição diária, das demais horas do dia.

Foi selecionado um reservatório vertical com volume total, segundo a Eq.1, de 352 m<sup>3</sup>, para uma eficiência de 80%.

Para o dimensionamento do reservatório, foi considerada uma diferença de temperatura de 7 graus entre a água de saída e a água de retorno ao tanque, sendo essas temperaturas de 5°C e 12°C, respectivamente.

### 3.3 Operação com termoacumulação

No modelo proposto, os *chillers* operam em carga plena, no período das 8 às 23 horas. Durante esse tempo os *chillers* atendem, prioritariamente, o sistema, sendo o excesso de energia produzido armazenado no tanque. Do contrário, nos momentos em que a carga necessária excede a capacidade máxima instalada, o tanque complementa a carga oferecida pelo *chiller* para completar a demanda de carga requerida. Já no horário de ponta, os *chillers* são desligados e o tanque supre completamente a carga necessária dos ambientes. Nesse contexto, o sistema de termoacumulação opera no modo de armazenamento total e nivelamento de carga. É possível observar que durante um período de 8 horas, o tanque trabalha junto ao *chiller* em regime de armazenamento parcial com nivelamento de carga, e, durante 3 horas, opera em modo de armazenamento total, conforme apresentado na Fig.6.

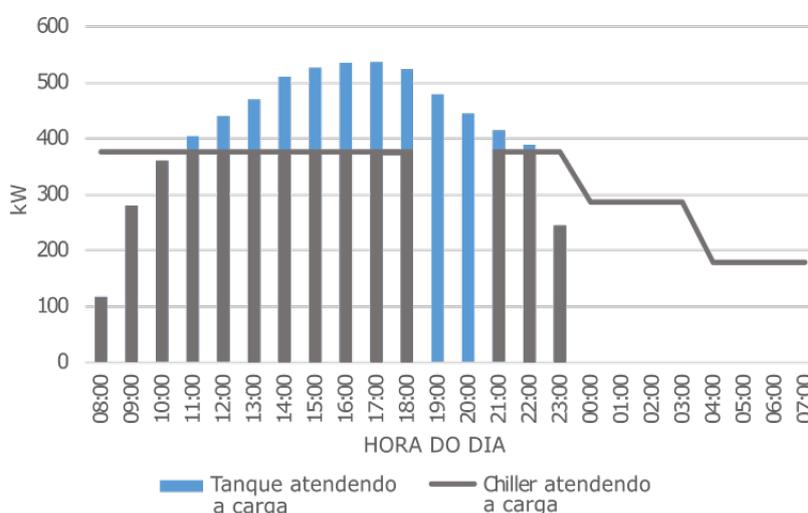


Figura 6. Modo operacional de armazenamento completo e nivelamento de carga.

Com a finalidade de suprir a necessidade do sistema, foram selecionados dois *chillers* com capacidade nominal total de 60 TR cada, sendo esses compostos por 4 módulos cada (1 *inverter* + 3 fixos).

As especificações técnicas dos módulos dos *chillers* podem ser observados na Tab. 4.

Tabela 4. Especificações técnicas dos módulos dos *chillers*.

Marca/Modelo	Carrier 30EVA15	Carrier 30EXA15
Capacidade efetiva	40,2 kW	49,3 kW
Compressor	Scroll	Scroll
Temperatura saída da água	5°C	5°C
ΔT água	7°C	7°C
Consumo elétrico	13,4 kW	16,3 kW
Vazão d'água	4,9 m <sup>3</sup> /h	6,0 m <sup>3</sup> /h

### 3.4 Operação sem termoacumulação

Em um sistema de climatização sem termoacumulação, os equipamentos, como já mencionado, devem ser dimensionados para suprir a demanda máxima da planta. Conforme a carga máxima indicada pelo perfil de carga térmica, apresentado na Fig.5, de aproximadamente 537kW, para o dia analisado, foram selecionados *chillers* considerando um sistema de água gelada. Os *chillers* selecionados possuem módulos com as mesmas características técnicas dos indicados para o sistema com termoacumulação, no entanto, com uma capacidade nominal de 90TR cada, ou seja, um total de 180TR. Cada *chiller* conta com 6 módulos (1 *inverter* + 5 fixos).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A comparação realizada entre o cenário com e sem termoacumulação trata da diferença do consumo elétrico dos *chillers* utilizados, nos sistemas comparados e na redução na fatura energética, dada pelo deslocamento da produção da carga do horário de ponta para as demais horas do dia.

Tendo em vista que a termoacumulação propõe um gerenciamento energético do sistema, ou seja, deslocamento de cargas, a redução em horário de ponta resulta em um prolongamento do uso do *chiller* após as 23 horas, quando momento no qual o sistema de climatização é desligado, como é possível verificar pelo perfil de carga térmica, representado no gráfico na Fig.7. Durante esse período de tempo, a máquina opera repondo a energia ao tanque, para que o reservatório tenha autonomia de sustentar a exigência da planta no horário demandado.

No gráfico da Fig. 7 também está representado o comportamento da carga acumulada no tanque ao longo do dia e no seu período de recuperação, juntamente ao período de funcionamento do *chiller*. Pode-se verificar que no período de recuperação do frio no tanque, há a vantagem de operar com os módulos dos *chillers* utilizando somente a capacidade necessária para recuperação durante a madrugada.

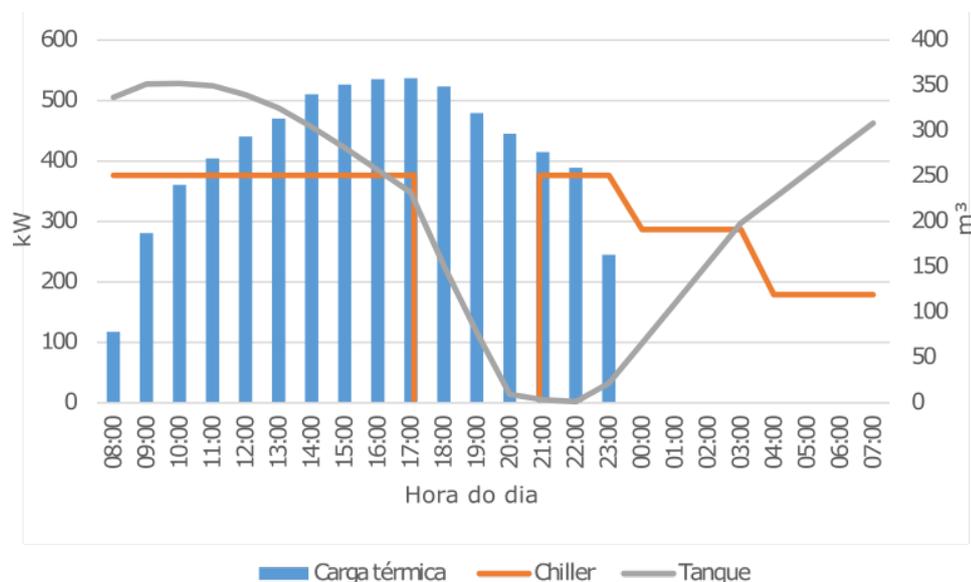


Figura 7. Comportamento do tanque conforme necessidade do sistema.

A instalação elétrica da universidade está incluída no subgrupo A3 de fornecimento de energia, com taxação conforme critérios da tarifa horosazonal azul. Para verificação da influência da termoacumulação nas faturas de energia, as parcelas de consumo e demanda foram estruturadas em planilhas eletrônicas, para que fossem submetidas às tarifas referentes ao grupo em que se encontra a universidade, conforme valores apresentados no Anexo A.

Para esta análise, foi considerado somente o consumo das unidades resfriadoras. Na Tab. 5 é apresentado o consumo dos *chillers* nos sistemas de condicionamento do ar, para o dia considerado no presente trabalho, onde foram calculados os valores finais com aplicação somente da tarifa azul. Para a composição da tabela e determinação do consumo elétrico das máquinas, foi considerado o módulo inverter operando na totalidade de sua capacidade, desprezando qualquer variação de consumo em virtude da compensação da capacidade dos módulos fixos. Para fins de cálculo, a operação dos *chillers* no sistema com termoacumulação foi estipulada da seguinte maneira: das 0 h às 4 h ambos os *chillers* permanecem em operação, um operando com 4 módulos (1 *inverter* e 3 fixos), e o outro com dois módulos (1 *inverter* e 1 fixo); no período das 4 h às 7 h considerou-se ambos os *chillers* operando com apenas dois módulos (1 *inverter* e 1 fixo). Ressalta-se a possibilidade da realização de outras combinações de operação dos *chillers* durante a madrugada, já que a situação desobriga o sistema a oferecer a carga máxima, tornando possível modular as capacidades conforme a necessidade e tempo disponível, podendo trabalhar com o melhor COP, conforme apresentado nos catálogos dos *chillers* em dados de performance.

Tabela 5. Consumo dos *chillers* no período de 24 horas.

COM TERMOACUMULAÇÃO				SEM TERMOACUMULAÇÃO			
Ponta		Fora de Ponta		Ponta		Fora de Ponta	
Potência máxima [kW]	Consumo diário [kWh]						
		124,6	2.210,2	189,8	487,9	189,8	1.722,3

A partir dos dados de consumo apresentados na Tab. 5, elaborou-se a Tab 6, onde podem ser verificados os custos de consumo de energia elétrica por um período de 24 horas. Os valores finais foram calculados considerando-se somente a aplicação da tarifa azul.

Tabela 6. Gasto em R\$ de energia elétrica dos sistemas.

COM TERMOACUMULAÇÃO		SEM TERMOACUMULAÇÃO	
Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta
R\$ -	R\$ 687,61	R\$ 222,88	R\$ 535,82

De acordo com os dados apresentados na Tab. 6, ao comparar entre si o custo em reais do consumo de energia gerado pela utilização dos sistemas com e sem termoacumulação, é possível verificar que o cenário com termoacumulação apresenta uma redução de 9,37% no valor em R\$, sendo esse valor responsável somente pelo deslocamento da produção de carga, para um horário com tarifação menor.

Ao comparar a capacidade instalada nos dois sistemas em estudo, é possível verificar uma redução de 34% da capacidade dos equipamentos instalados para suprir a necessidade do sistema junto ao reservatório, considerando 120TR para o sistema com termoacumulação e 180TR para a instalação sem a termoacumulação.

Os cálculos apresentados representam a análise de valores para um dos piores dias do mês de março, não levando em consideração os demais meses do ano, como por exemplo os meses junho, julho e agosto, onde a situação da redução do custo de energia pode não se apresentar significativa na fatura energética mensal.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com a análise realizada, a implantação de um sistema de termoacumulação possibilita a redução dos gastos com energia elétrica. A análise, também, confirma que a implantação do tanque se apresenta como forma de gerenciamento energético do sistema, já que não houve redução do consumo total ao comparar os dois cenários.

Sendo um sistema de deslocamento de carga do horário de ponta para o horário fora de ponta, o *chiller* trabalha por um período maior que em um sistema sem termoacumulação. Entretanto a reorganização do regime de operação do sistema como um todo, aliando *chiller* e tanque, traz como benefício o aumento da capacidade de atender o sistema de climatização, já que o auxílio do reservatório não obriga os *chillers* a atenderem de forma completa os picos de demanda de carga.

Os custos referentes a instalação do reservatório proposto não foram contabilizados na análise.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização do estudo do consumo dos demais elementos que compõem o sistema, como bombas primárias e secundárias, assim como a avaliação do investimento e tempo de retorno.

#### 6. REFERÊNCIAS

Allenge Refrigeração Industrial. 2018. Termoacumulação Estratificada. Porto Alegre. Disponível em <http://www.allenge.com.br/produtos/termoacumulacao-estratificada--30>.

ASHRAE. 2009. ASHRAE Handbook: fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2009.

ABNT. 2008. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. NBR 16401-2 – 2008.

CARRIER. 2017. Aquasmart 30EX/30EV: Resfriador de Líquido (Chiller) tipo scroll com condensação a ar (15 a 120 TR). Disponível em [http://cdn.carrierdobrasil.com.br/downloads\\_docs/80ad0-CT-Aquasmart---E---09-17--view-.pdf](http://cdn.carrierdobrasil.com.br/downloads_docs/80ad0-CT-Aquasmart---E---09-17--view-.pdf).

Dombrosky, F.R. 2012. Eficientização de um sistema de climatização aeroportuário a partir do uso da termoacumulação. Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

- Dorgan, E. C., Elleson, S. J. 1993. *Design guide for cool thermal storage*. Ashrae, Atlanta. Disponível em [http://sunchill.net/uploads/3/4/7/6/34769856/cool\\_thermal\\_storage.pdf](http://sunchill.net/uploads/3/4/7/6/34769856/cool_thermal_storage.pdf).
- ELETOBRAS. 2011. Manual de Tarifação de Energia Elétrica. Procel, Rio de Janeiro. Disponível em [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual de Tarif En El - Procel\\_EPP - Agosto-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual de Tarif En El - Procel_EPP - Agosto-2011.pdf).
- Neto, H. A., Tribess, A., Vittorino, F. 1999. Análise Comparativa de cálculos de carga térmica. Cobem, Águas de Lindóia. Disponível em <http://abcm.org.br/anais/cobem/1999/pdf/AAAHHH.pdf>.
- Khan, K.H.; Rasul, M.G.; Khan, M.M.K. 2004. *Energy conservation in buildings: cogeneration and cogeneration coupled with thermal energy storage*. Applied Energy 77 (2004) 15-34. Disponível em [http://dx.doi.org/10.1016/s0306-2619\(03\)00100-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0306-2619(03)00100-4).
- Kreider, 2001. *Handbook of heating, ventilation, and air conditioning*. Crc, Boca Raton.
- Matos, R.S. 2015. Termoacumulação. Disponível em [https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/8\\_TERMOACUMULACAO.pdf](https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/8_TERMOACUMULACAO.pdf)
- MAYEKAWA (Brasil). 2018. Reservatório de Termoacumulação estratificada e sistema de resfriamento indireto. Disponível em <http://mayekawa.com.br/produto/sistema-de-resfriamento-indireto-com-termoacumulacao-para-industria-de-bebidas/>.
- PNNL. 2000. *Thermal Energy Storage for Space Cooling*. Pacific Northwest National Laboratory, United States. Disponível em [https://www.researchgate.net/profile/Daryl\\_Brown2/publication/301851958\\_Thermal\\_Energy\\_Storage\\_for\\_Space\\_Cooling/links/572a1b7e08ae057b0a078959/Thermal-Energy-Storage-for-Space-Cooling.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daryl_Brown2/publication/301851958_Thermal_Energy_Storage_for_Space_Cooling/links/572a1b7e08ae057b0a078959/Thermal-Energy-Storage-for-Space-Cooling.pdf).
- Rutberg, M. et al. 2013. *Thermal Energy Storage*. Ashrae Journal. Atlanta.
- Stoecker, W. F., Jones, J. W. 1985. Refrigeração e ar condicionado. Mcgraw-hill do Brasil, São Paulo.
- Viana, C. A. et al. 2012. Eficiência energética: fundamentos e aplicações. Elektro - Eletricidade e Serviços S.a, Campinas:. Disponível em [https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientização Energética/Livro\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientização Energética/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf).
- Wang, K. S., Lavan, Zalman; Norton, P. 2000. *Air conditioning and refrigeration engineering*. Army Construction Engineering Research Laboratory Report E-153. Crc, Boca Raton

## ANALYSIS OF IMPLANTATION OF THERMAL STORAGE HVAC SYSTEM

**Abstract.** *When designing an air conditioning system, its capacity should be based on the system's most demanding hours. As consequence of this, the oversizing of these equipment and their idleness occur for long periods of time. The implantation of the Thermal Storage allows the design of a system with capacity below the maximum necessary, reducing the installed power. In addition, it also allows the independence of the production and use of the cold, through the transfer of production time from peak time, where the charging is higher for an off-peak time. In this scenario, this work presents an analysis of the possibility of cost reduction in the energy bill through of the implantation of a tank of Thermal Storage to the air conditioning system of a University, located in the Porto Alegre City, Rio Grande do Sul, Brazil. For assessment, Chillers were selected for scenarios with and without Thermal Storage. Was observed economy of the 9,37% in electricity consumption, considering only the Chillers consumption during the analyzed day, considering the two situations compared. Another issue related with the tank implementation is the possibility of installation of an equipment with a capacity below that required by the peak of the system, verifying that this case a reduction of 34% in the capacity of the equipment installed in the Thermal Storage System compared to tank without the system.*

**Keywords:** thermal-storage, air conditioning, chilled water, energy management.

**ANEXO A – Tabelas de Tarifas de Energia Elétrica (Grupo A)**

			A1 (230 kV)	A2 (138 kV)	A3 (69 kV)	A4 (13,8/25 kV)	A5 (220/217 V)
<b>Modalidade Tarifária Horária Azul</b>	Demanda Ponta	R\$/kW	6,07	17,55	17,09	41,94	54,59
	Demanda Fora Ponta	R\$/kW	6,19	14,76	10,99	20,21	15,83
	Energia Ponta	R\$/kWh	0,44681	0,45566	0,45683	0,4662	0,48298
	Energia Fora Ponta	R\$/kWh	0,30109	0,30994	0,31111	0,32048	0,33726

			A4 (13,8/25 kV)	AS (220/217 V)
<b>Modalidade Tarifária Horária Verde</b>	Demanda	R\$/kW	20,21	15,83
	Energia Ponta	R\$/kWh	1,48361	1,80756
	Energia Fora Ponta	R\$/kWh	0,32048	0,33276