

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM MONTAGEM INDUSTRIAL

WILSON SILVA DA COSTA

**METODOLOGIA DE RECOMISSIONAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA
PERFORMANCE OPERACIONAL E ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE AR-
CONDICIONADO EM AEROPORTOS**

Niterói, RJ

2021

WILSON SILVA DA COSTA

**METODOLOGIA DE RECOMISSONAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA
PERFORMANCE OPERACIONAL E ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE AR-
CONDICIONADO EM AEROPORTOS.**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial. Área de Concentração: Montagem Industrial.

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Roberto Duailibe Monteiro

Niterói, RJ
2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

C837m Costa, Wilson Silva da
Metodologia de recomissionamento para avaliação da performance operacional e energética de sistemas de ar-condicionado em aeroportos / Wilson Silva da Costa ; Paulo Roberto Duailibe Monteiro, orientador. Niterói, 2021.
144 f. : il.

Dissertação (mestrado profissional)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PMI.2021.mp.91736579720>

1. Ar-condicionado. 2. Chiller. 3. Recomissionamento. 4. Coeficiente de performance. 5. Produção intelectual. I. Monteiro, Paulo Roberto Duailibe, orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

WILSON SILVA DA COSTA

METODOLOGIA DE RECOMISSIONAMENTO PARA A AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE OPERACIONAL E ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO EM AEROPORTOS.

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial. Área de Concentração: Montagem Industrial.

Aprovada em 31 de março de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Assinado de forma digital por PAULO ROBERTO
DUAILIBE MONTEIRO
pauloduailibe@id.uff.br:49196405791

Prof. Dr. Paulo Roberto Duailibe Monteiro - Orientador
Universidade Federal Fluminense (UFF)



Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes
Universidade Federal Fluminense (UFF)



Prof. Dr. Angelo Cesar Colombini
Universidade Federal Fluminense (UFF)

CINTIA MACHADO DE OLIVEIRA:07799290714 Assinado de forma digital por CINTIA MACHADO DE OLIVEIRA:07799290714 Data: 2021.04.05 14:24:00 -03'00'

Prof^ª. Dr^ª. Cíntia Machado de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)

Niterói, RJ
2021

Dedico este trabalho àqueles que, com humildade, souberam lutar por valores imateriais e generosamente me permitiram vivenciar um grande exemplo de dignidade, de caráter e de muito trabalho, forjando em mim, no grande laboratório da vida, a importância da busca pela transformação e, principalmente, a necessidade de olhar ao longe, caminhar e persistir. Aos meus pais, com toda admiração, gratidão e carinho, o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

É por ter encontrado caminhos e pessoas iluminadas ao longo dessa estrada, as quais tornaram óbvias as minhas escolhas, que agradeço primeiramente a Deus. Por ter tido os recursos, mesmo que raros, mas suficientes para adoçar o valor da conquista e o senso de prioridade, agradeço àqueles que me encorajaram, me apoiaram nas partidas e me receberam diariamente no retorno. Aos meus pais, irmão, irmãs, amigos e, em especial, minha esposa e filhos (Eusa, Bruno e Fernanda) que dividiram a minha presença, a minha ausência e atenção com os momentos de estudo e cansaço, a minha eterna paixão.

Às equipes operacionais e de engenharia da Infraero que em sua rotina se debruçaram sobre os problemas de ordem operacional, buscando as soluções e melhorias para manter em funcionamento o importante aparelho público do Aeroporto Santos Dumont, e que, sem hesitar, dividiram os resultados dos seus trabalhos, além das suas *expertises*, para a realização deste estudo. Aos meus sobrinhos Marcelo e Guilherme que, em seus momentos de folga, prontamente se dedicaram a efetivar a transformação dos formulários físicos em 280.252 dígitos lançados em planilha eletrônica, o meu muito obrigado.

Aos professores que compartilharam generosamente os seus profundos conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho, assim como aqueles que o fazem para o desenvolvimento das diversas atividades de pesquisa de inúmeros colegas, dentro e fora desta Universidade. Em especial ao meu Professor Orientador Dr. Paulo Roberto Duailibe Monteiro, que pacientemente soube me ouvir, traduzir para os códigos acadêmicos, compartilhar o seu vasto conhecimento e me orientar generosamente, o meu sincero respeito e admiração.

Inicialmente, o processo de comissionamento foi desenvolvido para chamar a atenção, durante a entrega da edificação, para os sistemas que não operavam em conformidade com as expectativas dos proprietários. Hoje nós podemos dizer que quando o processo de comissionamento é implementado devidamente eles operam – Comissionamento em edificações veio para ficar.
(LILLIE, 2004, p. 132).

RESUMO

Os processos de comissionamento de novas edificações, de comissionamento de edificações existentes e de comissionamento contínuo tem sido importantes instrumentos para identificar problemas significativos de performance e de alto consumo de energia, contribuindo para a solução e avanço na direção de sistemas mais eficientes. Considerando a importante participação dos sistemas de ar-condicionado no consumo de energia das edificações, o vigoroso crescimento do consumo mundial de energia e a busca cada vez mais intensa pelas boas práticas para a conservação de energia e preservação do meio ambiente, este estudo propõe uma metodologia baseada nos conceitos do recomissionamento para a análise do desempenho operacional e energético de sistemas de ar-condicionado. Através da sua aplicação no sistema de ar-condicionado instalado no Aeroporto Santos Dumont, na cidade do Rio de Janeiro, o estudo se utilizou dos dados operacionais coletados diariamente, ao longo de 12 meses, para demonstrar as fases do planejamento e da implantação definidas na metodologia. Após a validação e o recorte da base de dados, foram realizadas as análises de capacidade individual e em conjunto dos 4 *chillers* instalados, além da identificação da estratégia operacional corrente para a gestão da capacidade instalada, diante da demanda térmica apresentada. Com base nas especificações de desempenho dos equipamentos, informada pelo fabricante, foi apresentada proposta operacional otimizada, a qual identificou redução potencial de 1,61% do consumo de energia dos *chillers*, somente pela mudança do modo de operação. O Coeficiente de Performance global foi calculado em função do efeito de refrigeração estimado e do consumo de energia do aeroporto registrado para o período. Como resultado, foram identificadas oportunidades de melhoria para o processo, com possível aumento do COP de 5,95 para 6,84, o que representa redução do consumo de energia nos *chillers* de até 13,0%. Por fim, os resultados demonstrados no estudo de caso e sua comparação com as faixas de valores de referência, levantados na bibliografia, permitiram concluir pela adequação da metodologia proposta.

Palavras-chave: Ar-condicionado, Chiller, Carga térmica, Recomissionamento, Coeficiente de performance.

ABSTRACT

The commissioning process for new Building, existing buildings commissioning and continuous commissioning has been important instruments to identify performance and high energy consumption problems and have contributed to solution and progress in the direction more efficient systems. Considering the important participation of air conditioning systems in the energy consumption of building, the vigorous growth of world energy consumption and the increasingly intense search for good practices for energy conservation and preservation of the environment, this study presents a recommissioning-based methodology for the analysis of the operational and energetic performance of air conditioning systems. Through its application in the system installed at Santos Dumont Airport, in the Rio de Janeiro city, the study used the operational data collected daily, over 12 months, to demonstrate the planning and implementation phases defined in the methodology. After the validation and clipping the database, analyzes of individual and joint capability of the 4 installed chillers were carried out, in addition to the identification of operational strategy adopted for the management of installed capacity, given the thermal demand presented. Based on the performance specifications of the equipment, informed by manufacturer, an optimized operational proposal was presented, which provides for a reduction of 1.61% in the energy consumption of the chiller, only by changing the operating mode. The overall performance coefficient was calculated based on the estimated cooling effect and the airport's energy consumption recorded for the period. As a result, opportunities to improve the process were identified, leading to an increase in the COP from 5.95 to 6.84, which represents a reduction in energy consumption in chillers of up to 13.0%. Finally, the results shown in the case study and its comparison with the expected ranges, found in the bibliography, allowed to conclude that the proposed methodology is adequate.

Keywords: Air-conditioning. Chiller. Thermal load. Recommissioning. Coefficient of performance.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
1.2.1.	Comissionamento	20
1.2.2.	Sistemas de ar-condicionado	23
1.2.3.	Metodologias de análise de desempenho	25
1.3.	OBJETIVOS DO TRABALHO	28
1.3.1.	Objetivo principal	28
1.3.2.	Objetivos específicos	28
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2.	RECOMISSONAMENTO DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO ..	29
2.1	INTRODUÇÃO	29
2.2	NORMA BRASILEIRA	32
2.3	COMISSONAMENTO EM EDIFICAÇÕES EXISTENTE	35
2.4	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	36
3.	SISTEMA DE AR-CONDICIONADO PARA O CONFORTO TÉRMICO	38
3.1	INTRODUÇÃO	38
3.2	CARGAS TÉRMICAS	39
3.3	SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO CENTRAL	39
3.4	CONFORTO TÉRMICO	42
3.4.1	Fatores que afetam o conforto térmico	42
3.4.2	Parâmetros de conforto	43
3.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	44
4.	METODOLOGIA	45
4.1	INTRODUÇÃO	45
4.2	PLANEJAMENTO	46
4.2.1	Reconhecimento do sistema	46
4.2.2	Identificação dos parâmetros operacionais do sistema	47
4.2.3	Estabelecimento dos critérios metodológicos para a análise dos dados	51
4.2.3.1	Resumos estatísticos	51
4.2.3.2	Gráfico de caixa (<i>Boxplot</i>)	51
4.2.3.3	Controle de processo e índices de capacidade	52
4.2.3.4	Dispersão, linha de tendência e utilização da equação	56
4.3	FASE DE LEVANTAMENTO DE DADOS	57
4.3.1	Coleta, tratamento e validação da base de dados	57

4.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	58
4.4.1	Análise da capacidade	58
4.4.2	Análise da performance operacional	59
4.4.3	Análise da performance energética	60
4.5	CONCLUSÃO	61
5.	ESTUDO DE CASO	62
5.1	INTRODUÇÃO	62
5.2	PLANEJAMENTO	62
5.2.1	Reconhecimento do sistema	62
5.2.1.1	Lado das cargas.....	62
5.2.1.1.1	<i>Edificações dos terminais</i>	62
5.2.1.1.2	<i>Desafios para o projeto do sistema de ar-condicionado</i>	63
a)	Terminal de embarque de passageiros.....	64
b)	Terminal de desembarque de passageiros	64
c)	Conector de embarque e desembarque de passageiros.....	65
5.2.1.1.3	<i>Carga térmica estimada para o projeto</i>	67
5.2.1.2	Lado do sistema	68
5.2.1.1.4	<i>Central de água gelada</i>	68
5.2.1.1.5	<i>Demais estruturas do sistema</i>	71
5.2.2	Identificação dos Parâmetros operacionais	71
5.2.3	Estabelecimento dos critérios metodológicos para a análise dos dados	72
5.3	FORMAÇÃO DA BASE DE DADOS (CENTRAL DE ÁGUA GELADA)	73
5.3.1	Coleta dos dados	73
5.3.2	Tratamento e validação dos dados	74
5.3.3	Recorte na base de dados (horário de operação)	76
5.4	ANÁLISE DA CAPACIDADE E DO DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DO SISTEMA	79
5.4.1	Introdução	79
5.4.2	Análise da capacidade do processo	80
5.4.2.1	Análise da capacidade dos equipamentos (capacidade de máquina).....	81
5.4.2.2	Análise de performance do conjunto de <i>chillers</i> (CAG)	86
5.4.3	Análise da performance operacional	88
5.4.3.1	Perfis e tendências sazonais das temperaturas	88
5.4.3.2	Perfil de demanda da carga térmica absorvida	91
5.4.3.3	Análise da estratégia Operacional.....	94
5.4.4	Análise da performance energética	98
5.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	102

6.	CONCLUSÃO	104
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
8.	APÊNDICES	109
8.1	MODELO – PLANILHA ELETRÔNICA DE DADOS COLETADOS	109
8.2	MODELO - SIMULAÇÃO DO COP ATUAL E OTIMIZADO EM PLANILHA ..	110
8.3	MODELO - INTEGRAÇÃO NÚMÉRICA DA CARGA TÉRMICA E DA POTÊNCIA AO LONGO DO TEMPO.....	111
9.	ANEXOS	112
9.1	MODELO - LISTA DE VERIFICAÇÃO – OPERAÇÃO CAG	112
9.2	MEMÓRIA DE CÁLCULO - CARGA TÉRMICA.....	113
9.3	FICHA DE DADOS CARRIER	142

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 1.1 Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil, f 18
- Fig. 3.1 Modelagem de sistema de refrigeração, f. 38
- Fig. 3.2 Sistema típico de ar-condicionado hidrônico, f. 40
- Fig. 4.1 Fluxograma da metodologia, f. 45
- Fig. 4.2 Parâmetros das entradas e saídas dos processos, f. 47
- Fig. 4.3 Mapa do Processo, f. 48
- Fig. 4.4 Distribuição dos pontos em curva normal padrão, f. 53
- Fig. 4.5 Curva normal com média igual à mediana, f 54
- Fig. 4.6 Curva normal com média menor que a mediana, f. 54
- Fig. 4.7 Curva normal com média maior que a mediana, f. 55
- Fig. 4.7 Diagrama de Mollier, f. 61
- Fig. 5.1 Foto panorâmica dos terminais de passageiros, f. 63
- Fig. 5.2 Terminal de embarque, f. 64
- Fig. 5.3 Terminal de desembarque, f. 64
- Fig. 5.4 Foto panorâmica do conector, f. 66
- Fig. 5.5 Participação das edificações na carga térmica, f. 68
- Fig. 5.6 Planta baixa dos *chillers*, f. 69
- Fig. 5.7 Planta de elevação *chiller*, f. 70
- Fig. 5.8 Painel de controle do *chiller*, f. 73
- Fig. 5.9 Comparativo fevereiro/19 x fevereiro/20, f. 76
- Fig. 5.10 Comparativo entre os horários de operação, f. 77
- Fig. 5.11 Comparação entre os *chillers*, f. 78
- Fig. 5.12 Relação COP x Potência, f. 80
- Fig. 5.13 Histograma de distribuição da temperatura da AG, f. 87
- Fig. 5.14 Comparação entre os *chillers* – Temperatura AG, f. 87
- Fig. 5.15 Dispersão de temperatura AG – *Boxplot*, f. 88

- Fig. 5.16 Evolução da temperatura AG, AGR e amperagem percentual, f. 90
- Fig. 5.17 Dados climáticos, f. 91
- Fig. 5.18 Distribuição da carga térmica desenvolvida por *chiller*, f. 92
- Fig. 5.19 Perfil de cargas térmicas máximas e mínimas, f. 93
- Fig. 5.20 Estratégia de gerenciamento da capacidade, f. 94
- Fig. 5.21 Comparação de estratégias na região B, f. 95
- Fig. 5.22 Modelo conceitual de integração numérica, f. 99
- Fig. 5.23 Gráfico da potência parcial instantânea x leitura de AMP%, f. 100

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Atividades chave do comissionamento, f 30
TABELA 2.2	Atividades chave do comissionamento em edificações existentes, f.36
TABELA 3.1	Características físicas do ar e da água, f. 40
TABELA 4.1	Classificação da capacidade do processo, f. 55
TABELA 4.2	Desempenho do <i>chiller</i> em função da potência parcial, f. 57
TABELA 4.3	Desvio do valor do COP calculado, f. 57
TABELA 5.1	Principais parâmetros do sistema, f. 72
TABELA 5.2	Temperatura da água gelada na saída dos <i>chillers</i> , f. 78
TABELA 5.3	Resumo dos sorteios de formação dos subgrupos, f. 81
TABELA 5.4	Relação de causas assinaláveis, f. 83
TABELA 5.5	Análise dos subgrupos – <i>chiller</i> n° 1, f. 84
TABELA 5.6	Análise dos subgrupos – <i>chiller</i> n° 2, f. 85
TABELA 5.7	Análise dos subgrupos – <i>chiller</i> n° 3, f. 85
TABELA 5.8	Análise dos subgrupos – <i>chiller</i> n° 4, f. 85
TABELA 5.9	Evolução mensal da temperatura média da água gelada, f. 89
TABELA 5.10	Evolução da temperatura da água gelada, sem o <i>chiller</i> n° 4, f. 90
TABELA 5.11	Evolução da carga térmica, f. 93
TABELA 5.12	Carga térmica de acionamento do segundo e terceiros <i>chillers</i> , f. 97
TABELA 5.13	Evolução do consumo de energia, f. 100
TABELA 5.14	Estratificação da potência elétrica do sistema, f. 101

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas
AC	Água de Condensação
ACG	<i>AABC Commissioning Group</i>
ACR	Retorno de Água de Condensação
AG	Água Gelada
AGR	Retorno de Água Gelada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers</i>
BACnet	<i>Building Automation and Control NETWORKS</i>
BACP	Bomba primária de água de condensação
BAGP	Bomba primária de água gelada
BAGS	Bomba secundária de água gelada
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAG	Central de Água Gelada
CC	<i>Continuous Commissioning</i>
CCx	<i>Continuous Building Commissioning</i>
COP	Coefficiente de Performance
Cp	Índice de Capabilidade
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
Cx	<i>Building Commissioning</i>
EBCx	<i>Existing Building Commissioning</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
h	entalpia
HVAC	<i>Heating, ventilation and air conditioning</i>
IHM	Interface homem-máquina
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQR	Interquartil
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LEED-EB	<i>Leadership in Energy and Environmental Design – Existing Building</i>
LIE	Limite inferior de especificação
LSE	Limite superior de especificação
MBC	<i>Model Based Commissioning</i>

MBCC	<i>Model Based Building Continuous Commissioning</i>
MBCx	<i>Model Based Building Commissioning</i>
NBR	Norma Brasileira
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
PMBok	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
Q1	Primeiro Quartil
Q3	Terceiro Quartil
SDU	Aeroporto Santos Dumont
TAB	<i>Testing, Adjusting and Balancing</i>
TCU	Tribunal de Contas da União
USGBC	<i>United State Green Building Council</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao final dos anos 60 começou nos Estados Unidos uma temporada de entregas de projetos e construções de edificações comerciais e, em muitos casos, os profissionais de serviços de consultoria foram deixados de fora desse processo. O resultado foi que muitas edificações não apresentaram a performance esperada pelos proprietários. Muitos desses edifícios mantiveram o conforto dos usuários às custas de um alto consumo de energia. Com a crise de energia de 1970, as atenções se voltaram para o fato de que essas edificações poderiam se tornar mais eficientes sem sacrificar o conforto, e, em muitos casos, melhorá-lo (LILLIE, 2012).

Ocorre que muitas edificações existentes e seus sistemas, em particular os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (*Heating, Ventilation and Air Conditioning - HVAC*), apesar de entregues e aceitos para a operação, trabalham fora da sua condição ótima.

Segundo Vakiloroyaya et al. (2013), aproximadamente metade do total de energia consumida pela sociedade moderna é consumida nas edificações, da qual a maior porção em sistemas HVAC. Portanto, muitos pesquisadores têm focado seus estudos na busca da eficiência energética dos sistemas de ar-condicionado.

Em cidades com clima subtropical, as instalações utilizam *chillers* para combater as cargas térmicas e prover o conforto aos ocupantes dos ambientes das edificações. Esses equipamentos produzem água gelada para combater a carga térmica dos ambientes com o auxílio das unidades condicionadoras de ar. A operação dos *chillers* é responsável por mais de 60% da energia usada para o condicionamento do ar, o qual pode consumir entre 25 e 40% de toda energia consumida em uma edificação comercial (YU e CHAN, 2005).

As instalações centralizadas de *chillers*, frequentemente referenciadas como central de água gelada (CAG), tem o seu consumo de energia determinado com base horária, incluindo a energia consumida nos *chillers*, nas bombas para a produção e distribuição da água gelada. Adicionando-se o consumo do sistema de condicionamento de ar ao consumo da CAG tem-se o consumo total do sistema de ar-condicionado (CHAN e YU, 2002).

Atualmente, além do crescimento populacional, existe uma demanda legítima e crescente para o acesso aos aparelhos e facilidades urbanas e consequente bem-estar das diversas camadas da sociedade. Segundo a ANAC (2019), foi observado um crescimento expressivo na participação do modal aéreo para transporte de passageiros no Brasil. Em 2010, 51,9% dos passageiros foram transportados pelo modo aéreo em viagens interestaduais de longa distância, enquanto o rodoviário respondeu por 48,1%. Em 2019, o transporte de passageiros pelo modo aéreo atendeu a 68,6%, contra a participação de 31,4% do modo rodoviário. Esse aumento na participação do transporte aéreo de passageiros pode ser traduzido no aumento da movimentação operacional e do consumo de energia elétrica nos terminais de passageiros.

Segundo Cavalcante, Duarte e Cohen (2017), os terminais aeroportuários do século XX priorizavam o caráter operacional, já os do século XXI evidenciam sua tendência comercial e, para tal, se inspiram nos modelos de shoppings centers. O caráter comercial das edificações dos terminais atrai, além dos passageiros, usuários para as áreas comerciais.

Segundo a EPE (2020), no Brasil, o consumo de energia elétrica no segmento comercial cresceu 35,9%, contra um crescimento total do consumo brasileiro de 17,4% no período de 2010 a 2019, conforme figura 1.1.

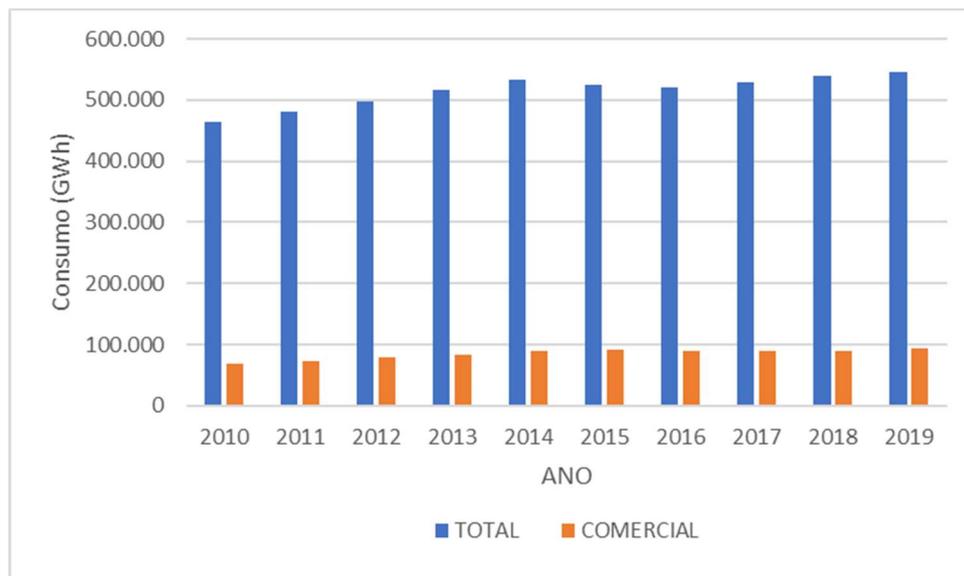


Figura 1.1: Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil. Fonte: Autor, adaptado de EPE (2020).

Paralelamente, além do aumento de 66,3% na tarifa da energia elétrica para o seguimento comercial (ANEEL, 2020), no mesmo período, os efeitos do avanço dessa demanda pressionaram de forma igualmente legítima, relevante e extremamente positiva pela

conscientização, pelas práticas e hábitos voltados a sustentabilidade, conservação de energia e preservação do meio ambiente.

Como um dos métodos de custo mais efetivo para melhorar a eficiência energética, o comissionamento desempenha um papel importante no atingimento das metas de economia de energia da edificação (LI et al, 2012). O processo de comissionamento de novas edificações, de edificações existentes e comissionamento contínuo tem sido um importante instrumento para identificar problemas significativos de performance e de alto consumo de energia (LILLIE, 2012) e tem contribuído para a solução de problemas e avanço na direção de sistemas mais eficientes.

Culturalmente, nos empreendimentos brasileiros de menor porte, fora das grandes instalações industriais, o processo de comissionamento não é tratado com a devida importância, sendo preterido na alocação de recursos financeiros e, portanto, é impactado em seu planejamento e em sua execução. O processo, muitas das vezes, é realizado de forma parcial ou inadequada. Somente no setor público, segundo Agência Senado (2020), o Ministério da Economia identificou através do relatório do Tribunal de Contas da União (TCU) que, do total de obras paralisadas no país, 26% tiveram sua paralização motivada pela falta de recursos financeiros. Dessa forma, seja pela inadequação dos processos de comissionamento ou pela retomada de projetos paralisados, invariavelmente, questões contratuais relativas à interrupção da execução e do fornecimento de equipamentos entram em litígio e as garantias de bom desempenho contratadas para os sistemas são impactadas, seguindo no sentido contrário dos movimentos pela sustentabilidade, eficiência energética e defesa do meio ambiente. Inevitavelmente, as pendências e desvios de desempenho remanescentes das disputas judiciais ou da inadequação do processo de comissionamento serão tratadas posteriormente pelas equipes de operação e manutenção, permanecendo, segundo Lillie (2012), por anos ou décadas, passando a concorrer com as atividades e orçamento de manutenção.

O comissionamento de uma nova edificação tem os seus esforços direcionados para o conforto térmico, qualidade do ar interno e a performance geral da edificação, com ênfase em assegurar que as funções da edificação estão de acordo com os objetivos do projeto, enquanto o comissionamento de uma edificação existente é mais fortemente direcionado para a economia de energia (MILLS, 2004), identificando e resolvendo os problemas operacionais e otimizando o uso de energia elétrica.

Neste cenário, com vistas a aumentar o desempenho energético de aeroportos, este estudo propõe uma metodologia baseada nos conceitos do recomissionamento para a análise da performance energética e operacional em sistemas de ar-condicionado aeroportuários.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção relaciona os principais trabalhos identificados na pesquisa bibliográfica realizada através do Portal de Periódicos da CAPES/MEC, com abrangência internacional, contendo predominantemente artigos científicos, revisados por pares, em periódicos de relevância. Eventualmente, em função da especificidade do assunto, da relevância do artigo, ou ainda, a frequência ou importância em citações dos autores ou dos próprios artigos durante a pesquisa, outros documentos, livros e trabalhos foram considerados. Em geral, os trabalhos aqui relacionados descrevem as pesquisas referentes aos processos de comissionamento, à sistemas de ar-condicionado e, ainda, às metodologias utilizadas para o recomissionamento ou análise energética desses sistemas. O seu objetivo é disponibilizar o conhecimento do estado da arte, apresentando tendências, conceitos, técnicas e aplicações práticas das metodologias que, de alguma forma, ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

1.2.1. Comissionamento

O processo de comissionamento esteve por muito tempo associado apenas à indústria naval. Durante a prova de cais, as avaliações asseguravam que os equipamentos do navio estavam em perfeitas condições antes de ser realizada a partida (BENDIKSEN e YOUNG, 2005). Diante da crise energética dos anos 70 e dos desafios da construção civil para entregar edificações eficientes, em 1977, o processo de comissionamento foi apresentado como o método ideal para verificar e documentar a performance de uma nova edificação, quando a *Public Works Canada* começou a utilizar o comissionamento de edificações (Cx) em seu sistema de entrega de projetos. Em 1998, foram incluídos na certificação LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*, certificação concebida e concedida pela USGBC – *United States Green Building Council*, contendo critérios para o comissionamento de novas edificações, critérios referentes às edificações existentes. Em 2004, foi apresentada a LEED-EB, a qual incluiu critérios para o retrocomissionamento, aplicável em edificações existentes que nunca passaram por um processo de comissionamento. Então, o processo evoluiu, passando a atuar em todas as fases do empreendimento, desde a sua concepção até as fases de operação

e manutenção, chegando ao conceito de comissionamento contínuo, como uma ferramenta de monitoramento da performance do sistema ao longo do seu ciclo de vida (LILLIE, 2012).

“O comissionamento teve sua origem na indústria naval, assegurando a integridade dos navios. Por meio desse processo eram verificados e testados todos os sistemas do navio ainda nas docas, antes de sua entrega definitiva ao usuário. Sua aplicação na construção civil só começou nos Estados Unidos na segunda metade do século XX, no final da década de 1970” (DOMINGUES¹, 2008 apud TEIXEIRA, 2019).

O comissionamento de edificações existentes, ou EBCx, da expressão na língua inglesa *Existing Building Commissioning*, é também conhecido, segundo Lillie (2012), como recomissionamento, no caso das edificações ou sistemas que já passaram por um comissionamento inicial. De uma forma geral, com algumas variações, as definições para o processo de comissionamento apontam na mesma direção.

Para o PMBoK (2010), o comissionamento é o processo composto pelo conjunto de atividades que visam a transferência de um empreendimento industrial para o operador comercial nas condições de segurança, performance, confiabilidade, rastreabilidade documental, custo e prazo de acordo com os requisitos contratuais.

Na mesma linha, a ABNT (2014) define o comissionamento de máquinas como o conjunto estruturado de conhecimentos, práticas, procedimentos e habilidades aplicáveis de forma integrada a uma determinada máquina, visando torná-la operacional, certificando sua operacionalidade em termos de desempenho, segurança, confiabilidade e rastreabilidade de informações.

Para a ASHRAE (1996), o comissionamento é definido como o processo de assegurar que o sistema está projetado, instalado, nominalmente testado e capaz de ser operado e mantido com a performance em conformidade.

ASHRAE (2005), apresenta o comissionamento como um processo de verificação de qualidade que tem como objetivo principal melhorar a entrega das instalações. O processo foca-

¹ DOMINGUES, L.C.F. Estudo sobre comissionamento de edificios comerciais monusuários e sua influência sobre o gerenciamento de facilidades. Monografia (MBA) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

se na verificação e documentação de que a instalação e todos os seus sistemas foram projetados, instalados, ensaiados, operados e mantidos de modo a responder aos requisitos de projeto do proprietário.

Wang (2001), declara que o comissionamento é um processo projetado para garantir que os sistemas da edificação, especialmente o sistema de ar-condicionado e de iluminação, operem eficientemente. O processo pode ser caracterizado pelo alto nível de comunicação entre os *Stakeholders*, extensiva documentação, minuciosos testes e checagens dos equipamentos da edificação, remediando falhas e problemas identificados, e treinamento apropriado para as equipes de operação e manutenção para o combate à futura degradação ou falhas dos equipamentos.

Mills et al. (2005) apresentou a maior compilação de estudos e sintetizou dados publicados e não publicados sobre projetos de comissionamento de edificações empreendidos ao longo dos Estados Unidos nas últimas 2 décadas, estabelecendo a mais extensa coleção de informação padronizada disponível da experiência de comissionamento. Das 224 edificações, 73% foram de edificações existentes e 27% de novas construções. Como resultado, foi identificado que para as edificações existentes, o custo médio do comissionamento foi de 2,91 dólares por metro quadrado, com um retorno de investimento em 0,7 ano. Para uma nova edificação a média do custo do comissionamento foi de 10 dólares por metro quadrado, representando de 0,3 a 0,9% do custo total da construção, com retorno de investimento em 4,8 anos.

Para Roth et al. (2005) o comissionamento contínuo (CC) é um processo sistemático de observação, medição e avaliação da performance do sistema da edificação para identificar e implementar melhorias de manutenção e operação de forma a assegurar, continuamente, sua performance em uma edificação em operação, em contraste com somente um comissionamento durante o primeiro ano da ocupação da construção.

Verhelst (2017) define o comissionamento de edificações baseado em modelo, ou em inglês *Model-Based Commissioning (MBCx)*, como sendo um sistemático processo através do qual a adequada instalação e operação dos sistemas da edificação são comparados com um modelo de referência da performance esperada, ajustado quando necessário para manter e melhorar a performance do equipamento. Define ainda o comissionamento contínuo baseado em modelo, do inglês *Model-Based Continuous Commissioning (MBCC)*, como sendo o

processo de emprego do modelo da edificação, sistema de HVAC e comportamento do usuário para suportar subdomínios do CCx.

1.2.2. Sistemas de ar-condicionado

Lillie (2012), baseado no questionamento quanto ao que temos aprendido nos últimos 20 anos sobre o comissionamento de sistemas de ar-condicionado, relata que ao longo dos anos têm sido encontrados, durante o processo de comissionamento, problemas que não são incomuns, como a falta de dutos de retorno, falta de isolamento térmico, difusores mal aplicados etc. Porém, destaca que também tem sido encontrados problemas com impacto significativo em termos de performance, comprometendo o conforto e consumo de energia, apresentando soluções e os benefícios resultantes.

Li et al. (2012) apresenta um específico estudo de caso no qual o comissionamento voltado para a economia de energia foi implantado em uma edificação existente utilizando o método de reforma e otimização do controle do sistema e operação. O escopo do estudo de caso cobriu um sistema de água gelada com quatro *chillers* de 1.200 TR, sistema de aquecimento com duas caldeiras a vapor de 31.751 kg/h e trinta e quatro unidades condicionadoras de ar. Como consequência do detalhado levantamento de campo e identificação das oportunidades de economia de energia, o sistema foi reformado e uma avançada estratégia de controle foi implementada, tendo como resultado uma grande melhoria na performance geral do sistema, identificada pela redução do consumo total de energia em 15% e no consumo total de gás em 7%.

Haasl et al. (2002), apresenta os componentes e o uso pretendido para o guia de testes funcionais e teste funcional de modelo em sistemas de condicionadores de ar. Entendendo testes funcionais como um conjunto de instruções detalhadas para o comissionamento da edificação que demanda extenso conhecimento para escrever e executar. Entender a aplicação e uso da energia e a teoria envolvida nos procedimentos de teste, estimar o custo e benefícios de realizar um teste em particular, implementar o teste corretamente e resolver os problemas requer anos de experiência de campo. O teste funcional do modelo contém orientações para adaptar o procedimento de teste para as configurações de um sistema específico. O guia é um recurso educacional que esclarece os princípios que estão por trás das configurações dos testes e resultados. O documento também inclui um guia de projeto para seleção de controle, pontos de monitoramento, formulário e documentação de intenção de projeto.

Ferretti et al. (2017), descrevem o algoritmo desenvolvido com o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), para analisar os anéis de água gelada e apresentar os resultados de uma investigação de monitoramento passiva usando dados de campo obtidos dos controladores BACnet®, obtendo a validação dos dados encontrados no campo. Além do desenvolvimento do algoritmo, a pesquisa testou e demonstrou a nova versão do HVAC-Cx, NIST e *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), uma ferramenta automática de comissionamento para detecção de falhas mecânicas comuns e erros de controle no sistema de distribuição de água gelada. A ferramenta obteve sucesso na detecção de falhas na operação do sistema em sua primeira implementação, suportando a fase de investigação através do monitoramento da performance. Suas descobertas levaram a um retrocomissionamento total no campo.

Kelly e Bushby (2012) descreveram o desenvolvimento e implementação de um banco de ensaio usado para o conceito do emprego de agentes inteligentes para otimizar a performance do sistema de ar-condicionado da edificação. O resultado da economia simulada para um dia é apresentado para um simples método de otimização e um avançado método de otimização. Os benefícios potenciais e os problemas associados a cada método são discutidos e recomendações são feitas para liderar futuros esforços de pesquisa para aplicação de agentes inteligentes em edificações reais.

Veronica (2013), propôs novo método para detectar automaticamente falhas na regulação de temperatura, pressão e fluxo dentro do sistema HVAC e equipamentos de uma edificação comercial através de dados digitais tipicamente disponíveis em um sistema automático existente na edificação. O método informatiza a carta de controle e as combina com um sistema lógico inteligente para identificar transientes e registros das variáveis reguladas fora das faixas de tolerância definidas pelos usuários para três funcionalidades de monitoramento separadas: (1) variáveis reguladas para um único valor; (2) variáveis de atuação que orientam a regulação; e (3) temperatura regulada com ponto de ajuste duplex (termostatos). As falhas detectadas incluem instabilidade, oscilação excessiva na regulação e falha da variável regulada para se manter a faixa definida.

Em seu artigo, Vakiloroyaya et al. (2013), endereça os problemas de economia de energia das plantas de resfriamento central de ar usando o método de otimização de projeção de gradiente baseado em modelo. Modelos de sistemas empírico-teórico são incluídos e relações de mecanismos entre componentes são desenvolvidos para operação de variáveis do sistema.

Dados experimentais são coletados para modelar um mini *chiller* com resfriamento a ar, equipado com uma unidade ventilador-serpentina, de uma edificação de escritórios localizada em condições de clima quente e seco. Ambas as entradas e saídas são conhecidas e medidas pelo monitoramento de campo em um mês de verão. O desenvolvimento de algoritmos resultantes da projeção de gradiente, implementado em um pacote de *software* de simulação de transiente, são incorporados para resolver o problema de minimização do consumo de energia e prever o *set-point* ótimo do sistema sob condições transitórias. A temperatura da água gelada, a temperatura do ar insuflado e a taxa de fluxo de massa de refrigerante são calculadas com base na carga de resfriamento e no perfil de temperatura de bulbo seco do ambiente através do uso da proposta sugerida.

Trcka e Hensen (2010) nos dá um uma visão geral de modelagem e simulação dos sistemas HVAC e de categorização das ferramentas para projetos e análises de sistemas HVAC com relação a quais problemas eles são destinados a lidar. Cada caracterização é explorada e exemplos de ferramenta são dados. Além disso, o artigo sumariza abordagens atuais usadas para modelar (i) componentes de HVAC, (ii) controle de HVAC e (iii) sistemas HVAC em geral. Depois de dar uma visão geral das soluções técnicas para simulação de sistemas de HVAC, o artigo apresenta sugestões de como selecionar uma abordagem de modelagem de HVAC relativa ao objetivo da simulação em questão.

1.2.3. Metodologias de análise de desempenho

A revisão bibliográfica mostrou que, em sua maioria, os estudos direcionados para a análise ou determinação da performance de sistemas de ar-condicionado tratam do desenvolvimento de modelos (teóricos, empíricos ou inteligentes) para predição do desempenho do sistema. Em geral, reconhecem a conveniência da adoção de um modelo completo, seu alto custo computacional e sua complexidade. Porém, direcionam seus esforços ao desenvolvimento de um modelo simplificado e aceitável.

Verhelst et al. (2017) apresenta uma visão geral da literatura e procedimentos reais, implementação do estado da arte para o comissionamento contínuo baseado em modelo em edificações de escritórios. O foco se concentra na edificação e no modelo de HVAC usado para cada um dos três domínios do comissionamento contínuo: A identificação de oportunidades para a conservação de energia; Detecção de falhas, avaliação e revisão; e controle baseado em modelo (*MBC- Model-Based Commissioning*). Para cada domínio, o relacionamento entre a escolha da estrutura do modelo, ordem do modelo, procedimento para estimativa de parâmetros,

qualidade do sensor de dados disponível e poder de cálculo são destacados. Esses *insights* são críticos para o gerenciamento da edificação, fabricantes de sistemas de gerenciamento de edificações e pesquisadores envolvidos ou interessados na seleção e implementação de estratégias de comissionamento contínuo baseado em modelo. A análise indica que a ordem do modelo escolhido e a técnica de estimação do parâmetro depende da capacidade de cálculo e dos dados disponíveis. O compartilhamento completo de modelos entre diferentes subtópicos raramente é realizado, presumidamente por conta da diversidade dos requerimentos para cada domínio do comissionamento contínuo. Muitas estruturas de modelos e procedimentos de estimação de parâmetros, como: *multi-step-ahead* e *subspace identification*, são frequentemente recorrentes com um domínio de comissionamento baseado em modelo. Ambos, dentro e entre domínios de comissionamento contínuo, e a troca de conhecimento dos *experts* disponíveis ou medições para estimação de parâmetros incrementa a acurácia dos modelos resultantes.

Segundo Cacchinato, Chiarello e Corradi (2010), o cálculo ou certificação do consumo de energia em edificações equipadas com unidades de refrigeração, operando por ciclos de compressão de vapor, requerem uma avaliação precisa da sua performance em carga total e carga parcial, em diferentes condições de operação. Modelos de simulação de sistemas de refrigeração são, normalmente, sem utilidade em função da grande quantidade de dados de entrada requerida para uma completa caracterização. O autor apresenta um método numérico simplificado para previsão da performance de bombas de calor por compressão de vapor e *chillers*, baseado somente nos dados de performance nas condições da taxa nominal. O método simplificado proposto foi confrontado com os dados experimentais e apresentou desvios relativos de $\pm 10\%$. Para os *chillers* na condição de 100% da carga, aproximadamente 89,5% e 92,1% da EER prevista e da capacidade de resfriamento, respectivamente, foram consistentes com os dados medidos.

Wang (2017), confirma a necessidade de inúmeros parâmetros ou características dos *chillers* disponibilizadas pelo fabricante, porém, afirma que, entre vários pesquisadores, o estudo de modelos é um efetivo método para avaliação da performance dos *chillers*. Em seu estudo é proposto um modelo empírico polinomial e multivariável para avaliar o coeficiente de performance (COP) em *chillers* operando com compressores centrífugos. O modelo se utiliza de parâmetros comuns, como a pressão e a temperatura da água gelada, que são independentes da carga de resfriamento ou carga parcial. O modelo teve seu resultado aceitável para aplicações

de engenharia, como auditoria de energia em edificações, gerenciamento de conservação de energia e gerenciamento operacional de *chillers* paralelos.

Para Navarro-Esbrí et al. (2010), atualmente existe um alto consumo de energia associado a refrigeração e sistemas de ar-condicionado e muitas dessas instalações estão baseadas em ciclos e compressão de vapor. Afirma que para a redução do consumo, é necessário além da eficiência, operar apropriadamente o sistema. Para atingir esse objetivo é conveniente usar modelos completos, o qual leva em consideração uma grande quantidade de fatores e facilita o projeto de sistemas eficientes. No entanto, existem também uma demanda por modelos com baixo custo computacional para simular a performance de qualquer instalação e que possa ser usada para melhorar a operação do sistema e avaliar sua performance facilmente. Em seu trabalho, apresenta um modelo, com precisão, para estimar a performance do sistema usando dados facilmente obtidos nas instalações industriais.

Ocorre que o estudo aqui proposto tem como base a aplicação dos conceitos de recomissionamento, a coleta de dados operacionais em campo e a identificação de oportunidades de melhoria operacional e energética do sistema. Dessa forma, reafirmando sua base no recomissionamento, sem se preocupar com o estabelecimento imediato de um modelo matemático, reconhece o estado da arte no desenvolvimento de modelos completos para os sistemas de ar-condicionado, porém, se alinha à similaridade do estudo apresentado por Navarro-Esbrí et al. (2002), que busca uma metodologia de baixo custo, com a utilização de dados facilmente obtidos nas instalações e que possa ser usado para melhorar a operação do sistema e avaliar sua performance facilmente.

1.3. OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3.1. Objetivo principal

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia, baseada nos conceitos de recomissionamento, para a análise da performance operacional e energética dos sistemas de ar-condicionado de aeroportos e sua aplicação em um estudo de caso.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar o perfil da demanda atendida e sua sazonalidade;
- Avaliar a capacidade do processo de geração de água gelada dos *chillers*, individualmente e em conjunto;
- Validar a capacidade nominal do sistema para a absorção de carga térmica;
- Identificar e avaliar o modo de operação e gestão da capacidade do sistema;
- Analisar a performance operacional e energética do sistema através do coeficiente de performance (COP);
- Identificar oportunidades de melhoria operacional e energética.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi organizado em 6 capítulos, sendo o primeiro uma contextualização do tema, com a apresentação da revisão bibliográfica, das motivações, objetivos e estrutura do estudo.

Os Capítulos 2 e 3 trazem a luz, respectivamente, o aprofundamento do tema comissionamento e os fundamentos dos sistemas de ar-condicionado; no Capítulo 4, são apresentados os conceitos e os detalhes de cada fase da metodologia proposta; Como um estudo de caso, o Capítulo 5, apresenta a aplicação da metodologia proposta nas instalações de ar condicionado do Aeroporto Santos Dumont; e, por fim, o Capítulo 6 apresenta a conclusão do estudo e suas contribuições, indicando possibilidades de desdobramento para futuras pesquisas.

2. RECOMISSIONAMENTO DE SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo buscou, com base nas tendências reveladas na revisão bibliográfica, avançar no detalhamento das atividades a serem realizadas pelas equipes de comissionamento no campo, sem perder de vista os seus objetivos.

Segundo os conceitos mais amplos encontrados na bibliografia, as atividades referentes ao comissionamento devem ser iniciadas ainda na concepção do empreendimento, passando pelas fases de planejamento, execução, partida do sistema, operação e manutenção. Essa vertente compreende, portanto, um comissionamento abrangente, cobrindo todo o ciclo de vida do empreendimento.

Tipicamente, os sistemas de ar-condicionado são complexos e possuem muitos subsistemas, componentes e controles. Adicionalmente, a construção e montagem da edificação e seus sistemas envolvem muitas empresas especializadas, contratadas para a execução dos serviços, trabalhando de forma independentes umas das outras. A coordenação da execução dos serviços e a comunicação entre as contratadas podem produzir um sistema *HVAC* com instalação deficiente que não performe apropriadamente. Sem a verificação da correta instalação e operação de todos os sistemas e componentes, a performance do sistema como esperada e especificada é improvável de ocorrer (ACG, 2005).

Com o objetivo de atingir, verificar e documentar a performance de cada sistema e reunir as necessidades operacionais da edificação, o comissionamento se caracteriza como um processo de garantia da qualidade que se inicia na concepção do projeto. Para as novas edificações é comum o comissionamento de uma forma abrangente, porém existe a possibilidade do comissionamento da construção do sistema, que ocorre durante a construção, aceitação e pós-aceitação, excluindo as fases de pré-projeto e projeto do processo. A tabela 2.1 apresenta as fases do comissionamento abrangente segundo a ASHRAE (2015).

Tabela 2.1 – Atividades chave do comissionamento.

FASE	ATIVIDADES CHAVE DO COMISSIONAMENTO
Pré-projeto	Fase preparatória na qual os requisitos do projeto do proprietário são desenvolvidos e definidos.
Projeto	Os requisitos do projeto do proprietário são traduzidos para os documentos de construção e bases do projeto. Documentos são criados para transmitir claramente as premissas e dados usados para o desenvolvimento do projeto.
Construção	A equipe de comissionamento é envolvida para assegurar que o sistema e as montagens serão posicionados de forma a atender os requisitos do projeto do proprietário.
Ocupação e operação	A equipe de comissionamento é envolvida para verificar <i>ongoing</i> a manutenção do projeto do proprietário.

Fonte - Adaptado de ASHRAE (2015).

Como descrito em Tseng (1998) e Ellis (1998) Appud Wang (2001, p. 32.2 – 32.3), o escopo do comissionamento de um sistema de ar-condicionado deve:

- Esclarecer as prioridades do proprietário e a intenção do projeto. Os resultados do comissionamento incluem um ambiente saudável e confortável, qualidade de ar aceitável, eficiência energética, performance funcional otimizada, manutenibilidade e construtibilidade.
- Documentar e monitorar todas as facetas da construção. A documentação inclui a preparação da especificação do comissionamento, preparação dos procedimentos para os testes de verificação e revisão do equipamento chave e a comunicação da instrumentação. O monitoramento inclui a preparação da lista de verificação do sistema como eletricidade para os ventiladores, bombas e compressores; equipamentos de monitoramento e verificação, partida e operação de sistema, bem como a performance da temperatura e controles de energia; e os trabalhos de testes, ajustes e de balanceamento (*testing, adjusting and balancing - TAB*).

- Verificar o trabalho de *TAB*. Em comissionamento de ar-condicionado, *TAB* é uma ferramenta, frequentemente disponibilizada pelo subcontratado para o serviço, e uma parte do comissionamento.
- Testar extensivamente todos os subsistemas e seus componentes de controle para a aceitação. Verificar e documentar os testes de performance funcional do sistema, incluindo os de controle, para que todos os sistemas cumpram com os documentos do contrato. Estabelecer um registro da performance entregue e verificar os documentos “como construído” (*As-Built*), para todo o sistema. A documentação deve conter também um relatório das ações corretivas para todas as deficiências encontradas, suas correções e reteste. Para aceitação, o relatório final de comissionamento deve ser completado e submetido, e ainda conter claramente a recomendação para a aceitação do sistema. Todos os documentos devem ser entregues ao proprietário.
- Disponibilizar um detalhado treinamento ao pessoal de operação para cada um dos principais sistemas e equipamentos. O planejamento do treinamento e os registros de presença devem ser supervisionados. Isso é importante para conduzir o treinamento do sistema, bem como suas operações, para que todos os componentes individuais estejam funcionando juntos, como um sistema. Quando possível, as equipes de operação e manutenção devem ser encorajadas a participar nos testes de verificação, como um excelente treinamento.
- Continuar o comissionamento pós-aceitação e o monitoramento em funcionamento. O comissionamento pós-aceitação e o monitoramento em funcionamento são a continuação dos ajustes, otimização e melhoria do sistema de ar-condicionado. Tendência de dados e diagnóstico de capacidade do sistema de controle são avaliados durante o comissionamento e comissionamento pós-aceitação.

Ainda assim, apesar dos cuidados e atividades desenvolvidas durante o projeto e a execução, é comum a existência de diversos problemas para o atendimento das condições de conforto dos usuários. Os defensores do comissionamento relatam que os consumidores ainda não são consistentemente satisfeitos, considerando os níveis de qualidade entregues através dos tradicionais documentos de projeto, rede de suprimento de componentes e métodos de

construção. Defendem que o documento que define os objetivos do projeto exerce uma ligação fraca com a operação. Tradicionalmente, a equipe de projeto confere a instalação física dos equipamentos e o proprietário precisa contar com a correta instalação pelos construtores e o correto funcionamento como indicada na literatura dos fornecedores. Esse método tradicional tem atingido um sucesso parcial, muito pela complexidade das instalações e controles, juntamente com o fato de que a literatura comercial raramente define as condições de operação e integração com outros sistemas que são críticos para a apropriada operação (WILKINSON, 1999).

Os problemas presentes nas edificações existentes frequentemente resultam, na fase de projeto, da falta ou propriamente dos requisitos definidos pelo proprietário, de problemas oriundos da falta de clareza na definição do escopo, fluxograma do sistema e diagramas de instrumentação ruins, equipamentos selecionados inadequadamente, falta de detalhamento adequado, especificações pouco claras e minuciosas e uma descrição concisa das metas e procedimentos operacionais do sistema. Na fase de execução, destacam-se os problemas de construção resultantes de detalhes conflitantes para os padrões práticos, guias e normas e má interpretação. E, na fase operacional, problemas resultantes de performance do sistema, falta de registro documental, treinamento e entendimento do sistema não efetivos (LILLIE, 2012).

2.2 NORMA BRASILEIRA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma NBR 16401-1 – Instalações de ar-condicionado, sistemas centrais e unitários, apresenta diversos parâmetros e importantes considerações para o desenvolvimento do projeto. Em particular, com especial importância para este estudo, a seção 16 da norma apresenta as diretrizes para os ensaios e aprovação das instalações de ar-condicionado.

Além de todas as referências e protocolos para o desenvolvimento do projeto do sistema, a norma destaca que para garantir que cada parte, equipamento e subsistema seja executada e opere de acordo com os objetivos e requisitos do projeto, devem ser previstos o planejamento e a realização de procedimentos de inspeção, ensaios, ajustes e regulagens que antecedam o início da operação. Estabelece que os serviços de *TAB*, devem ser executados por profissional ou entidade habilitada e reconhecida por sua especialização, devendo este ser independente da responsabilidade pela instalação do sistema e supervisionado pela fiscalização do contratante.

É recomendado que o profissional ou entidade responsável pela realização dos testes esteja presente e participe da fase de projeto para antever a necessidade de instalar dispositivos que venham a facilitar, ou mesmo viabilizar, os testes, ajustes e balanceamento no campo. Caso haja previsão dos ensaios finais a serem realizados com os ambientes não ocupados ou em condições de carga térmica que não seja suficiente para a comprovação do desempenho, deverão ser especificados no projeto ensaios complementares para as condições adequadas de ocupação, condição climática e carga térmica interna.

Para permitir o apropriado balanceamento da instalação, o projeto deve especificar e mostrar os reguladores de vazão de ar e válvulas de controle sobre o fluxo nos desenhos, bem como locais de medição nos dutos de ar e tubulações cuidadosamente planejada de forma que as leituras sejam feitas com ótima exatidão e em conformidade com as boas práticas metrológicas.

Os critérios de aceitação de desvios devem ser perfeitamente especificados no projeto, considerando os dados dimensionais, vazão de ar, vazão de água, pressão ambiente, perda de carga em filtros entre outros parâmetros que caracterizem a qualidade da instalação e do seu desempenho. Para vazão de ar em aplicações não críticas, a norma recomenda tolerância de +/- 10% para elementos terminais e ramais individuais, e tolerância de +/- 5% para dutos principais. Para aplicações críticas onde as pressões diferenciais entre ambientes devem ser mantidas recomenda-se para zonas positivas (insuflação) de 0% a +10 %; para exaustão e retorno de ar, de 0% a -10% (ABNT, 2008).

Na relação entre o cliente e os prestadores de serviço, a ABNT (2014) estabelece os requisitos a serem adotados para as atividades de instalação e comissionamento de máquinas. A execução das atividades de instalação e comissionamento devem ser baseadas em documentação técnica aprovada, produzida para este fim. A documentação deve contemplar um plano detalhado de instalação e comissionamento, aprovado pelo cliente, antes da execução das atividades, desde o recebimento até a partida da máquina.

A norma ressalta que os equipamentos industriais abrangidos por seu escopo incluem bombas, compressores, turboexpansores, turbinas (vapor e gás), sopradores, ventiladores, motores (combustão interna, elétricos, hidráulicos), agitadores, geradores, caixas de engrenagens e variadores hidráulicos de velocidades.

Portanto, identifica-se claramente a aplicabilidade desta norma aos equipamentos que compõem os grandes sistemas de ar-condicionado. Todavia, a norma limita o seu escopo entre as fases compreendidas entre o recebimento dos equipamentos e o aceite pelo cliente.

Estabelece, ainda, que o plano de que trata deve conter no mínimo os seguintes procedimentos:

- Recebimento;
- Armazenamento;
- Preservação;
- Movimentação de carga, se aplicável, plano de içamento (plano de *rigging*);
- Instalação (posicionamento da máquina na base, nivelamento e alinhamento de eixos e grauteamento);
- Montagem e ajuste de tubulação;
- Instalação de sistemas auxiliares;
- *Flushing* do sistema de lubrificação, controle e selagem, quando aplicável;
- Limpeza da tubulação;
- Testes funcionais.

Estes procedimentos devem ser elaborados conforme requisitos descritos no corpo da norma e orientações do fabricante, contendo, no mínimo, a descrição, metodologia e critérios de aceitação das atividades. Na ausência destes, cabe ao executor estabelecer os critérios de aceitação e elaborar procedimentos.

Antecedendo a realização dos testes funcionais, a norma prevê a verificação de diversos itens, os quais certificam a realização das recomendações iniciais da norma, instalação de filtros, remoção de dispositivos temporários, sentido de fluxo de todas as válvulas, estanqueidade, destravamento de rotores com mancais de buchas, verificação do sentido de rotação dos acionamentos, garantia de aterramento e continuidade elétrica.

Para motores elétricos e geradores, antes da realização dos testes funcionais, devem ser verificados ainda: a resistência ôhmica dos enrolamentos, fechamento das ligações conforme diagrama, verificação dos detectores de temperatura internos dos motores (RTD), sistemas de comando, sistemas de proteção, sistemas auxiliares de lubrificação, refrigeração e pressurização, quando aplicável, entre outras.

Para o teste funcional, a norma estabelece que todas as máquinas e sistemas auxiliares devem ser submetidas a testes funcionais recomendados pelos fabricantes, após a instalação, sendo adequadamente registrado:

- Sempre que possível, os acionadores devem ser testados desacoplados;
- As turbinas devem passar pelo procedimento de aquecimento (*warm-up*) exigido pelo fabricante;
- Os testes devem ser executados sem carga, sempre que possível;
- Para a realização dos testes deve ser utilizado fluido seguro;
- Máquinas e acionadores devem apresentar níveis de vibração dentro dos limites especificados;
- Os mancais dos equipamentos devem apresentar temperaturas dentro dos limites especificados;

Além dos itens descritos, a norma segue descrevendo diversos outros a serem verificados para os casos de motores e geradores elétricos.

2.3 COMISSIONAMENTO EM EDIFICAÇÕES EXISTENTE

Os problemas presentes nas edificações existentes, em sua fase operacional, frequentemente resultam de desvios na performance desejada para o sistema, falta de registro documental, treinamento e entendimento do sistema não efetivos. Todavia, considerando que a satisfação dos ocupantes de uma edificação existente, em operação, foi fortemente estabelecida pela qualidade das ações previamente executadas no projeto, construção e comissionamento, a adequada ou correta operação do sistema se restringe a realizar, no dia a dia, a sua implementação com forte dependência da qualidade da execução das fases anteriores. Por sua vez, a correta operação pode ser entendida como componentes testados e o sistema com performance conforme requerido pelos ocupantes da edificação, de modo que toda a edificação possa ser considerada com a correta operação (WILKINSON, 1999).

O recomissionamento é o processo considerado para execução em edificações existentes, ajudando a reduzir o consumo de energia, a melhorar a qualidade do ar interior e o controle do ambiente interno (ELLIS, 1998). É relevante ressaltar que o processo de

retrocomissionamento, processo realizado em edificação existente que não tenha passado previamente pelo comissionamento, pode ser dificultado pela ausência de um processo documentado de comissionamento que sirva como referência inicial. Neste caso, informações de projeto devem ser priorizadas a fim de se identificar os objetivos da instalação e, em caso de impossibilidade, referências bibliográficas ou dos fabricantes poderão ser utilizadas como referência para o planejamento das inspeções, testes e ajustes durante o recomissionamento.

Após o reconhecimento da planta, espera-se a identificação de diversas oportunidades de economia de energia na operação do sistema. Li et al (2012), identificou em seu estudo oportunidades por mistura entre o suprimento e retorno de água gelada, alto nível de oxigênio no gás combustível do *boiler* e consumo extra de energia nos ventiladores do sistema de volume constante de ar e assemelhados. Para a realização do comissionamento em uma edificação existente, a ACG (2005) propõe a realização das atividades que são apresentadas na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Atividades chave do comissionamento em edificações existentes

FASE	ATIVIDADES CHAVE DO COMISSIONAMENTO
Planejamento	Definição dos objetivos do Sistema <i>HVAC</i>
	Seleção da equipe de comissionamento
	Finalização do escopo do recomissionamento
	Revisão da documentação da instalação
	Pesquisa no local
	Preparação do plano de recomissionamento
Implantação	Contratação de testes, balanceamento e controle automático de temperatura
	Documentar e verificar <i>TAB</i> e resultados dos controles
	Testes de performance funcional
	Análise dos resultados
	Revisão das práticas de operação e manutenção

Fonte: adaptado de ACG (2005).

2.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Obviamente, para as edificações existentes, pela impossibilidade de intervenção prévia nas fases de projeto e construção, com vistas ao comissionamento, torna-se adequadas as posições pragmáticas estabelecidas por Wilkinson (1999), como forma de reconhecimento da relação entre a correta operação e as fases precedentes de execução do projeto, e Ellis (1998) para a avaliação do desempenho dos sistemas em operação com o objetivo de identificar

oportunidades e propor ações de melhoria do desempenho energético e operacional da instalação.

Dessa forma, o recomissionamento, através da identificação dos objetivos do projeto e o seu confronto com o desempenho do sistema em andamento, revela em campo oportunidades de conservação de energia e, eventualmente, incorreções de projeto, desvios no processo ou na execução remanescentes na planta.

Desenha-se, portanto, a base para o desenvolvimento desta pesquisa em um ambiente propício para a aplicação dos conceitos do comissionamento em edificações existentes, ou, especificamente, para o recomissionamento.

3. SISTEMA DE AR-CONDICIONADO PARA O CONFORTO TÉRMICO

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve de forma direta e simplificada, com especial atenção aos propósitos deste estudo, os sistemas de ar-condicionado, passando pela definição do seu processo e objetivos.

O condicionamento de ar é o processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente, sendo para o condicionamento de ar em processos ou o condicionamento de ar para o conforto térmico e, que, em certas aplicações controla também o nível de pressão interna do ambiente em relação aos ambientes vizinhos (ABNT, 2008). Pela combinação de diversos processos e funções simultaneamente, um sistema de ar-condicionado é capaz de condicionar, transportar e introduzir o ar no ambiente a ser condicionado. Este processo pode disponibilizar aquecimento ou resfriamento, a partir de uma planta central e, também, pode controlar e manter a temperatura, a umidade, a velocidade e a pureza do ar para o conforto e saúde dos ocupantes ou controle do processo produtivo (WANG, 2001). Para o propósito da modelagem, conforme ilustrado na figura 3.1, o sistema de ar-condicionado pode ser dividido em 2 partes: o lado das cargas, como característica da edificação, de sua localização, ocupação e intensidade de uso, e o lado do HVAC, como o sistema instalado capaz de combater as cargas térmicas estimadas no projeto (ZHOU et al., 2014).



Figura 3.1 – Modelagem de sistema de refrigeração. Fonte: Adaptado de Zhou *et al.* (2014).

3.2 CARGAS TÉRMICAS

A especificação e aquisição dos equipamentos constituintes do sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado para o combate a carga térmica de um dado recinto ou edificação, dependem do prévio conhecimento da taxa máxima de calor a ser removido ou acrescentado a cada ambiente ou recinto, de forma a viabilizar a aquisição e instalação de um sistema com capacidade adequada para atingir e manter a condição de conforto térmico esperada.

A carga térmica a ser removida do ambiente é igual ao somatório das cargas introduzidas no ambiente nas mais diversas formas, através dos fluxos de calor: pela diferença entre as temperaturas do ar exterior e do ambiente; pela radiação solar; através dos dutos de insuflação, tubulações quentes que atravessam os ambientes; pessoas; equipamentos; ventilação; etc.

Os equipamentos que compõem o sistema de condicionamento de ar são dimensionados a partir da carga térmica total (calor sensível e calor latente) que pretende combater, na condição mais desfavorável, ou seja, quando exigido em sua carga máxima, horário de maior insolação, maior carga de utilização (pessoas, iluminação e equipamentos), garantindo a capacidade necessária a cada equipamento para atendimento do conforto térmico nos ambientes a serem atendidos.

As cargas térmicas devem ser calculadas em quantas horas do dia de projeto forem necessárias para determinar a carga máxima de cada zona térmica e a carga simultânea máxima para o sistema, bem como as épocas de suas respectivas ocorrências. Este cálculo, exceto para sistemas muito simples, é inviável sem o auxílio de um programa de computador. Este programa deve ser baseado nos métodos da ASHRAE (*TFM – Transfer Function Method*) ou preferivelmente (*RTS - Radiant Time Method*) (ABNT, 2008, p. 10).

3.3 SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO CENTRAL

Para a seleção dos equipamentos de um sistema de ar-condicionado, a depender dos objetivos do projeto, existem diversas opções quanto aos princípios de funcionamento, fluídos refrigerantes, capacidades e arranjo físico dos equipamentos.

Os sistemas comerciais mais utilizados para o condicionamento de ar são divididos em dois grandes grupos:

- Expansão direta, quando o evaporador recebe diretamente do recinto, ou por duto, a carga de ar quente a ser condicionado; e
- Expansão indireta, quando é utilizado um meio intermediário (água ou salmoura) para retirar a carga térmica que é transmitida pelo ar quente a ser condicionado.

De uma forma geral, para pequenas e médias instalações são indicados os equipamentos de expansão direta, como aparelhos de janela, *split-system* e *self-contained*. Para grandes edificações, com grandes áreas, muitas zonas térmicas ou edificações separadas, são indicados os sistemas de expansão indireta, como as centrais hidrônicas, que condicionam o ar que passa através de serpentinas alimentadas com água gelada enviada de uma central.

O desenho esquemático de um sistema hidrônico típico para o condicionamento de ar, figura 3.2, contempla os diversos circuitos (ar, água gelada, refrigerante e água de condensação) e ambientes.

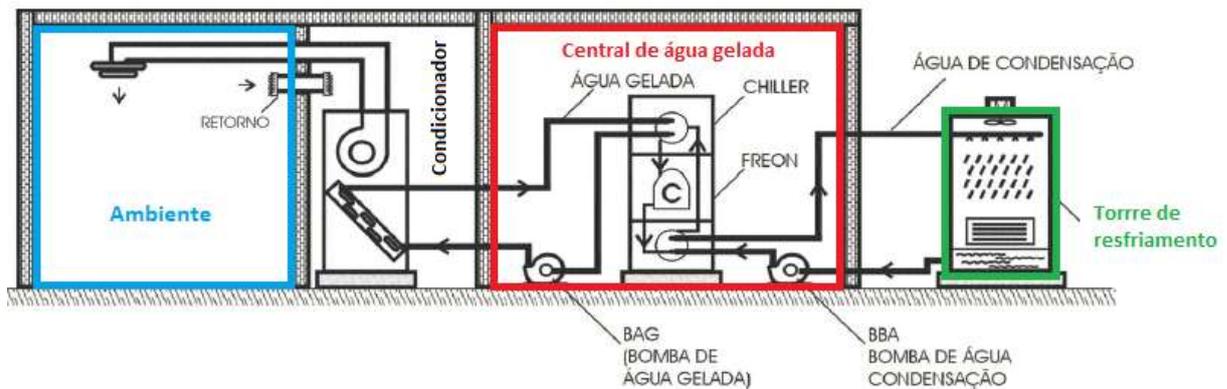


Figura 3.2 – Sistema típico de ar-condicionado hidrônico. Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2011).

A capacidade térmica por metro cúbico da água é 3.466 vezes maior que a do ar. Nos grandes projetos de condicionamento de ar, o transporte de energia para o aquecimento ou resfriamento, partindo da planta central para as unidades de condicionamento de ar, é muito mais eficiente com o uso água ao invés de ar. Na tabela 3.1 é apresentada uma comparação entre ambos os fluidos para o transporte de energia à 68°F (WANG, 2001).

TABELA 3.1 – Características físicas do ar e da água

	Ar	Água
Calor Específico, Btu/lb.°F	0.243	1.0
Densidade, a 68 °F, lb/ft ³	0.075	62.4
Capacidade térmica do fluido à 68 °F, Btu/ft ³ .°F	0.018	62.4

Fonte: adaptado de Wang (2001).

De uma forma simplificada, este sistema consiste na produção de água gelada em uma central (CAG) e sua distribuição bombeada através de redes de tubos. As redes de distribuição viabilizam a entrega da água gelada nos equipamentos condicionadores de ar dos ambientes. A água gelada e o calor absorvido dos ambientes condicionados retornam à CAG e o calor é rejeitado pelo circuito de água de condensação através das torres de resfriamento.

Na CAG, cada *chiller* montado em fábrica consiste em compressor, motor, sistema de lubrificação, evaporador, condensador, cargas iniciais de óleo e refrigerante, sistema de controle microprocessado e documentação necessária para a partida inicial (CARRIER, 2001).

Os controles dos *chillers* são configurados para dar partida e desligar em automático ou manual, caso necessário. Se operando no modo automático, os controles devem ser capazes de ligar e desligar automaticamente a máquina de acordo com a programação da ocupação prevista.

Os controles permitem visualizar e alterar o *setpoint* de temperatura da água gelada de retorno que entra, da água gelada que sai e o *setpoint* do limite da demanda a qualquer momento durante os períodos de operação ou desligamento da máquina. O controle da capacidade é realizado por meio de palhetas guia de entrada localizadas na admissão do *impeller*. A modulação atua de 15 a 100% da carga máxima do compressor em condições normais definidas, sem o uso de *by-pass* do *hot gas* (válvula automática que controla a temperatura de resfriamento através da recirculação do gás quente), em função do seu nível de pressão. As palhetas guias estão precisamente posicionadas por um algoritmo de controle proporcional-integral-derivativo (PID) para garantir o controle preciso ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$) da temperatura desejada da água gelada sem flutuação excessiva ou ultrapassagem do *setpoint*.

Condicionadores de ar são posicionados nas proximidades das zonas térmicas a serem atendidas e os equipamentos dimensionados para realizar a circulação do ar (ventilador) através da serpentina, onde serão removidos o calor latente e o calor sensível do ar, antes de insuflá-lo novamente no ambiente. Este processo promove a redução da temperatura do ar a ser novamente insuflado no ambiente, removendo a umidade em forma de condensado, e transferindo calor à água gelada que retorna à CAG.

Os sistemas condicionadores de ar combatem à carga térmica introduzida no ambiente, que é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser removido do ar do ambiente com o objetivo de atingir e manter as condições de conforto térmico desejadas, conforme dimensionamento do projeto.

Para o atingimento e manutenção das condições de conforto térmico estabelecidas em projeto é necessário garantir a vazão de ar insuflado pelo ventilador, após a sua passagem pela serpentina do condicionador, umidificador ou desumidificador.

Essa vazão de ar frio é que, misturado com o ar ambiente, faz a temperatura e a umidade permanecerem dentro das condições desejadas, combatendo o fluxo de calor que entra no recinto e, portanto, para o adequado dimensionamento da capacidade térmica e aquisição dos equipamentos, é necessário conhecer ou estimar a carga térmica máxima a ser combatida.

3.4 CONFORTO TÉRMICO

Acrescenta-se ao modelo, Zhou (2013), a expectativa dos usuários quanto aos resultados esperados de um sistema de ar-condicionado. Segundo a ASHRAE (2009), o principal propósito de um sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado é proporcionar as condições de conforto térmico as pessoas, “condições que a mente expressa satisfação térmica com o ambiente” (*ASHRAE Standard 55*). Essa definição deixa em aberto o que se entende por “condição que a mente” ou “satisfação”, mas é importante destacar que o julgamento de conforto é um processo cognitivo envolvendo muitas sensações influenciadas fisicamente, fisiologicamente e psicologicamente.

Para a ABNT (2008), NBR 16.401-2, a sensação de conforto térmico é essencialmente subjetiva. Devido as grandes variações individuais, fisiológicas e psicológicas, não é possível determinar condições que possam proporcionar conforto à 100% das pessoas.

Em andamento, o 3º projeto de revisão NBR 16401-2, de novembro de 2017 (ABNT/CB-55), apresenta conceitualmente:

“Conforto térmico pode ser definido como o estado de espírito e expressa a satisfação com o ambiente térmico e a temperatura do corpo como um todo. Como existem grandes variações fisiológicas e psicológicas de pessoa para pessoa, é muito difícil satisfazer a todos em um mesmo ambiente. Por esse motivo, pode-se afirmar que as condições ambientais que resultam em conforto térmico não são as mesmas para todos” (ABNT, 2017).

A norma, especifica ainda os parâmetros térmicos do ambiente interno em que uma maioria de 80% ou mais das pessoas, de um grupo homogêneo em termos de atividade física e tipo de roupa usada, é suscetível de expressar satisfação em termos de conforto térmico em recintos providos de ar-condicionado.

Ainda assim, especifica o seu escopo às pessoas adultas, em boa saúde, que estejam no ambiente há mais de 15 minutos.

3.4.1 Fatores que afetam o conforto térmico

Os fatores a serem controlados na busca pelas condições de conforto térmico, mesmo que subjetiva, segundo a ABNT NBR 16401-2, são:

- Temperatura operativa,
- A velocidade do ar,

- A umidade relativa do ar.

Ainda assim, para uma mesma condição térmica no ambiente, a expressão de conforto térmico dependeria de:

- 1) Tipo de roupa usado pelas pessoas, que determina a resistência média à troca de calor do corpo com o ambiente, expressa em “clo” (1 clo = 0,155 m² K/W).
- 2) O nível de atividade física das pessoas, que determina a sua taxa de metabolismo, geralmente expressa em “met” (1 met = 58,2 W/m²). Admitindo uma superfície média de 1,8 m² para o corpo de um adulto, 1 met é equivalente a aproximadamente 105 W.

A resistência térmica de diversos tipos de roupa e as taxas de metabolismo para diversos tipos de atividade estão indicadas nas tabelas 4 e 8, capítulo 8 – *Thermal Comfort*, de ASHRAE (2005).

O equivalente metabólico (MET), múltiplo da taxa metabólica basal, equivale à energia suficiente para um indivíduo se manter em repouso, 1 kcal/kg/hora, representado na literatura pelo consumo de oxigênio (VO₂) de aproximadamente 3,5 ml/kg/min. Quando se exprime o gasto de energia em METs, representa-se o número de vezes pelo qual o metabolismo de repouso foi multiplicado durante uma atividade (COELHO-RAVAGNANI et al., 2013).

Pedalar a 4 METs implica em gasto calórico quatro vezes maior que o em repouso (FARINATTI, 2003).

Para a avaliação da sensação térmica é utilizada a escala ASHRAE, o que nos permite graduar numericamente, entre -3 e +3, onde 0 é a sensação neutra e +1, +2 e +3 representam a sensação de levemente quente á muito quente. Analogamente, para -1, -2 e -3, de levemente frio a muito frio.

Estudos teóricos e pesquisas de laboratório permitem prever, em grupos homogêneos em termos de atividade física e tipo de roupa usado, a porcentagem das pessoas que expressaria determinada avaliação da sensação térmica em determinadas condições ambientais.

3.4.2 Parâmetros de conforto

A ABNT, através da norma NBR 16401-2/2008, estipula parâmetros para produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais das pessoas, como referência para o desenvolvimento de projetos. Esses parâmetros são válidos para grupos de pessoas, usando roupa típica da estação e em atividade sedentária ou leve (1,0 met a 1,2 met) e se enquadram nas zonas de conforto estipulados pela ASHRAE para estes mesmos fatores pessoais.

Verão (roupa típica de 0,5 clo) - Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por:

- 22,5° C e 25,5° C, com umidade relativa de 65%; ou
- 23,0° C a 26,0° C, com umidade relativa de 35%.

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

- 0,20 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%); ou
- 0,25 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10%).

Inverno (roupa típica de 0,9 clo) - Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por:

- 21,0° C e 23,5° C, com umidade relativa de 60%; ou
- 21,5° C a 24,0° C, com umidade relativa de 30%.

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

- 0,15 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%); ou
- 0,20 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10%).

3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Conclui-se que para as edificações de grande porte, os sistemas de ar-condicionado para atingimento e manutenção do conforto térmico dos ocupantes, assume enorme complexidade já a partir da determinação da carga térmica de referência para o projeto, não trivial, que deve considerar as condições externas local, ocupação da edificação e diversos fatores sazonais para a determinação da carga máxima e simultânea para o projeto. A partir da carga simultânea estimada, associada aos requisitos do proprietário, o sistema de ar-condicionado deve ser dimensionado de forma a atender as cargas térmicas máximas das diversas zonas térmicas e ter flexibilidade para suportar as variações de demanda sazonais, sem perder de vista às condições de conforto térmico nos diversos ambientes, o qual dependerá das características psicológicas, fisiológicas e culturais dos usuários.

4. METODOLOGIA

4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a metodologia proposta com as fases a serem aplicadas para a análise da performance operacional e energética de um sistema de ar-condicionado. O fluxograma apresentado na figura 4.1 sintetiza essa metodologia.

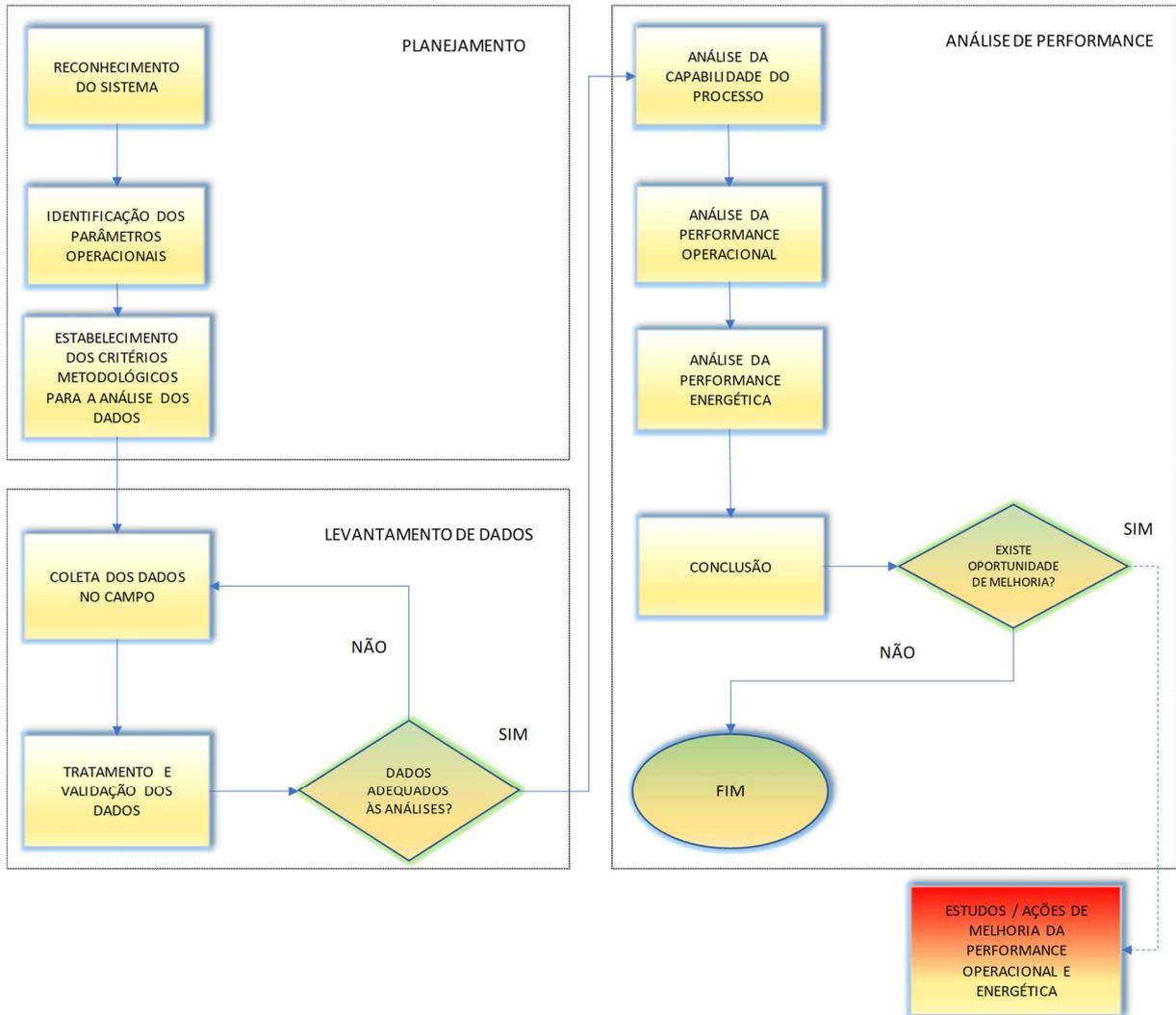


Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia. Fonte: Autor

O fluxo apresentado carrega incorporado em sua estrutura diversas vertentes identificadas na bibliografia, porém, com forte destaque para Navarro-Esbrí *et al.* (2010), que apesar de identificar a importância e conveniência de modelos completos, destaca a necessidade da operação apropriada do sistema e persegue alternativas com baixo custo computacional que possa ser utilizado para melhorar a operação e a performance do sistema, alinhando-se com o objetivo conceitual do recomissionamento. Por fim, assume-se como objetivo a análise do sistema para a identificação de oportunidades de melhorias operacionais e de redução do

consumo de energia, em concordância com o estabelecido em Ellis (1998) para o recomissionamento. A seguir apresenta-se o detalhamento das fases da metodologia dispostas na figura 4.1.

4.2 PLANEJAMENTO

4.2.1 Reconhecimento do sistema

É na fase de reconhecimento do sistema que a documentação do projeto é estudada em detalhes, resgatando as normas, condições internas e externas estabelecidas para o projeto, as cargas térmicas dos diversos ambientes, as premissas e a estratégia estabelecida pelo projetista para atender as expectativas do proprietário. Neste momento são realizadas as primeiras visitas à instalação em operação, onde há o confronto do arranjo físico e dos parâmetros operacionais estabelecidos no projeto com o efetivamente construído e operado, busca-se ainda resgatar junto as equipes a memória viva relativa aos momentos de construção, montagem e comissionamento.

Apesar da unicidade do sistema para o atendimento ao conforto térmico dos usuários da edificação e a forte interrelação entre os diversos subsistemas componentes da planta de ar-condicionado, cada um desses é dimensionado para realizar suas próprias entregas dentro das tolerâncias preestabelecidas. Em um sistema de ar-condicionado para o conforto térmico dos ambientes de uma edificação, é possível identificar 3 grandes subsistemas da planta. A figura 4.2, em suas camadas, apresenta os circuitos pelos quais o calor é transferido, a partir da circulação de ar no ambiente, passado pelo circuito de água gelada e chegando ao circuito de água de condensação, sendo rejeitado pelas torres evaporativas para o ambiente exterior.

A possibilidade de aplicar a metodologia de uma forma global, considerando a planta de ar-condicionado como uma caixa preta, tenderia a avaliar somente os parâmetros mais externos, como a capacidade do sistema em atender aos parâmetros do ar insuflado no ambiente (temperatura, umidade relativa, vazão e velocidade), ou simplesmente o conforto térmico, e o consumo total de energia do sistema. Essa ótica inibiria o detalhamento dos subsistemas e a identificação de oportunidades de melhoria dentro das fases intermediárias do processo, contrariando o principal objetivo do recomissionamento. Por esse motivo a metodologia recomenda que seja considerada a análise da performance dos subsistemas individualmente, partindo do sistema de geração de frio (*chillers*), o qual apresenta maior relevância no consumo de energia e limita a capacidade máxima de todo o sistema. A figura 4.2 apresenta, ainda, para cada circuito, as diferentes entradas e entregas do processo.

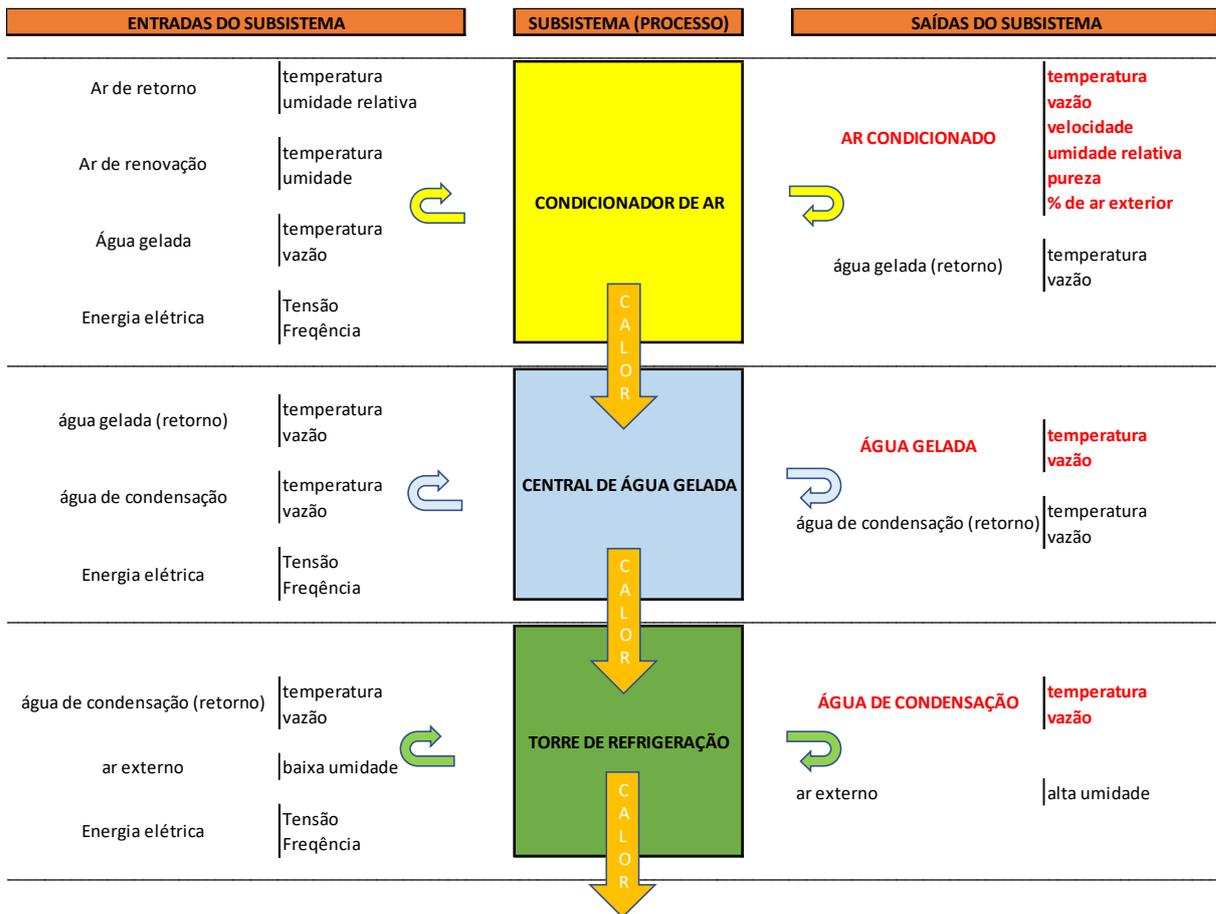


Figura 4.2: Parâmetros das entradas e saídas dos processos. Fonte: Autor

Dessa forma, a fase de reconhecimento do sistema, possibilita o entendimento do arranjo físico funcional da instalação e a obtenção das informações necessárias para a definição dos parâmetros operacionais de referência e dos resultados esperados para o processo.

4.2.2 Identificação dos parâmetros operacionais do sistema

Com o objetivo de verificar prioritariamente a capacidade do sistema para a produção de frio e o consequente atendimento à demanda térmica das edificações, a metodologia sugere fortemente que o planejamento considere o início das atividades pelo recomissionamento da CAG, a partir da qual as atividades avançariam para os diversos subsistemas de condicionamento de ar, com a capacidade total do sistema previamente validada. Vale ressaltar que deverão ser previstas atividades de recomissionamento para o sistema de água de condensação, para o caso de eventual desvio nas condições mínimas de fornecimento de água de condensação durante as atividades na CAG. Porém, independente do subsistema a ser analisado, é certo que suas entregas ou saídas do processo devem ser perfeitamente identificadas e os parâmetros operacionais que interferem na sua qualidade mapeados.

A figura 4.3 apresenta um modelo de sistema convencional de ar-condicionado para conforto térmico, implementado pela produção centralizada e distribuição de água gelada.

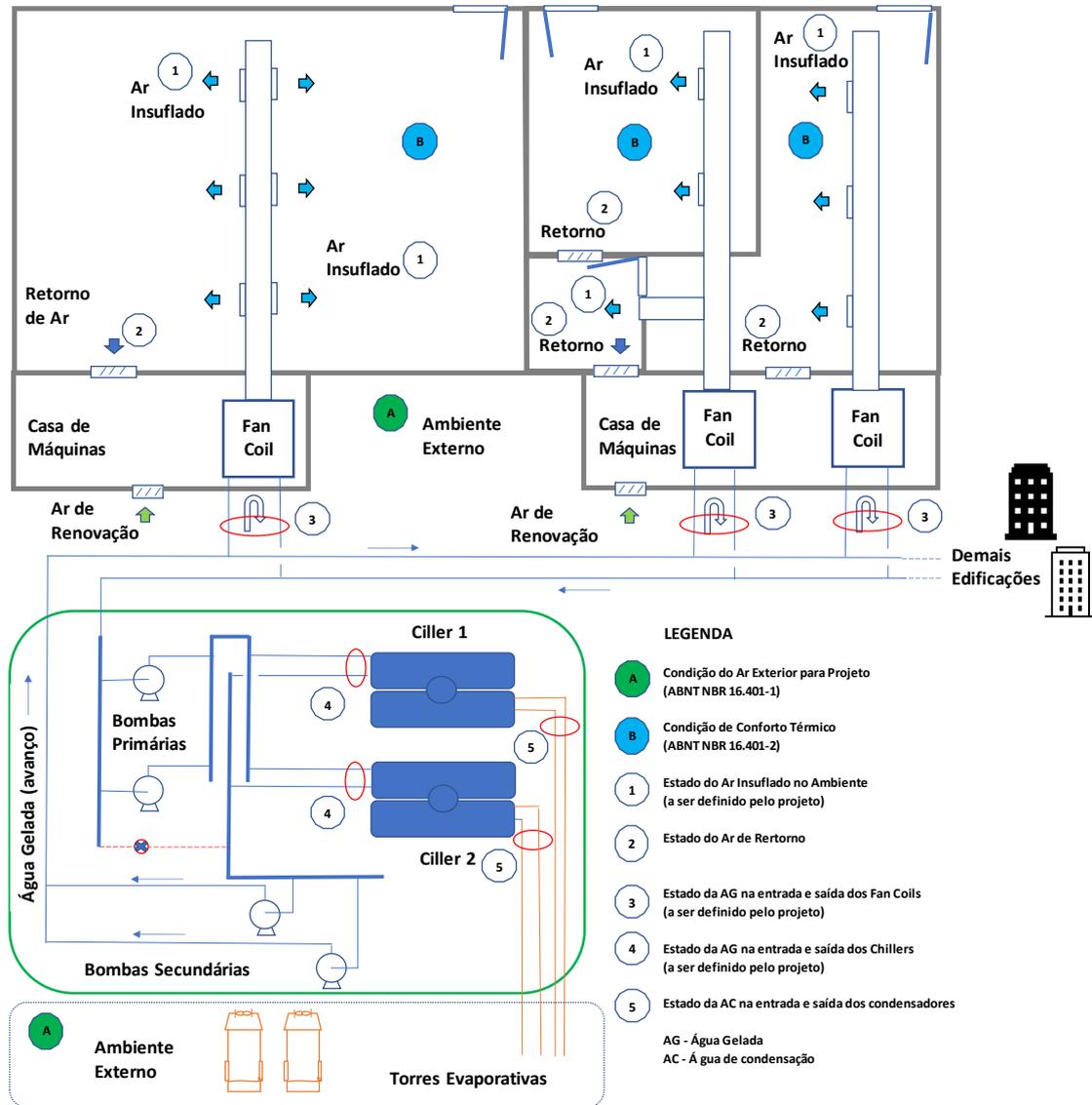


Figura 4.3: Mapa do processo. Fonte: Autor

Neste processo a água é resfriada pelos *chillers*, bombeada e distribuída às serpentinas dos condicionadores de ar instalados nas edificações, próximos aos ambientes a serem condicionados, que resfriam e desumidificam o ar em circulação nos ambientes condicionados. Os processos de resfriamento e desumidificação são realizados pela redução de temperatura, no condicionador, através da circulação do ar do ambiente pela sua serpentina, que transfere calor sensível e calor latente do ar para a água gelada que circula em seu interior. Após absorver calor, a água tem sua temperatura elevada e retorna para os *chillers*.

O processo realizado no *chiller* tem como objetivo transferir, através da realização de um ciclo termodinâmico de refrigeração, o calor absorvido do ambiente pela água gelada que retorna à CAG para um circuito de água de condensação, que irá rejeitá-lo para o ar exterior nas torres evaporativas. Dessa forma, o *chiller* garante a redução da temperatura da água gelada e o seu reenvio aos condicionadores, dentro dos parâmetros estabelecidos pelo projeto e dos limites estabelecidos pelo fabricante do equipamento.

Tipicamente, se a água gelada na saída do *chiller*, ou na entrada da serpentina do condicionador, está entre 6,7 e 7,2 °C, a temperatura fora da serpentina, no circuito de ar, estará em torno de 12,8 °C. Diferenciais de temperatura maiores para a água gelada estão diretamente relacionados aos menores fluxos através da serpentina. As práticas atuais consideram valores para o diferencial de temperatura entre 5,6 e 10 °C, em sistemas de água gelada aplicados em edificações. Diferenciais de temperatura maiores resultam em baixo consumo total de energia nas bombas, ventiladores das torres evaporativas e *chillers*. Todavia, apontam para serpentinas maiores e queda de pressão do lado do ar (WANG, 2001).

Para a realização da análise de performance da CAG, que, em última instância, é função do resultado da performance individual de cada *chiller* que compõe a central, se faz necessário a coleta de informações das condições de entrega da água gelada, pelos equipamentos, ao longo do tempo de operação, que, neste caso, se resume a vazão e a temperatura da água gelada disponibilizada. É importante lembrar que, para a operação típica do *chiller*, a temperatura da água no retorno não deve exceder o limite estabelecido pelo fabricante para atendimento das condições do projeto, assim como a vazão e a temperatura da água de condensação. Fisicamente, as regiões de coleta dos dados são identificadas na figura 4.3 pelos números 4 (entrada e saída de AG no evaporador) e 5 (entrada e saída de AC no condensador). As temperaturas e vazões coletadas ao longo do tempo nas posições 4 e 5 permitirão responder quanto a capacidade e regularidade dos equipamentos instalados em atender adequadamente aos limites especificados para temperatura da AG e calcular a parcela de carga térmica instantânea individualmente absorvida por cada *chiller*, além da carga total instantânea transferida dos ambientes das edificações para às torres evaporativas. Dados históricos coletados por períodos superiores a 12 meses permitirão estabelecer perfis diário e sazonal para a demanda de carga térmica e comportamento do sistema nas diversas estações do ano e situações de demanda.

Da mesma forma, para a realização da análise de performance dos condicionadores de ar, que é função do atingimento e manutenção das condições de conforto térmico no ambiente, se faz necessária a coleta das informações de temperatura e de umidade relativa do ar do ambiente ao longo do tempo de ocupação, garantidas as suas condições de velocidade e pureza adequadas. É importante lembrar que, para a manutenção da capacidade de cada equipamento condicionador de ar, a vazão e a temperatura da água gelada na entrada do condicionador deverão estar dentro dos limites estabelecidos no projeto, assim como as vazões, temperaturas e umidades relativas do ar de renovação e do ar insuflado no ambiente.

Considerando ainda as diversas possibilidades climáticas, as diferenças sazonais e a evolução da carga térmica demanda ao longo do dia, espera-se do sistema a capacidade de autorregulagem do seu funcionamento para o atingimento e, principalmente a manutenção das condições de conforto nos ambientes, independente das condições externas. Fisicamente, a supervisão da condição de conforto do ambiente deve ser realizada pelo monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar do ambiente, representada pela letra “B” na figura 4.3, que representa o estado de conforto térmico do usuário e o objetivo do sistema.

Certamente, outros subsistemas e parâmetros específicos poderão ser identificados, alguns deles pela sua importância e capacidade de interferir na entrega e condição de conforto disponibilizado pelo sistema. Outros pela sua capacidade de reduzir ou aumentar o consumo de energia e a performance energética ou operacional do sistema. Apesar de não descritos explicitamente, outros subsistemas e componentes são muito importantes como parte da verificação das condições de trabalho do sistema. Entre eles podemos citar o processo termodinâmico realizado pelo circuito de refrigeração interno ao *chiller*, o sistema de tubulações e acessórios, considerando sua adequação dimensional e condição de isolamento térmico, o sistema de bombeamento, a malha de instrumentação e o sistema de automação. Todos possuem grande potencial de interferir no sistema, reduzindo a eficiência do ciclo termodinâmico ou interferindo na perda de carga, desbalanceamento da distribuição de água gelada ou ar, ganho de temperatura ao longo do bombeamento, comandos inadequados para a operação e muito mais, resultando, em todos os casos, na perda de capacidade e, ou, aumento do consumo de energia.

Portanto, o planejamento, a identificação, a escolha e a coleta de dados dos principais parâmetros operacionais devem considerar o funcionamento e os valores esperados para um sistema típico e ser realizadas de forma cuidadosa, iniciando pela correta identificação das

entregas, forma de monitoramento e verificação das demais condições de operação, pois serão fundamentais para a eficácia do método. Em caso de ausência de informações referentes à parâmetros essenciais, estes deverão ser definidos com a ajuda dos fabricantes ou com base em referências bibliográficas.

4.2.3 Estabelecimento dos critérios metodológicos para a análise dos dados

Nesta fase do planejamento é necessário prever as ferramentas que permitirão, a partir dos dados coletados, caracterizar a distribuição e a dispersão dos parâmetros de entrega dos processos, a comparação dos resultados dos diferentes equipamentos, a estimativa de *gaps* e oportunidades de melhoria e consequente conclusão. Para uma adequada e ágil análise dos dados históricos coletados, sem perder de vista os objetivos estabelecidos, a metodologia prevê, além do planejamento da coleta de dados e utilização de recursos eletrônicos e *software*, a aplicação de ferramentas estatísticas de apoio às análises, as quais são descritas a seguir.

4.2.3.1 Resumos estatísticos

Dentro da metodologia são previstas comparações por comparação de resumos estatísticos, que consistem em valores estatísticos que, isoladamente ou em conjunto, representam resumidamente uma ou mais características da base de dados amostral, ou de parte estratificada desta, sejam elas agrupadas em tabelas ou descritas textualmente.

Através do estabelecimento dos valores médio, máximo e mínimo, da mediana e do desvio padrão, é possível definir as características estatísticas dos dados e comparar as diferenças entre grupos de dados selecionados segundo interesse específico. Também é possível a comparação do valor médio com, por exemplo, o valor nominal esperado, ou ainda identificar entre os valores máximos ou mínimos valores excessivamente elevado para os limites esperados para cada parâmetro. O confronto dos valores máximos e mínimos com os valores limites esperados para o parâmetro é fundamental para a identificação de desvios, contaminação dos dados ou eventuais erros, não descartando a possibilidade de sua correção. A hipótese da correção dos dados e confirmação de grandes amplitudes no processo também deve ser considerada.

4.2.3.2 Gráfico de caixa (*Boxplot*)

Segundo Tareen *et al.* (2019), o *boxplot* é uma ferramenta utilizada para revelar os padrões gerais ocultos em um conjunto de dados e é útil para mostrar as características de um grande conjunto de dados.

Para Flem *et al.* (2018), no *boxplot*, a visualização dos dados é mais imediata em função do foco nos percentis e nos *outliers*. Com essa motivação, a sua plotagem também é considerada para apoio às análises deste estudo. Segundo Dawson (2017), a estrutura do *boxplot*, ou gráfico de caixa, é formada pela caixa existente a partir do primeiro quartil (Q1), que avança até o terceiro quartil (Q3); a marcação da mediana; e os bigodes que se estendem do primeiro quartil até o mínimo, e do terceiro quartil até o máximo. Tipicamente os bigodes serão significativamente mais longos que a caixa. Bigodes curtos podem indicar uma distribuição uniforme. O *boxplot*, divide os dados em 4 fronteiras invisíveis, nomeadas duas cercas internas e duas cercas externas. Usualmente é definido o interquartil como a diferença entre o primeiro e o terceiro quartil (*IQR – interquartile range*). As cercas internas são definidas em função do *IQR*, estabelecidas como $Q1 - 1,5 IQR$ e $Q3 + 1,5 IQR$, enquanto as cercas externas são definidas como $Q1 - 3 IQR$ e $Q3 + 3 IQR$. Os bigodes se estendem para o dado mais extremo dentro das cercas internas. Os dados fora das cercas internas, mas dentro das cercas externas são considerados pontos levemente fora da curva e cada um é marcado com um símbolo. Os dados fora das cercas externas são considerados pontos fora da curva extremos.

4.2.3.3 Controle de processo e índices de capacidade

O gráfico de controle foi originalmente proposto em 1924, por W. A. Shewhart, que trabalhou no *Bell Telephone Laboratories*, com a intenção de eliminar variações anormais pela diferenciação entre variações devidas a causas assinaláveis² e aquelas devidas a causas aleatórias³ (KUME, 1993). Constituído de uma linha central, um limite superior de controle, acima da linha central, e um limite inferior de controle, abaixo da linha central, o gráfico de controle recebe os valores característicos que representam o estado do processo. Quando todos os valores marcados no gráfico estão dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular, o processo é considerado sob controle. Mas, no entanto, se os valores apresentam disposições atípicas, ou incidirem fora dos limites de controle, o processo é julgado fora de controle.

Para Siqueira (1997) uma regra prática para verificar se um processo está sob controle é dividir o intervalo entre o limite superior e o limite inferior de controle, em seis faixas, e

² A variação devida a causa assinalável significa que existe fatores relevantes a serem investigados. É evitável e não deve ser negligenciado: existem casos gerados pelo não cumprimento de certos padrões ou pela aplicação de padrões inadequados.

³ A variação devida a causas aleatórias é inevitável e, fatalmente, ocorre num processo, mesmo que a operação seja executada com o uso de matérias-primas e métodos padronizados. Por hora consideraremos não factível, técnica e economicamente, eliminar as causas aleatórias.

verificar a distribuição dos pontos nestas faixas. Segundo o autor, cerca de 34% dos pontos devem estar em cada faixa C, 13,5% dos pontos em cada faixa B e 2,5 % dos pontos em cada faixa A. A figura 4.3 ilustra a distribuição viável dos pontos de controle sob uma curva padrão normal.

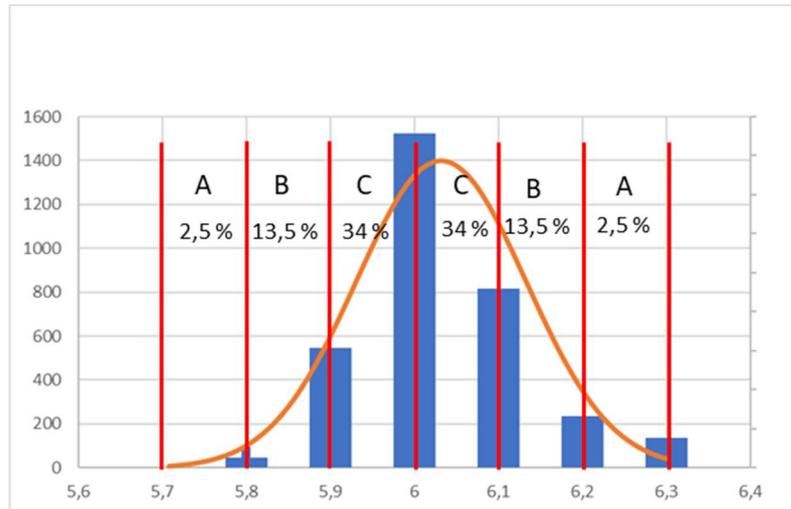


Figura 4.3: Distribuição dos pontos em curva normal padrão. Fonte: Adaptado de Siqueira (1997).

Quando as causas especiais, ou assinaláveis, de variação são eliminadas e os pontos de controle permanecem dentro dos seus limites, afirma-se que o processo é estável e está sob controle.

As variações de dados podem ser verificadas dentro do subgrupo (amostragem) e entre subgrupos. A primeira, é a variação que ocorre num subgrupo e é obtida a partir da amplitude da amostra. Por outro lado, a variação entre subgrupos é obtida a partir da distribuição das médias dos valores observados na amostra.

Neste estudo, a sequência de leituras da temperatura da água gelada na saída de um dado *chiller*, ao longo do dia, será considerada como um subgrupo e permitirá avaliar suas variações internas. A repetição das leituras nos diversos dias e equipamentos viabilizará, não só a avaliação da variação interna, mas também, a avaliação da variação entre os equipamentos, de forma que a diferença entre eles possa ser analisada e o controle do processo seja facilitado.

Para o acompanhamento e controle de processos são tipicamente usados gráficos de controle, com variações a depender se serão aplicados a parâmetros de valores contínuos ou discretos. Um deles é o gráfico x-R, o qual é usado para controlar e analisar um processo com valores contínuos da qualidade do produto, tais como comprimento, peso ou concentração e

isso fornece maior quantidade de informações sobre o processo. O valor de x representa o valor médio de um subgrupo e R representa a amplitude do subgrupo. Geralmente, um gráfico R é utilizado em combinação com um gráfico x , para controlar a variação dentro de um subgrupo.

Segundo Ribeiro e Caten (2012), entre as diversas características de distribuição, a depender da característica física a ser medida, pode ser caracterizados os seguintes tipos:

As que apresentam a média igual à mediana: são comuns em características dimensionais, por exemplo, tendem a apresentar uma distribuição de probabilidade aproximadamente simétrica, pois causas de variabilidade geram valores que podem se afastar do valor alvo em ambos os sentidos. Elas apresentam limites superior e inferior de especificação, conforme figura 4.4.

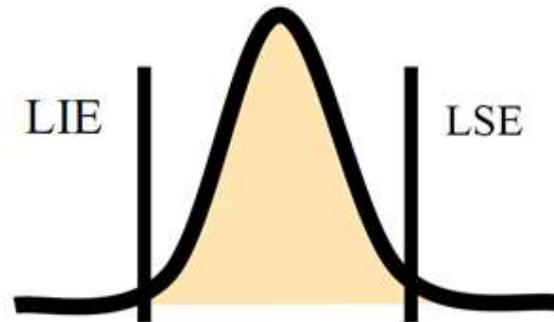


Figura 4.4 – Curva normal com média igual a mediana. Fonte: Ribeiro e Caten (2012).

Aquelas com a média menor que a mediana: pode ser apresentado como exemplo a resistência mecânica. Tendem a apresentar uma distribuição de probabilidade assimétrica à esquerda, pois muitas vezes existem limitações tecnológicas que dificultam a obtenção de valores altos, enquanto muitas causas de variabilidade podem gerar valores baixos. Elas apresentam apenas limites inferior de especificação, conforme figura 4.5.

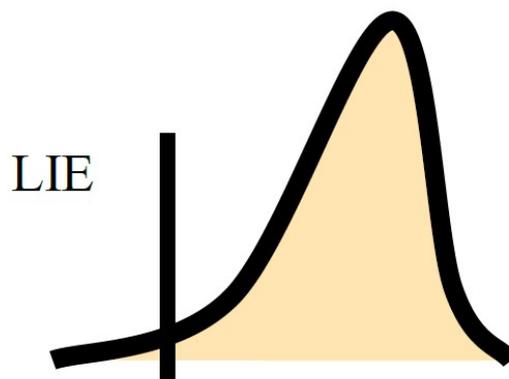


Figura 4.5 – Curva normal com a média menor que a mediana. Fonte: Ribeiro e Caten (2012).

As que apresentam o valor da média maior que a mediana: Tendem a apresentar uma distribuição assimétrica a direita, pois muitas vezes existem limitações tecnológicas dificultando a obtenção de valores baixos, enquanto muitas causas de variabilidade podem gerar valores altos. Elas apresentam apenas limites superiores de especificação conforme figura 4.6.

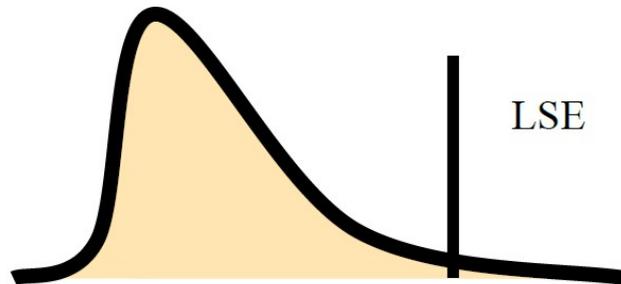


Figura 4.6 – Curva normal com a média maior que a mediana. Fonte: Ribeiro e Caten (2012)

Ainda segundo os autores a comparação entre a média e mediana ajuda a identificar o tipo de distribuição de probabilidade.

Para Siqueira (1997), a melhor forma de se verificar a adequação de um processo às necessidades da engenharia de produto é por meio do estudo de capacidade do processo ou da relação entre a capacidade do processo e a diferença entre os limites de especificação (tolerância do produto). Esta relação, também é conhecida como índice de capacidade ou razão de capacidade.

Segundo Darestane e Nasiri (2014), entre os índices de capacidade de processo, o C_p se concentra e revela o nível de dispersão da distribuição do processo estudado em relação aos limites previamente especificados, e não em sua centralização. Portanto, com o objetivo de avaliar, em primeira análise, a capacidade isoladamente dos equipamentos instalados, sem levar em consideração as interferências de uma melhor ou pior operação, neste momento, a metodologia propõe a utilização do índice C_p .

TABELA 4.1 – Classificação da capacidade do processo

CLASSIFICAÇÃO	VALOR DE C_p
Capaz	$\geq 1,33$
Razoavelmente capaz	$1 \leq C_p \leq 1,33$
incapaz	< 1

Fonte: Adaptado de Costa, Epprecht e Carpinetti. (2005)

4.2.3.4 Dispersão, linha de tendência e utilização da equação

Se valendo do potencial de cálculo numérico dos computadores disponíveis e dos aplicativos eletrônicos, a metodologia considera a utilização dos valores lidos em campo, dados primários, para a determinação dos valores dos parâmetros indiretos relacionados. A partir dos dados primários é possível, por exemplo, determinar a carga térmica instantânea absorvida em cada *chiller*, no momento da leitura, pela aplicação da fórmula (4.1), conhecida a redução de temperatura na água gelada promovida pelo *chiller*.

$$ct = v \cdot c \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

Onde:

ct , carga térmica absorvida pelo equipamento no instante da leitura;

v , vazão de água através do evaporador;

c , calor específico da água;

Δt , diferencial de temperatura entre as temperaturas na entrada e na saída do *chiller*.

Para funções mais complexas, é possível através do gráfico de dispersão, linha de tendência e coeficiente de correlação, recursos disponíveis no software de planilhas eletrônicas Microsoft Excel®, determinar de forma segura a equação para uma dada curva que representa a tendência dos pares de dados plotados em um gráfico de dispersão. Para a determinação do COP do *chiller* em função da carga térmica instantânea absorvida no momento da leitura, foi possível utilizar as informações apresentadas pelo fabricante, conforme a tabela 4.2, que relaciona o percentual da capacidade desenvolvida pelo equipamento com o COP, e plotar os pares informados em um gráfico de dispersão: (11, 3,13); (20, 4,58); (30, 5,76); (40, 6,54); (50, 6,93); (60, 6,99); (70, 6,72); (80, 6,63); (90, 6,39); e (100, 5,86). Dessa forma, uma linha de tendência pôde ser plotada com a escolha da função mais adequada, validada pelo seu coeficiente de correlação, sendo possível a determinação da equação para a determinação do COP em função da potência desenvolvida pelo equipamento.

Tabela 4.2: Desempenho do *chiller* em função da potência parcial

		Capacidade (TR)	Potência (kW)	Consumo (kW/TR)	COP	Temperatura na entrada (°C)
Carga nominal		600	360	0,601	5,86	12,00
CARGA PARCIAL	90%	540	297	0,551	6,39	11,39
	80%	480	255	0,530	6,63	10,79
	70%	420	220	0,523	6,72	10,19
	60%	360	181	0,503	6,99	9,59
	50%	300	152	0,508	6,93	8,99
	40%	240	129	0,538	6,54	8,40
	30%	180	110	0,611	5,76	7,80
	20%	120	92	0,768	4,58	7,20
	11%	66	74	1,123	3,13	6,66

Fonte: Adaptado de Carrier (2013).

Os pontos informados pelo fabricante, previamente conhecidos, foram usados para a confirmação da curva e determinação dos erros apresentados pela aplicação da equação em cada um dos pontos, conforme informado na tabela 4.3 a seguir.

Tabela 4.3 – Desvio do valor do COP calculado

	CAPACIDADE (%)									
	11	20	30	40	50	60	70	80	90	100
COP Informado	3,13	4,58	5,76	6,54	6,93	6,99	6,72	6,63	6,39	5,86
COP Calculado	3,14	4,54	5,79	6,57	6,91	6,93	6,80	6,62	6,37	5,87
Erro (%)	-0,32	0,87	-0,52	-0,46	0,29	0,86	-1,19	0,15	0,31	-0,17

Fonte: Autor, adaptado de Carrier (2006)

4.3 FASE DE LEVANTAMENTO DE DADOS

4.3.1 Coleta, tratamento e validação da base de dados

Para o alcance dos objetivos, com resultados confiáveis, a base de dados deverá conter dados reais relativos aos parâmetros operacionais que atendem ao propósito do trabalho. Dados históricos, poderão ser utilizados e deverão ser avaliados criteriosamente de forma a garantir a sua correção, integridade e adequação aos objetivos estabelecidos. O levantamento de dados em campo, caso não haja dados históricos adequados, deverá ser precedido de planejamento com o propósito de garantir sua adequação aos objetivos já estabelecidos e evitar retrabalhos.

Para o tratamento dos dados, é prevista a utilização de resumos estatísticos que identifiquem os valores médios, mínimos e máximos da amostra, permitindo a avaliação do valor médio e dos valores mais extremos. Aqueles valores que excedam os limites esperados para cada parâmetro podem indicar a presença de causas assinaláveis interferindo no controle

do processo. A análise gráfica através do *boxplot* permitirá perceber visualmente a distribuição e seus limites. Este procedimento identificará os desvios mais significativos e viabilizará uma análise pontual para a confirmação de causas assinaláveis e eventuais correções.

Dentro da base de dados é possível realizar recortes para a realização de análises específicas, por turno, operador, modo de operação ou outro critério de interesse para o estudo. O recorte é de extrema importância para adequar a base de dados ao objetivo da análise, evitando contaminação de dados, desvios nos resultados específicos esperados e equívocos nas conclusões.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

4.4.1 Análise da capacidade

Essa fase da metodologia tem como objetivo verificar se os principais equipamentos instalados, base essencial da instalação, são capazes de atender as necessidades do processo e se foram adequadamente dimensionados e especificados pelo projetista para o atendimento às necessidades da edificação. Ao mesmo tempo, considerando os dados disponíveis, é verificado se estes operam adequadamente, de forma a entregar seus produtos⁴ dentro dos limites de tolerância previamente estabelecidos.

Vale lembrar que, caso os principais equipamentos tenham sido subdimensionados, a correta operação ou ações de melhoria poderão não ser suficientes para atingir a condição de conforto térmico nas edificações, necessitando, portanto, de grandes intervenções.

Para a confirmação da adequação dos equipamentos instalados, sem avaliar neste momento a centralização do processo com os limites especificados, a metodologia sugere o estudo de capacidade, ou capacidade do processo, com a utilização do índice Cp , o qual é calculado segundo a equação 4.2 e relaciona a distribuição amostral, em curtos períodos, com os limites especificados para o processo, buscando avaliar individualmente os equipamentos.

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (4.2)$$

O estudo poderá resultar na incapacidade, na capacidade parcial ou, ainda, na capacidade do processo em atender adequadamente os limites especificados para o parâmetro.

⁴ Para efeito neste estudo, entende-se como produto dos subsistemas o ar insuflado no ambiente, a água gelada na saída do *chiller* e a água de condensação na entrada do *chiller*, a depender do subsistema a ser analisado.

Vale ressaltar que, as amostras deverão ser avaliadas criteriosamente para a identificação da presença de causas assinaláveis, pois o processo somente estará estável e apto a ser avaliado em sua capacidade quando não houver a presença de causas assinaláveis.

Considerando que a metodologia não pretende eliminar as causas assinaláveis e sim identificar os indícios de sua presença para ações posteriores, sugere-se a utilização de técnicas estatísticas como o *boxplot* e os princípios da distribuição normal para identificação de *outliers* e determinação dos limites da distribuição, mesmo que seja necessário, posteriormente, detalhar os motivos específicos para análise dessas interferências no processo como forma de identificar as oportunidades de melhoria.

4.4.2 Análise da performance operacional

O avanço da temperatura ao longo do dia, combinado com a condição momentânea de ocupação e utilização dos espaços refrigerados da edificação e, ainda, às condições climáticas sazonais ao longo do ano, demandam do sistema de ar-condicionado a execução de um processo dinâmico, com flexibilidade para o atendimento de cargas térmicas mais baixas em horários ou estações mais frias, e cargas mais altas, em horários de pico ou estações mais quentes. Dessa forma, a metodologia prevê que o comportamento sazonal e a evolução de carga ao longo do dia devem ser identificados e registrados através de seus perfis e tendências operacionais. Uma estratégia otimizada de gestão da capacidade instalada deve ser definida, considerando o conforto térmico nos ambientes e o consumo de energia para o trabalho.

Neste sentido, a metodologia prevê a identificação do modo real de operação, que deve ser compreendido durante as visitas às instalações e confirmado com o comportamento dos dados. A estratégia, modo de operação adotado, deve ser confrontada com a condição ótima de operação do sistema, revelando as oportunidades de melhoria operacional.

Para a CAG, o procedimento equivale a comparar a gestão operacional dos *chillers* com o modo otimizado de operação, que equivale a determinar o número de equipamentos a ser utilizado para cada faixa de carga térmica que levaria a operação com os melhores resultados para o COP. Por fim, conhecidos os modos operacionais utilizado e otimizado, é possível determinar o nível da oportunidade de melhoria operacional, se houver, e o momento da evolução da carga térmica para o acionamento de cada equipamento adicional.

No caso do sistema de condicionamento de ar, poderia ser analisado a partir das características do ar insuflado, considerando os perfis de temperatura, umidade e vazão do ar,

tanto para aquele realizado em campo, como para o modo otimizado em função das condições do ar no retorno. As condições do ar insuflado seriam analisadas em função da evolução da demanda térmica e da capacidade do sistema em atingir e manter às condições de conforto térmico no ambiente.

4.4.3 Análise da performance energética

A metodologia considera a utilização de índices reconhecidos e largamente utilizados de forma a possibilitar a busca de referências teóricas para o adequado posicionamento da instalação quanto ao seu desempenho.

Considera-se que o sistema de ar-condicionado realiza o seu processo para o combate às cargas térmicas dos ambientes, performando uma taxa instantânea de absorção de calor, dentro de sua capacidade, consumindo, portanto, uma taxa de energia para a realização desse trabalho. A relação entre o benefício de refrigeração entregue e a energia consumida revela a performance do sistema e nos permite a comparação com outros sistemas similares, a identificação de oportunidades e a otimização do seu desempenho.

O índice de desempenho COP, sugerido na metodologia e apresentado na sequência pela figura 4.7 e equação 4.3, avalia o rendimento de um equipamento de refrigeração (*selfs*, *chillers*, etc.). Ele nos dá uma referência que relaciona a capacidade do equipamento de remoção de calor (energia útil ou efeito frigorífico) à potência requerida pelo compressor (energia consumida). Quanto maior o COP, melhor o rendimento do equipamento (ELETROBRÁS, 2011).

Para a realização da análise, a metodologia propõe a leitura real do consumo diretamente nos medidores da concessionária local de distribuição de energia. Essa hipótese poderá ser substituída por estimativa, desde que baseada em leituras de campo e não carregue distorção que inviabilize a comparação confiável com os valores teóricos de referência.

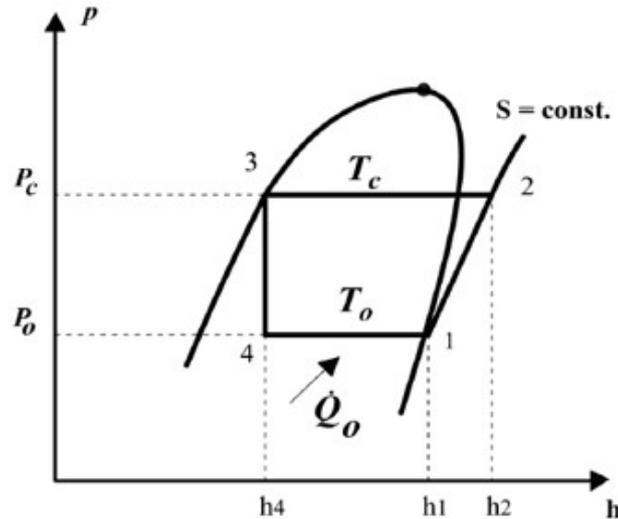


Figura 4.7: Diagrama de Mollier. Fonte: Eletrobrás (2011, p. 30)

$$COP = \frac{ENERG_{UTIL}}{ENERGIA_{CONSUMIDA}} = \frac{h1-h4}{h2-h1} \quad (4.3)$$

O efeito de refrigeração deverá ser estimado em função do perfil traçado a partir dos dados de campo, considerando os períodos de leitura do consumo e estimativa do efeito de frigorífico. Deve ser previsto método numérico para as estimativas dos valores necessários a conclusão da análise.

4.5 CONCLUSÃO

A metodologia, conforme os conceitos do recomissionamento, parte da verificação da adequação dos componentes, passando pela verificação operacional do conjunto e chega à verificação da performance global do sistema. Conceitualmente não foi verificado nenhum impedimento para uma aplicação *Top-Down* da metodologia, a partir da análise da performance global para a mais específica. Porém, a proposta conceitual, seguindo a essência do recomissionamento, que é garantir a performance do todo a partir da adequação das partes, com uma abordagem *Bottom-Up*. Para uma edificação existente, em operação, o caminho a ser percorrido pela metodologia ataca objetivamente as bases operacionais do sistema, abrindo a possibilidade de correção imediata dos desvios e melhoria da performance, sem perder a possibilidade de comparação evolutiva com os dados históricos. Diferente da maioria dos modelos propostos, a metodologia se aproxima da operação, sem deixar sua sustentação teórica, e se aproveita dos dados disponibilizados continuamente para o acompanhamento, não só da performance do sistema, como da sua adequada operação, podendo ser automatizado para acompanhamento em tempo real e alinhamento com o comissionamento contínuo.

5. ESTUDO DE CASO

5.1 INTRODUÇÃO

Como forma de consolidar a aplicação da metodologia, os passos propostos foram aplicados às instalações de ar-condicionado do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro. A escolha se deu pela aderência do sistema instalado aos propósitos desta pesquisa, considerando as características físicas do sistema estudado. A possibilidade de acesso e levantamento de informações na documentação técnica do projeto e de dados operacionais históricos de campo viabilizaram, juntamente com a fundamentação teórica, a execução da pesquisa e compreensão dos resultados, embasando, desta forma, a escolha.

5.2 PLANEJAMENTO

5.2.1 Reconhecimento do sistema

Seguindo o modelo previsto por Zhou (2013), o sistema de ar-condicionado estudado foi dividido em lado das cargas e lado do sistema. Como lado das cargas, foram descritas as edificações, seu contexto histórico e a carga térmica estimada para o desenvolvimento do projeto. Por outro lado, como sistema ou projeto implementado, foi descrito o sistema de ar-condicionado, embora a aplicação da metodologia tenha sido restrita, neste estudo, à central de água gelada (CAG), para a qual foram coletados os dados de campo para a realização das análises do desempenho operacional e energético. Assim, este tópico apresenta toda a estrutura da instalação utilizada como referência para a realização deste estudo de caso.

5.2.1.1 Lado das cargas

5.2.1.1.1 Edificações dos terminais

O Terminal de passageiros do Aeroporto Santos Dumont, apresentado na figura 5.1, é formado pelo seu prédio inaugural, de 1936, hoje utilizado operacionalmente para o fluxo de desembarque e, por isso, chamado de terminal de desembarque; pelo segundo terminal, inaugurado em 2007, dedicado aos fluxos e infraestrutura de embarque; e uma terceira edificação, construída em estrutura de aço e fechamento em vidro, que permite o fluxo de passageiros entre as áreas públicas dos terminais e a aeronave, passando pelos portões e pontes de embarque, conforme figura 5.1. Essa edificação foi construída juntamente com o terminal de embarque e é chamada Conector, por permitir o trânsito de passageiros do terminal de embarque para a aeronave, durante o embarque, e da aeronave para o terminal de desembarque para aqueles em processo de desembarque.

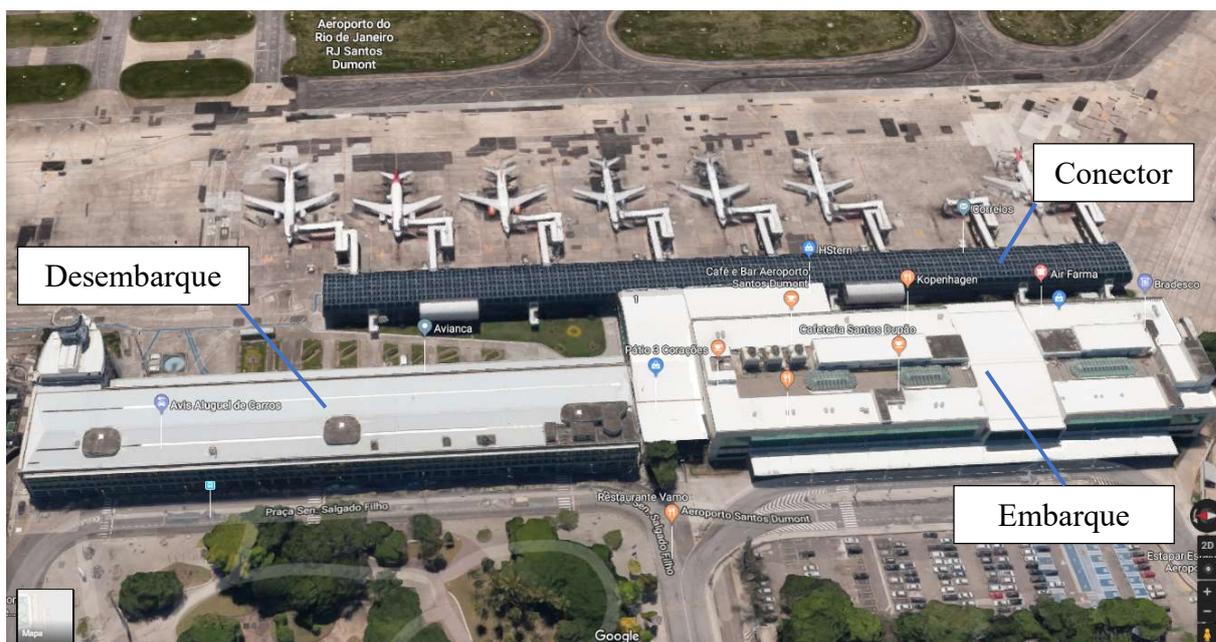


Figura 5.1 – Foto panorâmica dos terminais de passageiros. Fonte: Google maps

<https://www.google.com.br/maps/>, SDU, 3D, em 02/02/2021.

Verticalmente, as edificações que compõem o terminal são estruturadas nos seguintes pavimentos:

TERMINAL DE EMBARQUE E DESEMBARQUE: Subsolo; Térreo; Mezanino; 1º pavimento; 2º pavimento; e Cobertura.

CONECTOR: Térreo (aberto no nível da pista de pousos e decolagens); e 1º pavimento.

5.2.1.1.2 *Desafios para o projeto do sistema de ar-condicionado*

Trata-se das considerações e desafios apresentados nos relatórios técnicos, emitidos no primeiro semestre de 2005, para o desenvolvimento do sistema de ar-condicionado do Aeroporto Santos Dumont – SDU. Respectivamente, os relatórios descrevem as considerações dos projetistas em relação às condições das edificações do Desembarque e Conector, quanto ao desenvolvimento dos seus projetos de climatização. De uma forma geral, os relatórios apresentam os desafios a serem vencidos em função das características das edificações que comprometem a adoção de soluções convencionais para os sistemas de ar-condicionado pretendido. Na documentação disponibilizada não foi encontrado relatório técnico para a edificação de embarque, similar aos demais terminais, e, portanto, foi considerado que não houve óbice a adoção de solução comercial, ou qualquer outra dificuldade, para o projeto de ar-condicionado no terminal de embarque.

a) Terminal de embarque de passageiros

O terminal de embarque é a edificação (figura 5.2), mais recente, que abriga, além dos fluxos de embarque, balcões de vendas das companhias aéreas, área comercial com lanchonetes e lojas. Ainda abriga em seu subsolo a CAG e, em sua cobertura, três torres de resfriamento para o atendimento do circuito dos trocadores condensadores dos *chillers*.



Figura 5.2 – Terminal de embarque. Fonte: Google < <https://www.google.com>>, SDU, imagens, em 05/03/2020.

b) Terminal de desembarque de passageiros

Trata-se da edificação inaugural do Aeroporto, apresentada na figura 5.3, para a qual o desafio da implantação do condicionamento de ar foi descrito no relatório técnico SDU/TPS/653.RT-1001/R1, de 10/01/2005, que segue transcrito parcialmente:



Figura 5.3 – Terminal de desembarque. Fonte: Pesquisa em Google < <https://www.google.com>>, SDU, imagens, em 05/03/2020.

“O condicionamento do Saguão, Saguão Central e Saguão de Desembarque, no Pavimento Térreo do Prédio de Desembarque é, em tese, de difícil solução técnica, pois, a edificação apresenta uma série de restrições que não permitam viabilizar soluções convencionais, quais sejam: pé direito elevado, grandes superfícies expostas

diretamente para o exterior (envidraçadas ou não), particularmente para o caso do Saguão Central, em que a orientação das duas fachadas é predominantemente no sentido Leste/Oeste, e sem nenhum artifício arquitetônico que permita sombrear estas avantajadas fachadas, inexistência de áreas técnicas (casas de máquinas ou pavimentos técnicos sobre estes ambiente), que permitam a instalação de condicionadores de grande capacidade, que estes ambientes demandam, e seus respectivos dutos.

(...)

Tendo em vista as restrições físicas e outras, e particularmente quanto ao fato de que o Patrimônio Histórico, não permite o fechamento das aberturas atualmente existente para a fachada principal por meio de caixilharias, nos eixos 3 a 5, 13 a 19 e 32 a 34, criando-se uma vedação entre os ambientes internos dos saguões e o exterior, condição fundamental para viabilizar qualquer sistema de condicionamento, não há condições adequadas para implementar o condicionamento de ar destes ambientes.

(...)

Diante disso, fica constatada a adoção de solução de condicionamento de ar somente em parte dos ambientes do terminal de desembarque (área de restituição de bagagens, previsão para as concessões e escritórios), não sendo implementado o condicionamento de ar para os saguões públicos em função do conjunto de dificuldades apresentadas no relatório, principalmente pelo tombamento da edificação pelo patrimônio histórico.

c) Conector de embarque e desembarque de passageiros

Trata-se de área intermediária (figura 5.4), entre os prédios principais do terminal de passageiros e as pontes de embarque e desembarque. Construída em estrutura metálica com fechamento em vidro, essa edificação recebe e abriga temporariamente os passageiros em embarque e desembarque, interligando-os às aeronaves através das pontes de embarque e desembarque.



Figura 5.4 – Foto panorâmicas do Conector. Fonte: Pesquisa em Google <<https://www.google.com>>, SDU, imagens, em 05/03/2020.

O relatório técnico SDU/TPS/653.RT-1002/RA, de 15/05/2005, apresentou proposição de solução a ser adotada, à época, e suas considerações, transcritas abaixo:

“O condicionamento do Conector, considerando a configuração física do mesmo em envoltório completo em vidro, representa um desafio não indiferente em virtude da elevada carga térmica e das relações entre capacidade frigorífica resultante e as vazões de ar decorrentes dos cálculos psicrométricos

Na primeira aproximação de cálculo, em que se considerou os vidros do envoltório do Conector com as características fornecidas pelo Consorcio, isto é:

Sunergy Green 8 mm + 2 pvb clear ou 1 pvb light green + Sunergy Green 8 mm, os valores da carga térmica resultaram na ordem de 450 TR, e a vazão de 340.000 m³/h apresenta insuperáveis dificuldades de distribuição nos ambientes do Conector.

Deve-se ressaltar que a solução objetivada para o Conector não contempla a adoção de forro (mesmo virtual) e não prevê a existência de dutos aparentes nos ambientes.

Com estas limitações, as únicas soluções serão a de insuflamento pelo piso ao longo das periferias externas do Conector, e o uso de dispositivos verticais ao longo do Conector (na parte interna) com formatos de “totens”, com dispositivos do tipo “ejetores” a serem desenvolvidos junto aos fabricantes de difusores, que deverão permitir o insuflamento do ar nos ambientes.

Com os resultados obtidos acima, não foram encontradas soluções que viabilizem a distribuição do ar de forma adequada, resulta em excesso de velocidade sobre o ocupante dos ambientes.

Após estudos da consultoria de conforto ambiental, foi proposto o uso de redutores externos de insolação direta sobre o envoltório em vidro do Conector, com utilização de “brises”, que permitem o sombreamento destas superfícies, particularmente na parte superior do envoltório, e o resultado foi uma enorme redução da carga térmica, particularmente a parcela referente à parcela de irradiação.

Como resultado prático, a carga térmica teve uma redução substancial, resultando em aproximadamente 260 TR, e uma redução da vazão de ar necessária (210.000 m³/h), ainda elevada, porém já com valores que permitem a adoção de dispositivos existentes no mercado.

Em base a estes resultados, foi então elaborado um estudo de consolidação do ar-condicionado do Conector, representado pelos desenhos SDU/TPS/653.1200 a 1203, onde se procurou apresentar em forma gráfica dimensional, o traçado dos dutos de ar-condicionado sob o piso do Conector, e a distribuição dos dispositivos de distribuição do ar nos ambientes.

Tais desenhos não devem ser considerados como a solução final, pois a solução de sombreamento do envoltório em vidro do Conector deve ainda ser confirmado, definido e os resultados finais recalculados.

Além disto, deverá existir um longo trabalho conjunto entre o projeto de condicionamento de ar com a arquitetura para a definição dos locais onde poderão ser posicionados os “totens”, para se coordenarem com a operacionalidade do Conector, e tudo isto coordenado com as possibilidades técnicas dos dispositivos de ejeção de ar junto aos fabricantes dos mesmos.

Os desenhos apresentam de modo geral as dimensões dos dutos para verificar a interferência dos mesmos com a estrutura, e o posicionamento dos condicionadores de ar, sendo que estes deverão ser oportunamente dimensionados em base ao que o mercado pode ofertar, podendo haver ainda reposicionamento dos mesmos no entorno da região onde estão implantados”.

5.2.1.1.3 Carga térmica estimada para o projeto

Conforme apresentado no anexo 9.2, Memória de Cálculo - SDU/TPS/653.MC.1002-C1, de 25/02/05, a carga térmica de resfriamento foi calculada com base no método de cálculo ASHRAE (*Cooling Load Method 2 – 1985 – ASHRAE CLTD/CLF*), através do *Software “Load Design Analysis – CDS*.

Para a definição da carga térmica total foi considerado para cada ambiente o máximo valor de ocupação de pessoas, hora do dia de maior temperatura externa para os ambientes periféricos à edificação, de modo que a carga devida às paredes e vidros representassem a condição de maior ganho térmico, a maior taxa de iluminação e de calor dissipado por equipamentos na sua maior intensidade de operação.

O valor de carga máxima foi utilizado para garantir o correto dimensionamento dos equipamentos condicionadores e garantir o atendimento do conforto térmico no momento de maior carga possível. Já o valor de carga simultânea foi utilizado para o cálculo da capacidade

da CAG, visto que nem todos os ambientes demandariam, ao mesmo tempo, os valores de suas cargas máximas. A figura 5.5 apresenta a participação de cada edificação na composição da carga térmica máxima total.

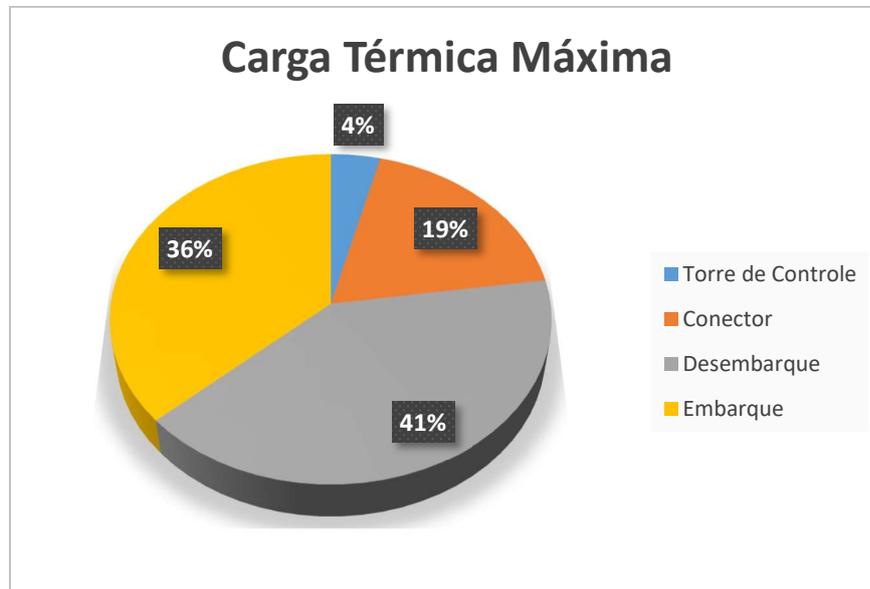


Figura 5.5 – Participação das edificações na de carga térmica. Fonte: Autor com os dados do projeto Infraero (2005).

Resumo do terminal de passageiros – Carga máxima

Carga total do terminal de passageiros (Embarque + Desembarque + Torre de Controle + Conector + Pontes de Embarque)

2.049,0 TR

Considerando ainda os efeitos práticos das cargas simultâneas temos:

Resumo do terminal de passageiros

Carga simultânea do terminal de passageiros (Embarque + Desembarque + Torre de Controle + Conector + Pontes de Embarque)

1.653,9 TR

5.2.1.2 Lado do sistema

5.2.1.1.4 Central de água gelada

A solução apresentada no projeto analisado é caracterizada por um sistema de expansão indireta, sendo implementada por uma CAG, com capacidade nominal de 1.800 TR, abrigada no subsolo da edificação do terminal de embarque. O sistema de produção térmica foi constituído inicialmente por 3 resfriadores de líquidos (*chillers*), porém, atualmente opera com 4 equipamentos, como apresentado na figura 5.6. Os equipamentos podem disponibilizar simultaneamente, operando em grupos de três, suas capacidades térmicas em circuito fechado de água gelada, anel primário, impulsionada por 4 bombas primárias (BAGP). O calor rejeitado

no processo de condensação é transferido ao ar exterior através do bombeamento da água de condensação até as 3 torres de refrigeração evaporativas posicionadas na cobertura desta edificação.

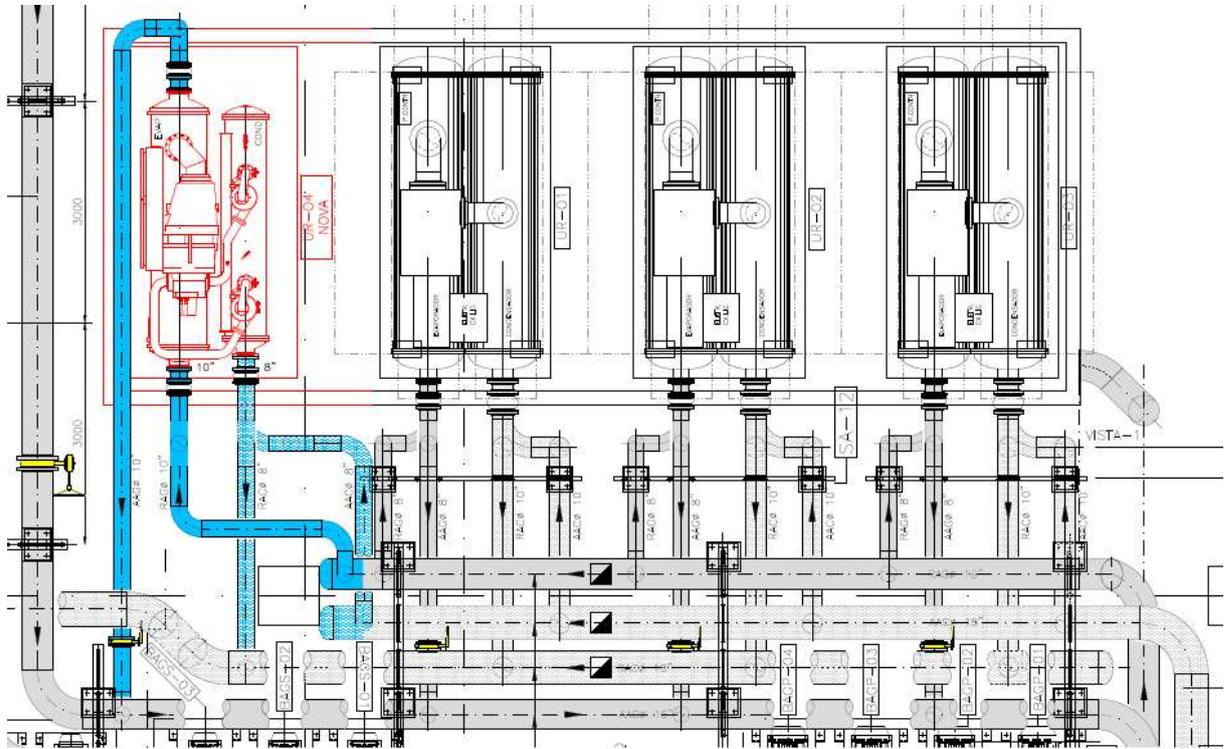


Figura 5.6 – Planta baixa dos chillers. Fonte: Adaptado do projeto Infraero (2006).

A capacidade instalada na CAG foi dimensionada a partir da Carga Térmica Simultânea calculada em 1.654 TR, conforme memória de cálculo apresentada, acrescida de uma folga de aproximadamente 10%, totalizando uma capacidade comercial de 1.800 TR. A distribuição de água gelada às edificações atendidas é realizada a partir do anel primário pelo bombeamento da água gelada, por 13 bombas secundárias, através de cada um dos 4 circuitos secundários, disponibilizando a vazão dimensionada para cada uma das edificações e seus ambientes, de forma a atender aos condicionadores posicionados próximos das áreas a serem condicionadas.

Vale ressaltar que o quarto *chiller* (UR 04) foi instalado em 2016, adicionalmente aos 3 equipamentos previstos no projeto original, além de uma nova bomba secundária de água gelada (BAGS 013), conforme figura 5.7.

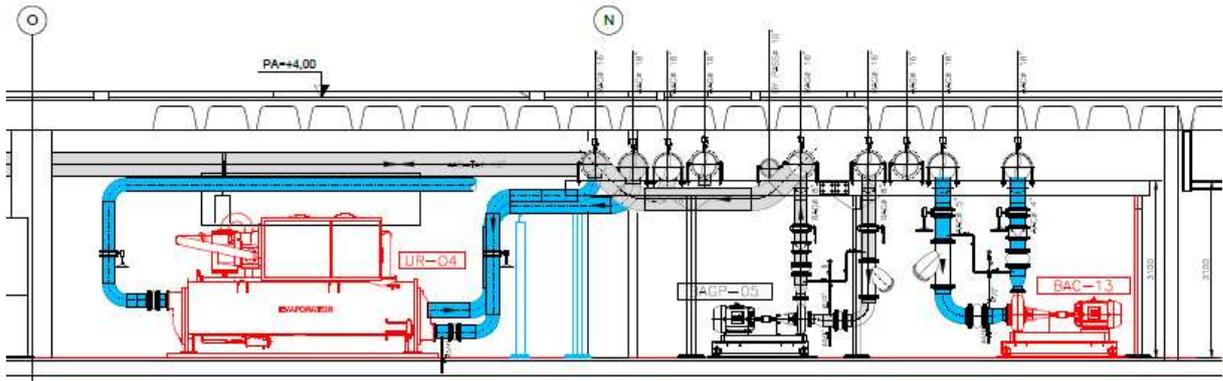


Figura 5.7 – Planta de elevação *Chiller*. Fonte: Adaptado do projeto Infraero (2005).

Cada um dos três *chillers* originalmente instalados (Carrier Modelo: 19XR-50504R3DDH68) foi especificado para operar, quando na condição de carga total (100%), disponibilizando capacidade de 600 TR, entregando água gelada à temperatura de $6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ e recebendo a água de retorno à temperatura máxima de 12°C . Nesta condição, cada equipamento é capaz de entregar uma vazão de $300\text{ m}^3/\text{h}$, demandando para isso 360 kW de potência elétrica (informações constantes nas folhas de dados dos equipamentos).

Considerando o calor específico da água (c) igual a $1,0\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$, para a aplicação da equação (4.1) apresentada no capítulo anterior:

$$ct = v \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 300.000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \times 1,0 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} \right) \times 6(^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 1.800.000\text{ kcal/h}$$

$$Q = 600\text{ TR}$$

O quarto *chiller* (Trane Modelo: RTHD) foi fabricado para operar disponibilizando capacidade de 375 a 450 TR, com vazão variando de 140 a $600\text{ m}^3/\text{h}$. O fabricante informa ainda um limite de controle de temperatura de $\pm 0,28^{\circ}\text{C}$ e consumo de 380 kW . Porém, em função da configuração e limites do sistema, o equipamento não soma a sua capacidade a capacidade nominal da Central (CAG), visto que somente entra em operação quando em substituição de um dos demais equipamentos, em condição não crítica.

A capacidade nominal da CAG pode ser resumida, então, pelo fornecimento de 900 m³/h de água gelada, à temperatura de 6° C, retornando a central à temperatura de 12° C. Essa condição de operação equivale a capacidade térmica nominal de 1.800 TR.

5.2.1.1.5 *Demais estruturas do sistema*

Cabe esclarecer que o sistema, em sua integralidade, prevê a distribuição da capacidade térmica produzida na CAG pelo bombeamento e movimentação da água gelada para os terminais através de 4 anéis secundários. A vazão de cada anel secundário é impulsionada por um grupo específico de bombas hidráulicas, para o atendimento das cargas específicas de cada edificação dos terminais (embarque, desembarque e conector). Os terminais de embarque e desembarque são constituídos de área pública, onde se encontram localizadas as lojas comerciais, os escritórios administrativos, os balcões de venda das companhias aéreas e um saguão de circulação. Na área restrita das edificações estão posicionadas as áreas de devolução de bagagens, no caso do terminal de desembarque, e os portões de embarque e desembarque, contidos nos respectivos fluxos. Cada um dos diversos ambientes contidos nessas edificações é atendido por vazão de água gelada previamente dimensionada, de forma a garantir sua necessidade específica, a depender da ocupação da área, sala ou loja. Comum aos fluxos de embarque e desembarque, se apresenta o conector, edificação construída em estrutura metálica, que se destaca pelo seu fechamento em vidro e um único vão (volume), atendido por 8 condicionadores de ar do tipo *fan coils*, com insuflamento pelo piso. As características construtivas e suas imposições arquitetônicas tornam a edificação bastante interessante e desafiadora para uma solução de ar-condicionado. Todavia, este estudo se limitará a aplicar a metodologia proposta à CAG, não contemplando essas estruturas e sistemas no escopo deste estudo.

5.2.2 Identificação dos Parâmetros operacionais

Das informações contidas na documentação do projeto foram identificadas e elencadas àquelas necessárias à aplicação da metodologia proposta na CAG, como parte de uma edificação comercial existente, em operação, contida em um sistema de ar-condicionado de expansão indireta, para o conforto térmico dos usuários dos terminais de passageiros.

Considerando a ausência de informação quanto aos limites de especificação da temperatura da água na saída dos *chillers* e a necessidade de analisar a capacidade do processo em entregar o volume de água gelada dentro de uma faixa especificada para a temperatura,

foram estimados os seus limites de especificação (LIE e LSE). Os limites foram definidos a partir do valor de tolerância para o processo informado por Carrier (2013) como $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, considerando o valor nominal da temperatura de 6°C , em um processo estável e capaz, ou seja, com índice de capacidade mínimo de $C_p = 1,33$. Dessa forma, os valores limites para especificação da temperatura da água gelada foram estabelecidos, segundo a equação 4.2, em $5,6^{\circ}\text{C}$ (LIE) e $6,4^{\circ}\text{C}$ (LSE), ou seja, em $6,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$.

As principais informações operacionais da CAG são apresentadas na tabela 5.1:

TABELA 5.1: Principais parâmetro do sistema

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Capacidade Nominal CAG	TR	1.800,00
Temperatura máxima AGR	$^{\circ}\text{C}$	12,0
Temperatura AG	$^{\circ}\text{C}$	$6,0 \pm 0,3$
Vazão nominla de AG	m^3/h	900,00
Temperatura especificada AG	$^{\circ}\text{C}$	$6,0 \pm 0,4$
Temperatura AC	$^{\circ}\text{C}$	29,5
Temperatura ACR	$^{\circ}\text{C}$	35,0
Vazão AC	m^3/h	1.140
Potência Elétrica Instalada	Kw	1.080
Tensão de Trabalho	V / PH / Hz	4.160 / 3 / 60
Corrente Nominal	A	58

Fonte: Adaptado de Carrier (2013)

5.2.3 Estabelecimento dos critérios metodológicos para a análise dos dados

A aplicação desta metodologia na planta de ar-condicionado do Aeroporto Santos Dumont tem como objetivo realizar a análise da performance operacional e energética da CAG e confirmar a adequação dos principais equipamentos instalados ao propósito do projeto, identificando oportunidades de melhoria ao longo de sua análise.

O processo realizado pela CAG, em cada *chiller*, consiste em resfriar e recircular a água, recebida com temperatura de até 12°C , e disponibilizá-la à $6 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, absorvendo nominalmente até 600 TR em cada um dos 3 equipamentos. Portanto, para o processo descrito, o resultado esperado é, primeiramente, a avaliação dos *chillers* e sua classificação segundo a capacidade de atender aos limites especificados para temperatura da água gelada entregue (AG) e absorver a carga térmica especificada. Para a análise da performance operacional e energética, espera-se identificar e registrar o modo de operação em campo, considerando a gestão operacional dos equipamentos, e determinar uma referência para o COP otimizado para o

sistema, em comparação ao consumo real de energia. Ao longo das análises espera-se, com o auxílio das ferramentas estatísticas previstas pela metodologia, identificar oportunidades de melhorias no processo e na estratégia operacional, que, após implementação de ações de melhoria produzam os resultados estimados para performance energética.

5.3 FORMAÇÃO DA BASE DE DADOS (CENTRAL DE ÁGUA GELADA)

5.3.1 Coleta dos dados

A composição da base de dados para este estudo se deu a partir do levantamento dos valores operacionais registrados diariamente ao longo do período de 13 meses de operação da CAG do Aeroporto Santos Dumont. O período de coleta de dados foi iniciado no dia 02 de fevereiro de 2019 e se estendeu até o dia 29 de fevereiro de 2020. Os dados levantados fazem parte dos registros realizados pelas equipes de operação, como parte do controle das condições operacionais e de entrega de água, pela CAG, ao sistema de condicionamento de ar para o conforto térmico nas edificações do terminal.

Ao longo dos 392 dias foram realizadas 5.498 leituras, registrando-se as condições instantâneas de operação daqueles equipamentos em marcha, entre os 4 *chillers* instalados, além dos seus equipamentos auxiliares, bombas de água gelada (primárias e secundárias) e bombas de água de condensação, em operação. As leituras referentes aos *chillers* foram realizadas pela observação das informações transmitidas dos instrumentos à IHM de cada equipamento (figura 5.8), e suas transcrições realizadas pelo operador do sistema no plantão, para o formulário “Lista de Verificação – Operação CAG”, apresentado no anexo 9.1, previamente estabelecido, conforme apresentado no anexo 9.1.

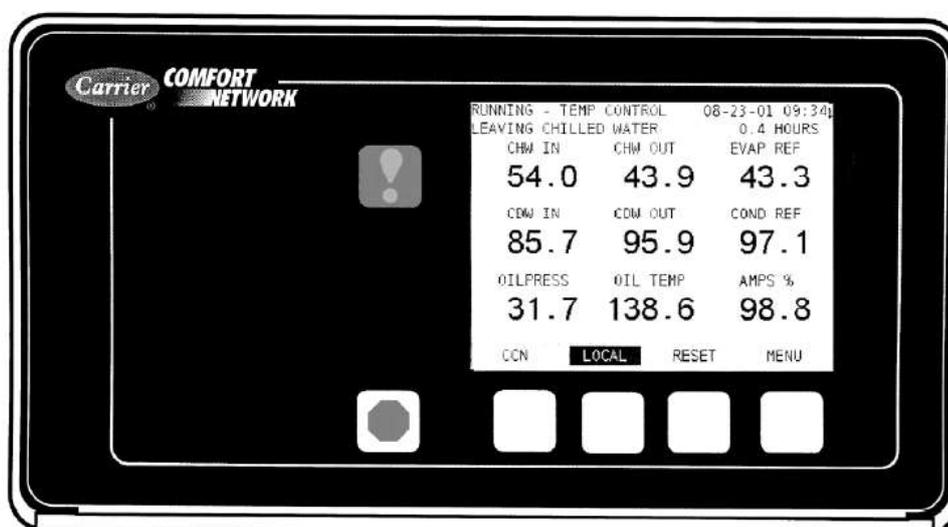


Figura 5.8: Painel de controle do *Chiller*. Fonte: Adaptado de Carrier (2001).

Dessa forma, cada um dos formulários (anexo – 9.1) resgatados para compor a base de dados contém em seu corpo o registro da data, do horário e do responsável pelo preenchimento. Em cada formulário existem campos para o registro de até 4 leituras, pois a CAG é composta de 4 *chillers*, porém, vale lembrar que somente 3 deles podem operar simultaneamente. Em cada leitura transcrita para o formulário, são registrados os valores das temperaturas no condensador e no evaporador, considerando entrada e saída, dos diferenciais de pressão e das potências relativas desenvolvidas pelos equipamentos, no momento de cada leitura, além de outras informações de interesse, como bombas e torres e operação.

5.3.2 Tratamento e validação dos dados

Considerando a possibilidade de erro durante a coleta dos dados e, ainda, erros introduzidos durante a atividade de digitação dos valores manuscritos dos formulários para a planilha eletrônica, foi previsto um procedimento simples de identificação de possíveis desvios, verificação e correção de eventuais erros.

Com o objetivo de verificar e validar os dados digitados e, eventualmente, corrigir os desvios encontrados, foram calculados os valores médios, máximos e mínimos de cada parâmetro da base de dados e, por comparação com a faixa de valores esperados, identificados os valores excessivamente baixos ou excessivamente altos para o parâmetro, levantando para estes valores a hipótese de erro na leitura ou na digitação. Para a correção, os valores suspeitos foram verificados na própria planilha eletrônica e, quando necessário, confrontados com os valores manuscritos nos formulários originais, podendo ser corrigidos, confirmados ou descartados, a depender da identificação do erro e da possibilidade de correção na fonte ou na digitação.

Na planilha, foram encontradas trocas de vírgula por ponto decimal, o que interfere na formatação e nos cálculos dos valores estatísticos dos dados. Também foram encontradas inversões nos valores de temperaturas da entrada e da saída do equipamento. Os desvios foram prontamente corrigidos e as leituras liberadas. Para cada hipótese de erro na qual sua origem não foi identificada na planilha, uma segunda verificação foi realizada diretamente na folha de dados, que, em geral, sua origem foi identificada e corrigida ou os seus valores confirmados em suas leituras. Vale ressaltar que o descarte de leitura somente seria realizado no caso de não ser possível a identificação dos valores, datas ou equipamentos. Todavia, no universo de dados verificados, somente foram descartadas as leituras referentes ao mês inicial, fevereiro de 2019.

Especialmente para o primeiro mês de amostragem, fevereiro de 2019, foi identificado um baixo volume de dados, com 108 leituras realizadas no mês. Vale registrar que no mês seguinte, março de 2019, o número de leituras saltou para 568. Além do relativamente baixo volume de dados, foram percebidos erros no preenchimento dos formulários, representados por falta de preenchimento do horário da amostragem, inversão de valores e ausência de data, o que pode ter ocorrido por ser o mês inicial e, portanto, período de adaptação e treinamento das equipes. Como compensação ao descarte, a amostragem avançou até o mês de fevereiro de 2020, sendo possível realizar a comparação entre os meses de fevereiro de 2019 e fevereiro de 2020 e validar o descarte do mês inicial.

Considerando que o objetivo principal do sistema é a entrega de água gelada à temperatura de 6 °C (nominal), na vazão adequada ao combate da carga térmica demandada em cada momento, o parâmetro utilizado para as comparações iniciais entre os grupos de amostras foi a temperatura da água na saída do *chiller*.

As avaliações e comparações iniciais, entre os grupos de amostras, equipamentos e meses, através da análise da temperatura da água gelada no avanço é relevante e será priorizada. O parâmetro ganha relevância por ser, juntamente com a vazão, um dos itens de controle da entrega de cada equipamento e, conseqüentemente da CAG, para o adequado combate à carga térmica.

Vale ressaltar que, assim como a temperatura no avanço da água gelada, fazem parte do conjunto de dados as temperaturas no retorno da água gelada, temperatura de evaporação, temperatura no avanço e no retorno da água de condensação, temperatura de condensação, diferencial de pressão entre a entrada e saída do equipamento e potência relativa, além de outros dados de interesse relativos às bombas e torres em operação.

A análise apresentada no gráfico *boxplot*, para as temperaturas medidas no avanço da água gelada, evidenciou a diferença entre as amostras do mês de fevereiro de 2019 e o total das amostras. O descarte do mês de fevereiro de 2019 se deu em função deste apresentar diferenças consideráveis na amplitude das amostras e no valor da mediana (temperatura no avanço da água gelada), em relação ao mesmo mês do ano de 2020, se diferenciando, também, do conjunto amostral de referência, o que levou ao descarte dos valores amostrados neste primeiro mês. Para o mês de fevereiro de 2020, não foram identificadas diferenças significativas em relação ao total das amostras (figura 5.9).

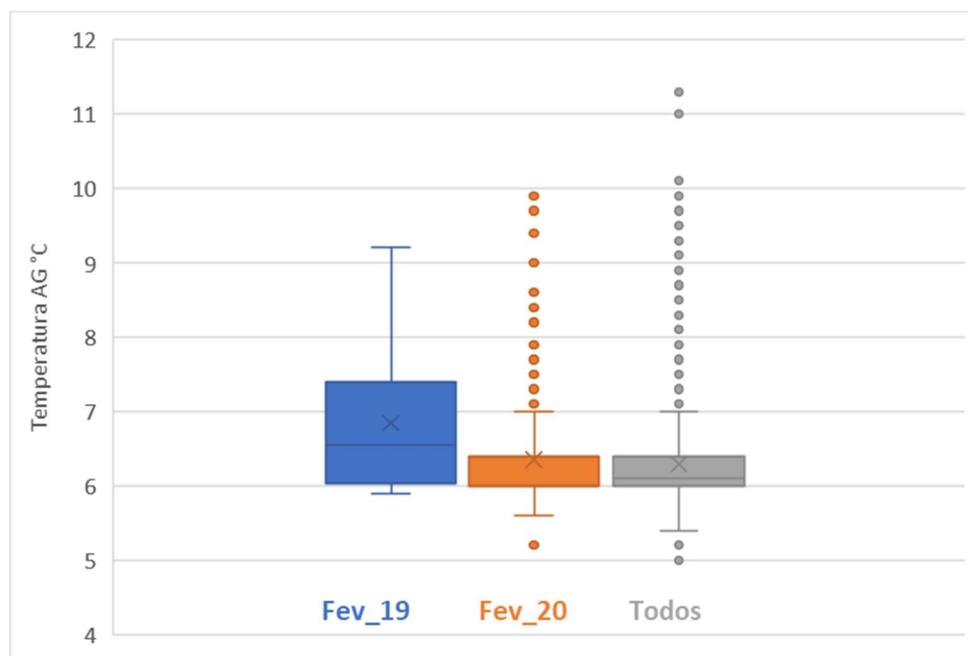


Figura 5.9: Comparativo fevereiro/19 x fevereiro/20. Fonte: Autor (dados de campo).

É importante destacar que foi para manter a dimensão da amostragem em 12 meses que o levantamento de dados avançou até fevereiro de 2020, realizando mais 519 leituras. A extensão da amostragem garantiu a possibilidade de uma análise de sazonalidade confiável.

5.3.3 Recorte na base de dados (horário de operação)

Após a validação da base de dados, já considerando o período entre março de 2019 e fevereiro de 2020, com o objetivo de garantir que os resultados retratem a real condição de operação e de desempenho dos sistemas e equipamentos, analisou-se o modo de operação dos terminais de passageiro do aeroporto. Dessa análise verificou-se a possibilidade de 2 grupos de dados: i) aqueles levantados durante a operação do sistema para a manutenção do conforto térmicos dos passageiros e visitantes presentes durante o horário de realização dos pousos e decolagens; ii) e os dados, levantados fora do horário de realização de pousos e decolagens, sem movimentação de passageiros, objetivando a manutenção da condição térmica mínima dos ambientes para uma retomada facilitada no horário operacional seguinte (06:00 h), principalmente durante os meses mais quentes do ano.

Por esse motivo, considerando o horário parcial de funcionamento do aeroporto, identificou-se a necessidade de avaliar as diferenças entre os dois grupos de amostras. Os resultados apresentados no gráfico *boxplot* para os valores de temperatura da água gelada demonstram uma diferença sensível entre as amplitudes referentes aos 2 grupos.

A operação com o aeroporto aberto apresenta uma pequena diferença no valor da mediana, a qual é identificada em 6,1 °C, contra o valor de 6,0 °C para a operação com o terminal fechado (figura 5.10). Essa diferença pode ser motivada, eventualmente, pela redução da carga térmica demandada no horário dos terminais fechados, o que facilita a entrega da água gelada na temperatura nominal. Por outro lado, a diferença entre as amplitudes das amostras pode ser justificada pela ausência de passageiros em trânsito e, portanto, o relaxamento no atingimento e manutenção das condições de conforto térmico nos ambientes, o que proporcionaria o aumento da amplitude no horário do terminal fechado.

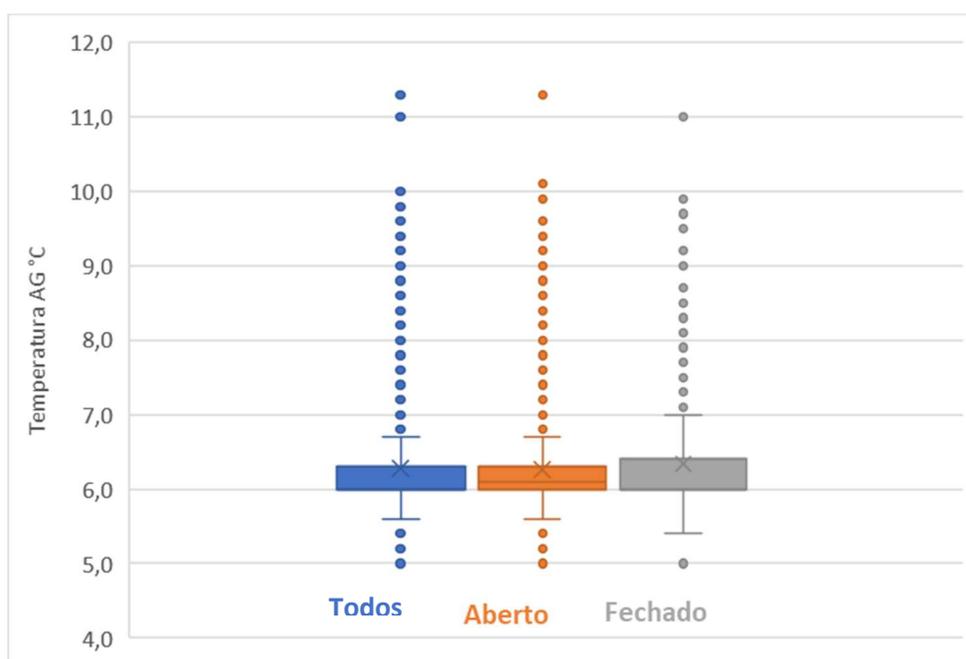


Figura 5.10: Comparação entre os horários de operação. Fonte: Autor (dados de campo).

Enquanto os dados apontam para as entregas no horário de terminal aberto ao público entre 5,6 °C e 6,7 °C, os valores apresentados para o horário de terminal fechado foram entregues entre 5,4° C e 7,0 °C, apresentado, dessa forma, uma amplitude aumentada.

Do total de leituras validadas, 4.392 foram realizadas dentro do período de operação do terminal, que teve como objetivo o controle e a manutenção do conforto térmico da população do terminal, entre passageiros, lojistas, operadores e visitantes. Outras 998 leituras foram realizadas fora do horário de operação, com o objetivo de diminuir a inércia térmica da partida na manhã seguinte.

Embora tenha sido identificada, em análise preliminar dos dados, diferença significativa entre o *chiller* n° 4 (Trane) e os demais equipamentos (Carrier), conforme apresentado na tabela 5.2 e figura 5.11, os dados referentes ao equipamento foram mantidos na

base de dados analisada, pois sua remoção da base impactaria diretamente no cálculo e avaliação das cargas térmicas totais para os horários em que o equipamento operou.

Tabela 5.2 – Temperatura da água gelada na saída dos *chillers*

	TEMPERATURA DA ÁGUA GELADA (°C)				
	CHILLER 1	CHILLER 2	CHILLER 3	CHILLER 4	GERAL
Média	6,2	6,2	6,2	6,9	6,2
Mediana	6,0	6,0	6,0	6,8	6,0
Máximo	11,3	10,0	10,1	9,6	11,3
Mínimo	5,0	5,2	5,1	5,9	5,0
Desvio Padrão	0,52	0,49	0,47	0,77	0,49
Leituras	1310	1512	1294	276	4116

Fonte: Valores médio, máximos e mínimos - temperatura de AG. Fonte: Autor (dados de campo)

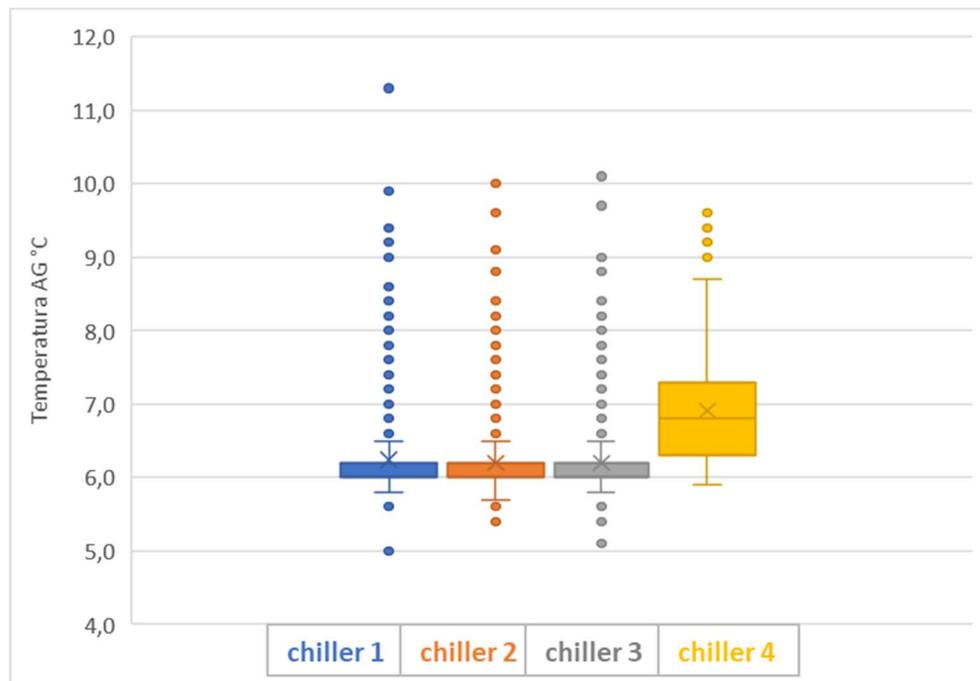


Figura 5.11: Comparação entre os *chillers* – Temperatura AG. Fonte: Autor (dados de campo).

Portanto, para as análises que seguem, foram considerados as 4.392 leituras realizadas no horário de operação do terminal de passageiros, contendo as leituras dos 4 *chillers*.

5.4 ANÁLISE DA CAPACIDADE E DO DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DO SISTEMA

5.4.1 Introdução

Antes da análise da capacidade e do desempenho operacional e energético ser iniciada, julga-se relevante revisitar a estrutura da CAG e o modo de operação do sistema para o atendimento do conforto térmico nos terminais de passageiros. Neste sentido, é importante lembrar que a central foi implementada pela instalação de 3 *chillers* Carrier com capacidade nominal de 600 TR, totalizando para a central 1.800 TR de capacidade. Posteriormente, foi instalado o quarto equipamento fabricado pela Trane, transferido de um outro aeroporto Infraero, com capacidade de 450 TR, que passou a operar eventualmente, considerado como equipamento reserva.

Para o atendimento da capacidade nominal individual, cada equipamento principal deve entregar uma vazão de 300 m³/h de água à 6 °C, considerando uma temperatura máxima de 12 °C no retorno. Nestas condições, cada equipamento disponibilizará 100% de sua capacidade, ou seja, 600 TR, para os sistemas de condicionadores de ar nas edificações. Neste contexto, a depender da carga térmica demandada ao longo do dia e considerando o perfil de carga, onde a carga térmica absorvida aumenta a partir do início da operação do terminal de passageiros, pela manhã, apresentando o seu maior valor no *horário de pico*⁵, e voltando a decrescer após as 16h, é possível prever, em algum momento, a operação iniciando com um único equipamento, com capacidade nominal de 600 TR, podendo avançar para a operação de 2 ou 3 equipamentos simultaneamente. Na condição de cargas extremas, com 3 equipamentos em operação, a CAG poderá atingir nominalmente a taxa de absorção de carga térmica máxima. Vale ressaltar que, por ter sido incorporado à CAG por transferência, o *chiller* n°4 não apresenta em projeto os seus parâmetros operacionais. As referências para as faixas de valores dos parâmetros podem ser encontradas no manual, sem a definição do *setpoint* específico para a aplicação no projeto.

Dessa forma, a análise do desempenho operacional e energético proposta direcionará sua atenção, primeiramente para a temperatura da água gelada disponibilizada pelo sistema, como forma de verificar sua capacidade de entrega dentro dos parâmetros estabelecidos e a estabilidade do processo. Os resultados referentes ao atendimento da demanda de carga térmica,

⁵ Horário do dia que apresenta tipicamente as maiores cargas térmicas demandadas.

à estratégia operacional e ao consumo de energia permitirão o confronto com as informações de referência, apresentadas pelo fabricante, quanto a condição de melhor desempenho.

Considerando as variações das condições de operação e da demanda térmica, segundo a Carrier (2013), a depender da capacidade demandada, o equipamento pode apresentar o seu desempenho, representado pelo COP – Coeficiente de Performance, variando entre 3,13 e 6,99, conforme apresentado na figura 5.12, com base nas informações Carrier do anexo 9.3.

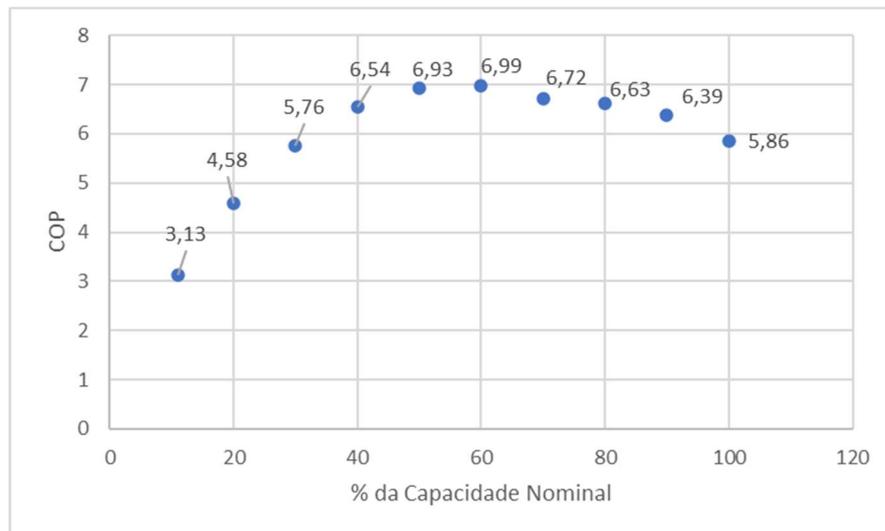


Figura 5.12: Relação COP x Potência. Fonte: Adaptado de Carrier (2001).

5.4.2 Análise da capacidade do processo

O acompanhamento através do controle estatístico do processo (CEP), que é uma técnica estatística aplicada à produção, permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido (RIBEIRO e CATAN, 2012).

A estimativa dos limites de especificação para a temperatura da água gelada na saída do *chiller*, permitiu a comparação entre o verificado em campo e o especificado, de forma a estabelecer o índice de capacidade do processo. Neste contexto, foram aplicados os conceitos de capacidade de processo e estratificação dos dados, que utilizados de forma combinada permitiram avaliar a capacidade do processo por equipamento em curtos períodos, ou capacidade de máquina, e em conjunto como avaliação da performance de longo prazo. As diferentes possibilidades para os resultados, tanto por equipamento quanto em conjunto, podem indicar, por exemplo, a capacidade plena para cada equipamento individualmente e a performance inadequada para a operação do conjunto de equipamentos em relação aos limites

de tolerância estabelecidos, o que poderá indicar a presença de causas assinaláveis sujeitas a investigação.

5.4.2.1 Análise da capacidade dos equipamentos (capacidade de máquina)

Acompanhando o estabelecido por Kume (1993), para a análise da capacidade de máquina, variação dentro do subgrupo em curtos períodos, foram definidos aleatoriamente 10 subgrupos para cada equipamento, considerando cada dia sorteado dentro do período como um subgrupo.

É fato que, a depender da demanda térmica requerida, o sistema pode operar com um único equipamento para o combate a demanda térmica, 2 equipamentos simultaneamente ou, ainda, disponibilizar 3 equipamentos para a operação simultânea. Por este motivo, para estabelecer 10 subgrupos para cada equipamento foram necessárias 26 datas escolhidas aleatoriamente.

A tabela 5.3 apresenta as datas definidas, com o auxílio da planilha eletrônica Excel®, de forma aleatória, sendo o primeiro, segundo e terceiro sorteios, realizados para definir 10 datas por equipamento, representados abaixo.

Tabela 5.3: Resumo dos sorteios de formação dos subgrupos.

RESFRIADOR N°	DATA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28/04/2019	12/03/2019	06/02/2020	31/07/2019	18/11/2019	15/05/2019	18/06/2019	07/08/2019	22/08/2019	23/01/2020
2	28/04/2019	12/03/2019	19/12/2019	06/02/2020	15/12/2019	11/10/2019	22/04/2019	07/08/2019	15/05/2019	23/01/2020
3	13/07/2019	06/02/2020	19/12/2019	31/07/2019	18/11/2019	11/10/2019	22/04/2019	15/12/2019	16/10/2019	23/01/2020
4	13/07/2019	12/03/2019	28/04/2019	03/05/2019	27/12/2019	13/03/2019	31/08/2019	29/10/2019	06/11/2019	26/03/2019
PRIMEIRO SORTEIO (10 DATAS)										
Data	13/07/2019	12/03/2019	19/12/2019	31/07/2019	18/11/2019	11/10/2019	22/04/2019	07/08/2019	22/08/2019	23/01/2020
Equipos operando	3 e 4	1, 2 e 4	2 e 3	1 e 3	1 e 3	2 e 3	2 e 3	1 e 2	1	1, 2 e 3
PRIMEIRO SORTEIO (10 DATAS)										
Data	28/04/2019	06/02/2020	15/12/2019	15/05/2019	16/10/2019	18/06/2019	17/01/2020	08/01/2020	03/05/2019	12/08/2019
Equipos operando	1, 2 e 4	1, 2 e 3	2 e 3	1 e 2	2 e 3	1 e 3	1, 2 e 3	1, 2 e 3	1, 2 e 4	1 e 3
TERCEIRO SORTEIO (6 DATAS)										
Data	27/12/2019	13/03/2019	31/08/2019	29/10/2019	06/11/2019	26/03/2019				
Equipos operando	1, 2 E 4	1, 2, 3 E 4	1 E 4	1, 2, 3 E 4	2, 3 E 4	2, 3 E 4				

Fonte: Autor (dados de campo).

Após a análise direta dos valores⁶ de cada equipamento, nas datas aleatoriamente estabelecidas, pode-se afirmar:

⁶ Valores apresentados nas tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8.

a) Que o *chiller* número 1 apresentou amplitude interna nos subgrupos que variaram de 0,1 a 1,4°C, tendo 90% dos subgrupos apresentado amplitude dentro dos limites de controle informados pelo fabricante. Todavia, vale ressaltar que, no subgrupo do dia 28/04/19, apenas 1 valor verificado fora dos limites de controle foi capaz de elevar a amplitude de 0,2 para 1,4°C.

Segundo a própria definição de variação assinalável, que são sujeitas a investigação, após análise do valor pontualmente fora da curva, foi verificado que sua leitura foi realizada no horário de abertura do terminal, início da operação. A hipótese de causa assinalável foi confirmada pelo fato de que o segundo equipamento em operação, no mesmo momento, também apresentou leitura fora da curva, indicando que o sistema, após *start*, não havia atingido a sua estabilidade no momento do registro.

b) Que o *chiller* número 2 apresentou amplitude interna dos subgrupos entre 0,1 e 2,1 °C, tendo 50% dos subgrupos apresentado amplitude dentro dos limites informados pelo fabricante, tendo os outros 50% excedido esses limites.

Da mesma forma que para o *chiller* número 1, considerando a hipótese de causas assinaláveis, foram procedidas as análises dos subgrupos que apresentaram desvios acima dos limites de controles, para as quais foram identificados indícios de causas assinaláveis em sua maioria.

c) Que o *chiller* número 3 apresentou amplitude dentro dos subgrupos entre 0,1 e 1,7°C, tendo 90% dos subgrupos apresentado amplitude dentro dos limites de controle. A amostra do dia 22/04/20190, apresentou amplitude de 1,7 °C, excedendo os limites de controle informados pelo fabricante do equipamento (0,6 °C).

Da mesma forma que para os *chillers* n° 1 e n° 2, considerando a hipótese de causas assinaláveis, foram procedidas as análises dos subgrupos que apresentaram desvios acima dos limites de controles, para as quais foram identificados indícios de causas assinaláveis em sua totalidade.

d) O *chiller* número 4 apresentou amplitude interna dos subgrupos entre 0,3 e 1,6°C, tendo 50% dos subgrupos apresentado amplitude dentro dos limites informados. Vale destacar que o valor médio da temperatura da água gelada chama a atenção por se posicionar em 7,0°C, se apresentando em patamar de 1,0°C acima do valor nominal.

Diferentemente dos *chillers* nº 1, 2 e 3, considerando a hipótese de causas assinaláveis, não foram procedidas as análises dos subgrupos, pois para este equipamento, 81% dos valores individuais registrados se mostraram fora dos limites de controle, o que por si só define um processo fora de controle. Associa-se a esta condição 50% das amplitudes acima do valor de controle informado pelo fabricante, o que pode até ser, eventualmente, associado a causas assinaláveis. Por fim, o entendimento é que existe causa(s) assinalável(eis), importante(s), associada(s) as condições técnicas de operação do equipamento, passíveis de investigação.

Na sequência, de forma a legitimar a classificação dos dados fora da curva (*outlier*) e conclusões parciais apresentadas acima, em uma análise mais próxima, combinando os subgrupos (datas) com operação simultânea dos equipamentos e seus comportamentos, são apresentadas na tabela 5.4 justificativas para a remoção da base de análise de 69,8% dos valores que excederam o limite especificado, pois para esses dados existem fortes indícios de causas assinaláveis .

Tabela 5.4: Relação de causas assinaláveis

DATA	CHILLER	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÃO (Causa assinalável ⁷)
22/04/2019	2	Sequência de 4 leituras de alta nas temperaturas, com retomada ao final.	O comportamento semelhante para ambos os equipamentos sugere fator externo, como variação de energia, desligamento súbito, ou pico inesperado de carga.
	3	Sequência de 4 leituras de alta nas temperaturas, com retomada ao final.	
28/04/2019	1	Ponto fora (7,3°C) registrado no primeiro horário de operação (6 h).	É razoável supor que nesta primeira leitura, após <i>start</i> , os equipamentos tivessem atingido a estabilidade do processo.
	2	Ponto fora (7,9°C) registrado no primeiro horário de operação (6 h).	
07/08/2019	1	Temperatura registrada com 1 décimo acima do limite informado.	Não foi encontrada movimentação para o desvio
11/10/2019	2	Sequência de 3 leituras de alta nas temperaturas, com retomada ao final.	O comportamento semelhante para ambos os equipamentos sugere fator externo, como variação de energia, desligamento súbito, ou pico inesperado de carga.
	3	Sequência de 3 leituras de alta nas temperaturas, com retomada ao final.	
15/12/2019	2	Sequência de 2 leituras de alta nas temperaturas, com retomada ao final.	O comportamento semelhante para ambos os equipamentos sugere fator externo, como variação de energia, desligamento súbito, ou pico inesperado de carga.
	3	Sequência de 2 leituras de alta nas temperaturas, com retomada ao final.	
19/12/2019	2	Aumento pontual da temperatura ocorrido as 10 h.	Apesar de pontual, apenas com um registro, o fato ocorreu simultaneamente em ambos os equipamentos.
	3	Aumento pontual da temperatura ocorrido as 10 h.	

Fonte: Autor (análise dos dados de campo).

⁷ A coluna “Observação” da tabela 5.4 não apresenta as causas assinaláveis propriamente dita e sim indicativos da existência de fatores externos agindo sobre o sistema, os quais podem se caracterizá-las para um posterior tratamento.

Para Ribeiro e Caten (2012), somente após a eliminação de todas as causas especiais o processo estará sob controle estatístico. Um processo que apresenta apenas as causas comuns atuando é dito um processo estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo. No entanto, o padrão estabelecido sob controle pode ou não atender as necessidades do projeto. A real capacidade do processo somente poderá ser avaliada dentro da sua estabilidade, comparando sua variabilidade (associada apenas às causas comuns) com as especificações.

Portanto, os valores posicionados fora dos limites especificados que apresentaram os indícios de causas assinaláveis identificadas na tabela 5.4, com exceção do *chiller* nº 4, foram mantidos nas tabelas de subgrupos, tachados, e foram desconsideradas dos cálculos estatísticos, conforme apresentado nas tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 que seguem.

Legenda: 0,0 Valores dentro dos limites de especificação.

0,0 Valores fora dos limites de especificação.

0,0 Valores fora dos limites de especificação, justificados por causas assinaláveis.

Tabela 5.5 – Análise dos subgrupos do *chiller* nº 1

		AMOSTRAS (Temperatura da Água Gelada)														
Subgrupo (data)		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	\bar{x}	R	Desvio Padrão	C _p		
Chiller 1	12/03/2019	6,0	6,0	6,1	6,0	6,0	6,0	6,0			6,0	0,1	0,04	3,53		
	28/04/2019	7,3	5,9	6,0	6,1	6,0	6,0				6,0	0,2	0,07	1,89		
	15/05/2019	6,0	6,1	6,1	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1		6,0	0,1	0,05	2,58		
	18/06/2019	6,0	6,1								6,1	0,1	0,07	1,89		
	31/07/2019	6,0	6,0	6,0	6,1	6,0					6,0	0,1	0,04	2,98		
	07/08/2019	6,1	6,1	6,0	6,0	6,2	6,5				6,2	0,5	0,19	0,71		
	22/08/2019	6,0	6,0	6,1	6,0	6,0	6,1				6,0	0,1	0,05	2,58		
	18/11/2019	6,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2			6,1	0,2	0,07	1,93		
	23/01/2020	6,0	6,2	6,0	6,0	6,2					6,1	0,2	0,11	1,22		
	06/02/2020	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9					6,0	0,1	0,04	2,98		
	Valores Globais											\bar{x}		6,0		0,09
											R		0,2	C _p		

Fonte: Autor (Dados de campo).

Tabela 5.6 – Análise dos subgrupos do *chiller* n° 2

		AMOSTRAS (Temperatura da Água Gelada)													
	Subgrupo (data)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	\bar{x}	R	Desvio Padrão	C _p	
Chiller 2	12/03/2019	5,9	6,0	6,0	6,0	5,9	6,3	6,0			6,0	0,4	0,13	0,99	
	22/04/2019	6,1	6,0	6,1	6,1	6,4	7,4	7,3	6,8	5,9	6,0	0,2	0,10	1,39	
	28/04/2019	7,9	5,9	6,0	6,1	6,1	5,8				6,0	0,3	0,13	1,02	
	15/05/2019	6,2	6,0	6,1	6,0	6,0	5,9	5,9	6,0		6,0	0,3	0,10	1,35	
	07/08/2019	6,0	6,1								6,1	0,1	0,07	1,89	
	11/10/2019	6,1	6,4	7,0	6,9	6,2					6,2	0,1	0,07	1,89	
	15/12/2019	6,1	6,1	6,1	6,4	6,3	6,3	6,1			6,2	0,3	0,13	1,00	
	19/12/2019	6,2	6,6	6,1	6,3	6,2	6,0	5,9			6,1	0,4	0,15	0,91	
	23/01/2020	6,2	6,0	6,2	6,0	6,0	6,1				6,1	0,2	0,10	1,36	
	06/02/2020	6,0	6,0	6,1	6,0	5,9					6,0	0,2	0,07	1,89	
		Valores Globais									\bar{x}				
											R		0,3	C _p	1,06

Fonte: Autor (Dados de campo).

Tabela 5.7 – Análise dos subgrupos do *chiller* n° 3

		AMOSTRAS (Temperatura da Água Gelada)													
	Subgrupo (data)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	\bar{x}	R	Desvio Padrão	C _p	
Chiller 3	22/04/2019	5,9	6,1	6,1	6,2	6,5	7,6	7,6	7,0	5,9	6,0	0,3	0,13	0,99	
	13/07/2019	6,1	6,1	6,2	6,0	6,2	5,9	5,9	6,0		6,1	0,3	0,12	1,12	
	31/07/2019	6,0	6,0	6,1							6,0	0,1	0,06	2,31	
	11/10/2019	6,1	6,1	6,5	6,3	5,9					6,1	0,4	0,16	0,82	
	16/10/2019	6,1	6,2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0			6,0	0,2	0,08	1,69	
	18/11/2019	6,1	6,0	6,1	6,0	6,1	6,2				6,1	0,2	0,08	1,77	
	15/12/2019	6,1	6,2	6,0	6,3	6,1	6,2	5,9			6,1	0,4	0,13	0,99	
	19/12/2019	6,2	6,5	6,4	6,0	6,0	6,0	5,9			6,1	0,5	0,18	0,73	
	23/01/2020	6,1	6,0	6,1	6,1	6,0	6,1				6,1	0,1	0,05	2,58	
	06/02/2020	6,0	6,0	6,0	6,0	5,8					6,0	0,2	0,09	1,49	
		Valores Globais									\bar{x}				
											R		0,3	C _p	1,16

Fonte: Autor (Dados de campo).

Tabela 5.8 – Análise dos subgrupos do *chiller* n° 4

		AMOSTRAS (Temperatura da Água Gelada)														
	Subgrupo (data)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	\bar{x}	R	Desvio Padrão	C _p		
Chiller 4	12/03/2019	6,3	6,4	6,6	6,8	6,6	6,5				6,5	0,5	0,18	0,76		
	13/03/2019	7,5	6,8	7,1	7,5	6,0	6,0				6,8	1,5	0,67	0,20		
	26/03/2019	6,8	6,8	7,2	6,8	6,8					6,9	0,4	0,18	0,75		
	28/04/2019	7,3	7,0	7,1	7,0	6,9					7,1	0,4	0,15	0,88		
	03/05/2019	6,5	8,1	7,7							7,4	1,6	0,83	0,16		
	13/07/2019	7,1	6,0								6,6	1,1	0,78	0,17		
	31/08/2019	7,0	7,3								7,2	0,3	0,21	0,63		
	29/10/2019	7,2	7,6	7,8	7,5	6,8					7,4	1,0	0,39	0,34		
	06/11/2019	6,6	6,7	6,4	6,2	6,1					6,4	0,6	0,25	0,52		
	27/12/2019	7,8	7,9	7,1	7,0						7,5	0,9	0,47	0,29		
			Valores Globais									\bar{x}				
												R		0,8	C _p	0,25

Fonte: Autor (Dados de campo).

Após o recálculo, em função dos resultados apresentados para cada equipamento, é possível afirmar que o *chiller* n° 1 é capaz de atender as especificações estabelecidas ($C_p \geq 1,33$), sendo os *chillers* n° 2 e n° 3, razoavelmente capazes, individualmente, de atender aos limites de especificação definidos para este estudo, apresentando índices de capacidade C_p de 1,06 e 1,16, respectivamente. Para o *chiller* n° 4, nas condições operacionais avaliadas, pode-se afirmar que o equipamento realiza um processo fora de controle, com temperatura média deslocada em 1°C acima da temperatura nominal, não cabendo, portanto, a avaliação quanto a sua capacidade.

5.4.2.2 Análise de performance do conjunto de *chillers* (CAG)

Para a análise da performance da temperatura de entrega da água, como forma de comparação entre a variação do processo por um período mais longo e os limites especificados, foi considerada inicialmente toda a base de dados e, também, a estratificação por equipamento. Os resultados resumidos estatisticamente apontam para valores equilibrados entre os *chiller* n° 1, 2 e 3. Porém, ainda que equilibrados, esses valores resultam em amplitudes e desvios acima do esperado para os limites de controle estabelecidos.

O resumo apresentado previamente na tabela 5.2 indica, através dos resultados encontrados para os valores de média e medianas, uma distribuição do tipo menor-é-melhor, conforme definido em Ribeiro e Caten (2012), com uma distribuição assimétrica à direita, apresentada na figura 5.13. Percebe-se que, conforme já constatado em análises anteriores (item 5.3.4 e 5.4.2.1), o *chiller* n°4 vem executando o seu processo fora de controle. Esse fator certamente contribuiu para a alta variabilidade, apresentando resultados de temperatura de entrega da água gelada com desvio em relação aos demais equipamentos e ao valor nominal, justificando uma investigação detalhada quanto as condições operacionais desse equipamento.

Considerando a estimativa de 732 subgrupos na composição da base de dados, foi utilizada a análise gráfica através da plotagem do *boxplot* para identificar os pontos fora da curva e possíveis causas assinaláveis, porém, sem perder de vista a possibilidade de fazerem parte da distribuição normal, como destacado em Dawson (2011, p. 5).

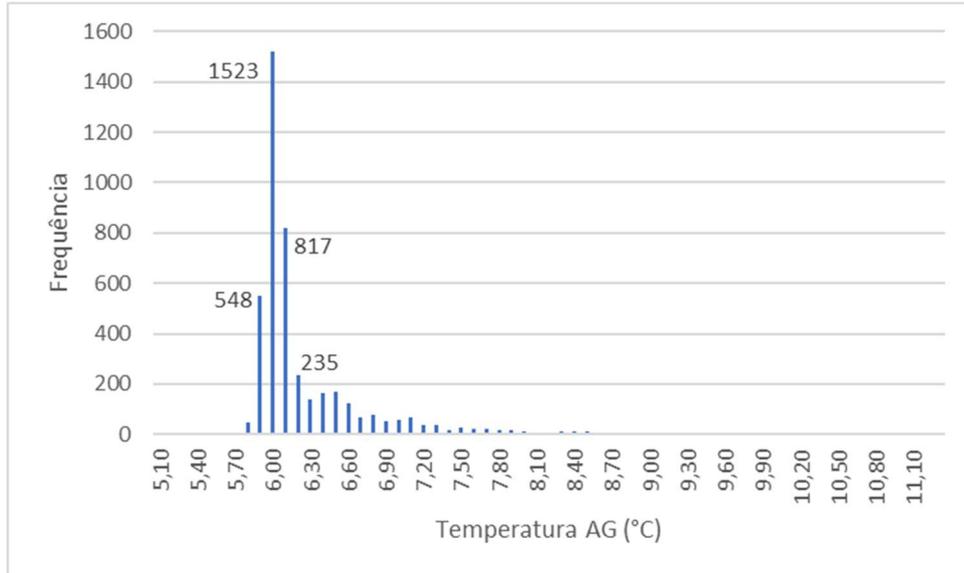


Figura 5.13: histograma de distribuição da temperatura da AG. Fonte: Autor (Dados de campo).

Os limites de controle obtidos a partir de um processo sob controle estatístico, sobre o qual apenas causas comuns de variabilidade incidem, são utilizados no monitoramento futuro dos processos (RIBEIRO e CATEN, 2012).

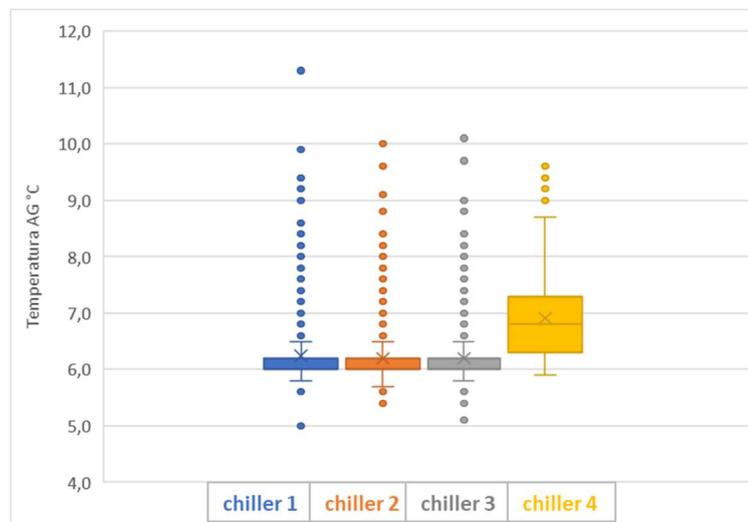


Figura 5.14: Comparação entre os chillers – Temperatura AG. Fonte: Autor (Dados de campo).

Estabelecida a estrutura do gráfico de caixas (figura 5.14), foi possível identificar a posição de cada quartil, o intervalo interquartil (*IQR*), os bigodes e, por fim, os pontos fora da curva. Se considerados apenas os valores contidos entre as cercas internas, de forma a descartar os valores atípicos, tem-se que os resfriados Carrier n° 1 e n° 3 apresentaram dispersão dos valores de temperatura de AG entre 5,8 e 6,5°C e o chiller Carrier n° 2, valores entre 5,7 e 6,5°C. As medianas calculadas para os 3 equipamentos se posicionam de forma centrada com a temperatura nominal, em 6,0°C. Para o chiller reserva, os valores encontrados apresentaram

os maiores desvios em relação ao esperado, com dispersão entre 5,9 e 8,9°C e mediana para a temperatura de 6,8 °C.

Para a determinação do índice de performance (Pp) do processo, considerou-se os valores contidos entre as cercas internas do gráfico de caixa e, portanto, supostamente sob controle, sendo possível calcular os índices de capacidade (Pp), para os quais foram apresentados resultados de 1,14 para os *chillers* n° 1 e n° 3; e de 1,00 para o *chiller* n° 2. Os resultados encontrados permitem classificar os equipamentos como razoavelmente capazes de atender aos limites especificados. No entanto, o *chiller* n° 4 foi classificado como incapaz de atender aos limites especificados, com índice de capacidade de 0,27 e, ainda, com a mediana desviada em 0,8 décimos acima do valor nominal da temperatura nominal (°C).

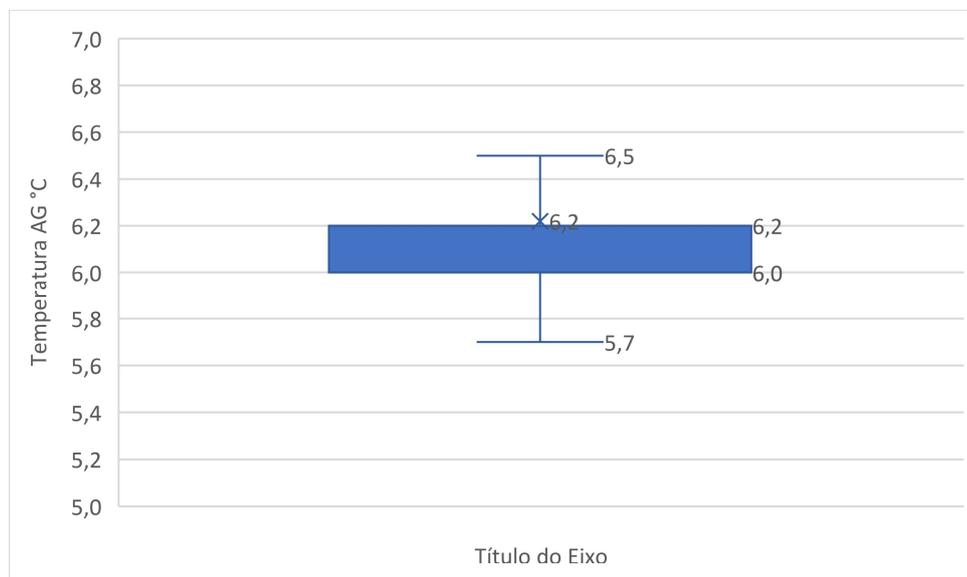


Figura 5.15: Dispersão de temperatura AG – Boxplot. Fonte: Autor (Dados de campo).

Por fim, conforme apresentado na figura 5.15, a análise da performance da CAG, ou dos equipamentos em conjunto, apresentou, para o mesmo critério, dispersão entre 5,7 e 6,5°C, e, portanto, índice de capacidade de 1,00. Porém, vale ressaltar que existe um deslocamento da média e da mediana em relação ao valor nominal da temperatura que será tratado, neste momento, como oportunidade de melhoria.

5.4.3 Análise da performance operacional

5.4.3.1 Perfis e tendências sazonais das temperaturas

Conforme apresentado na tabela 5.9, o resumo dos dados indica que, durante o período dos 12 meses considerados para este estudo, a CAG, em seus valores médios, operou recebendo

água no retorno da água gelada (AGR), à 10,3 °C e, em seu processo de produção térmica, reduziu essa temperatura para 6,3 °C, para o reenvio ao sistema de condicionamento de ar das edificações. Para a realização deste trabalho o sistema de *chillers* trabalhou, em média, com 86,7% da sua capacidade nominal.

Porém, para um melhor entendimento e exploração do comportamento sazonal do sistema, os dados foram estratificados pelos meses do ano, apresentando as menores médias da temperatura no avanço da água gelada nos meses de julho e agosto, com valor de 6,1 °C, e a menor potência média consumida no mês de agosto. As temperaturas médias para esses meses ficaram estabelecidas em 1 décimo acima da temperatura nominal informada pelo fabricante do equipamento (6 °C).

Tabela 5.9 – Evolução mensal da temperatura média da água gelada

Valores	2019										2020		GERAL
	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	
Média de AG (°C)	6,5	6,3	6,3	6,2	6,1	6,1	6,3	6,2	6,2	6,1	6,4	6,4	6,3
Média de AGR (°C)	10,2	9,9	9,7	10,1	10,0	9,5	10,1	10,4	10,2	10,6	11,1	10,8	10,3
Média de AMP (%)	82,0%	87,6%	87,4%	84,2%	81,7%	77,5%	85,3%	90,9%	86,3%	89,9%	91,2%	88,6%	86,7%

Fonte: Resumo dos valores operacionais médios, por mês (*chillers* 1, 2, 3 e 4). Fonte: Autor (dados de campo).

Já o valor médio da temperatura no avanço da água gelada, para o mês de janeiro, juntamente com fevereiro, apresentou média de 4 décimos acima da temperatura nominal estabelecida (6°C) e a maior potência relativa média consumida (91,2%). Vale pontuar que o mês de março de 2019, com potência consumida média abaixo dos valores médios de janeiro e fevereiro de 2020, apresentou média para a temperatura da água gelada no avanço de 6,5 °C.

Os resultados apresentados na tabela 5.9 foram plotados graficamente para uma avaliação visual de suas tendências ao longo do ano, representadas na figura 5.16.

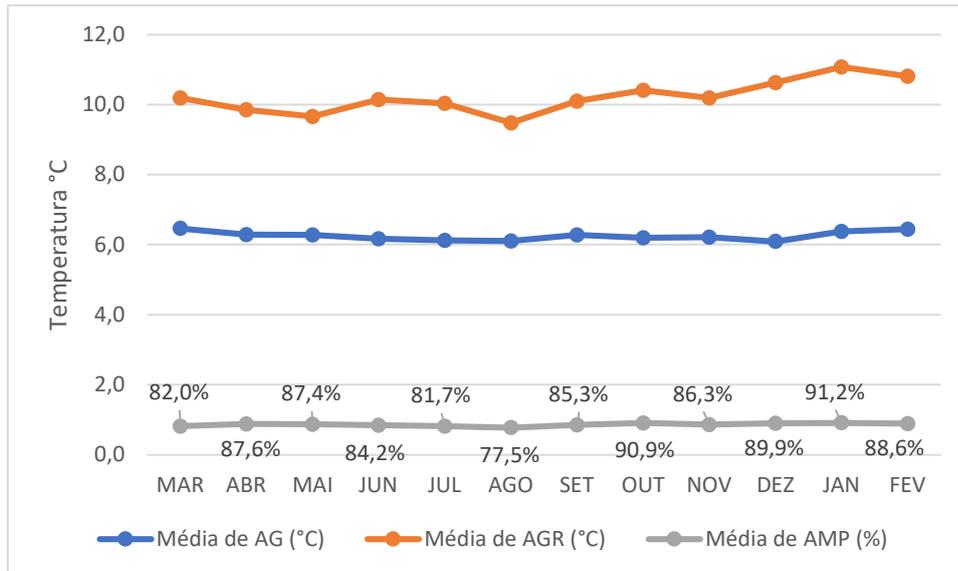


Figura 5.16: Evolução da temperatura AG, AGR e Amperagem percentual. Fonte: Autor (dados de campo).

Ainda foi possível avaliar o impacto da operação do *chiller* 4, o qual apresentou diferença significativa em relação aos demais equipamentos, nos valores previamente apresentados na tabela 5.9, quando comparada à tabela 5.10 que segue, sem os valores do *chiller* n° 4. Este impacto foi percebido principalmente no mês de março de 2019, no qual concentrou 29% (80 ocorrências) da operação do *chiller* n° 4, contra os 71% (196 ocorrências) complementares distribuídas pelos 10 meses restantes, já que no mês de fevereiro de 2020 não foi verificada ocorrência de operação deste equipamento.

Tabela 5.10 – Evolução da temperatura da água gelada, sem o *chiller* n°4

Valores	2019										2020		GERAL
	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	
Média de AG (°C)	6,3	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2	6,1	6,1	6,1	6,4	6,4	6,2
Média de AGR (°C)	9,6	9,7	9,6	10,1	10,0	9,5	10,1	10,3	10,1	10,6	11,1	10,8	10,2
Média de AMP (%)	79,0	86,8	87,1	83,9	81,5	77,2	85,0	90,0	85,7	89,8	91,1	88,6	86,2

Fonte: Resumo dos valores operacionais médios, por mês (*chillers* 1, 2 e 3). Fonte: Autor (dados de campo).

A tendência apresentada não é exatamente uma surpresa, mas sim uma constatação, ou confirmação, pois os dados históricos disponibilizados pelo INMET e apresentados na figura 5.17, considerando as médias das temperaturas ambiente ao longo de 30 anos, apontam para os meses de janeiro e fevereiro como os de temperatura média, máxima, mais elevada (30° C) e o mês de julho como o de temperatura média, mínima, mais baixa. Constatação que pode ser diretamente relacionada as variações de carga térmica.

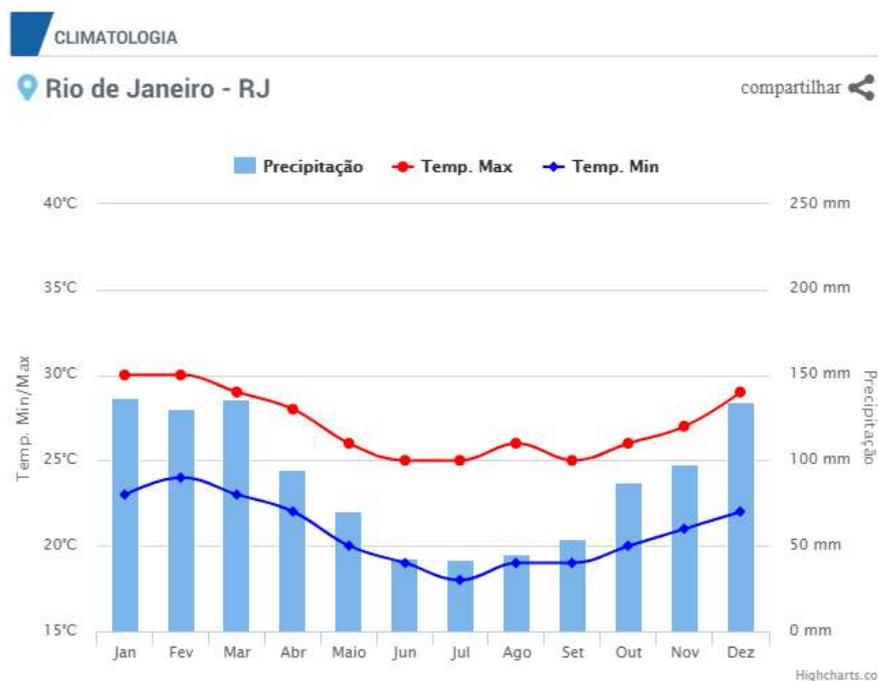


Figura 5.17: Dados climatológicos. Fonte: INMET.

5.4.3.2 Perfil de demanda da carga térmica absorvida

Conhecido o diferencial de temperatura impostos nos *chillers*, calculado a partir das diversas leituras realizadas para as temperaturas no avanço e no retorno da água gelada, ou seja, na entrada e na saída dos *chillers*, associadas às vazões de água fluindo através do evaporador, foram calculadas as cargas térmicas que estavam sendo absorvidas por cada equipamentos no momento da leitura.

Os valores individuais calculados, segundo a equação (4.1), para a carga térmica absorvida por cada equipamento no momento das diversas leituras realizadas ao longo do período de amostragem, permitiram avaliar a distribuição de carga absorvida por cada equipamento e o seu comportamento ao longo do período avaliado, como uma informação adicional.

A análise da figura 5.18 identifica a existência de diferenças sensíveis para as cargas térmicas absorvidas por cada um dos equipamentos. Também é possível confirmar, assim como na análise da temperatura no avanço da água gelada, por equipamento, resultados diferenciados para o *chiller* nº 4 em relação aos demais, destacando-se com mediana e amplitude mais elevadas.

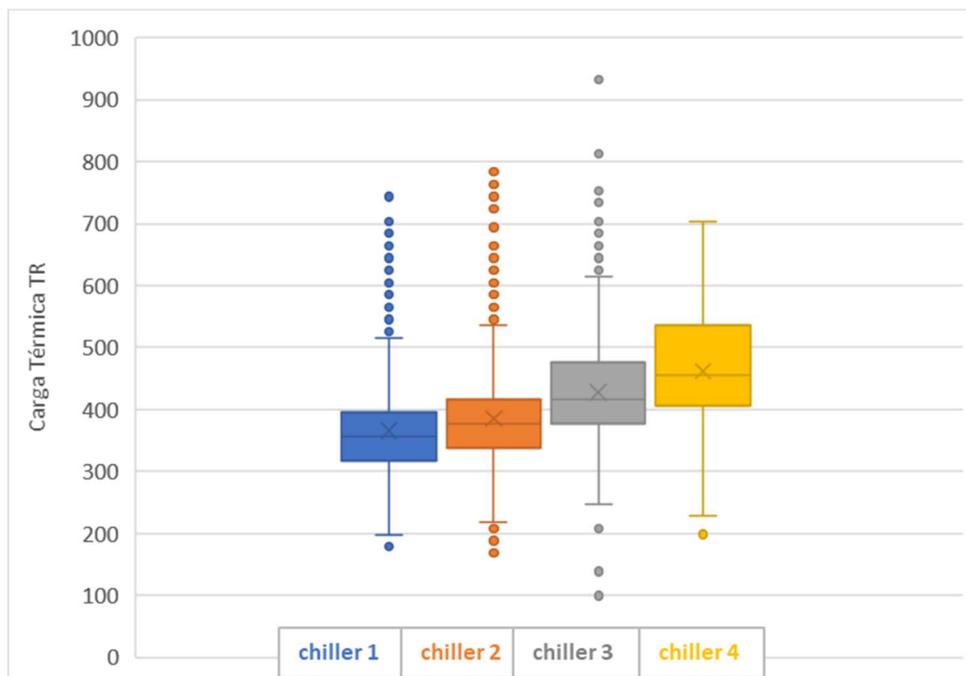


Figura 5.18: Distribuição da carga térmica desenvolvida por *chiller*. Fonte: Autor (dados de campo).

Ainda assim, para a avaliação do desempenho operacional e energético do sistema de água gelada como um todo, se fez necessário levar em consideração a concomitância da operação dos equipamentos nos diversos horários para o atendimento à demanda de carga térmica total.

Portanto, as cargas térmicas absorvidas individualmente pelos *chillers* foram somadas segundo o horário da leitura, ou seja, agrupados pelo valor total das cargas térmicas absorvidas pelos equipamentos em operação no horário da leitura. Dessa forma, foi possível consolidar a carga, por horário, e projetar o perfil da evolução da demanda térmica ao longo do dia.

O gráfico apresentado na figura 5.19 revela o perfil de valores máximos e valores mínimos identificados, para cada horário do dia, da carga térmica absorvida pela CAG ao longo dos 12 meses avaliados, o que nos permitiu estabelecer uma faixa de valores de carga térmica esperadas para cada horário da operação do terminal ao longo do ano.

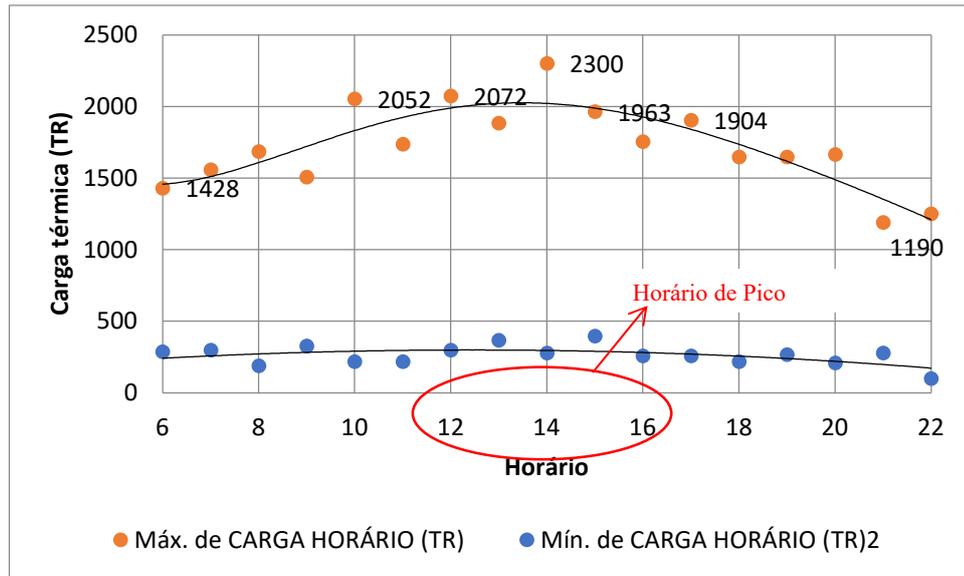


Figura 5.19: Perfil Cargas térmicas mínimas e máximas por horário. Fonte: Autor (dados de campo).

Tipicamente, os valores mais baixos de carga térmica são esperados para o inverno, dias frios, e muitas vezes não sofrem alterações relevantes ao longo do dia, o que pode estar indicado no perfil de cargas mínimas do gráfico PP, com amplitude de 298 TR do dia. Ao passo que, para as cargas máximas, são esperadas grandes variações. Da mesma forma, essa variação pode estar configurada na amplitude significativa de 1.110 TR.

Os resultados apresentados para os valores de carga térmica médios, máximos e mínimos, além das tendências, podem revelar que a amplitude dessas cargas entre os meses não passa de 476 TR, para os menores valores, ao passo que, para os valores máximos, a diferença entre os meses do ano chega a 1.527 TR.

Como referência para os diversos meses do ano e informação para o planejamento operacional, os valores médios, máximos e mínimos de carga térmica identificados foram resumidas para cada mês do período na tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Evolução da carga térmica.

	2019										2020		GERAL
	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	
Média de CARGA HORÁRIO (TR)	845	749	656	564	499	400	549	884	841	1053	1257	1164	774
Máx. de CARGA HORÁRIO (TR)	1457	1239	1299	1130	1210	773	1041	1904	1745	1884	2300	1755	2300
Mín. de CARGA HORÁRIO (TR)2	328	297	288	99	258	178	268	208	377	516	575	496	99

Fonte: Autor (dados de campo).

Conforme a memória de cálculo contida no projeto para o dimensionamento do sistema, a carga térmica máxima de verão foi identificada no mês de janeiro de 20065, às

15:00h. Acompanhando essa tendência, a carga máxima estabelecido neste estudo foi identificada no dia 08/01/2020, na leitura realizada às 14:00 h.

5.4.3.3 Análise da estratégia Operacional

Pela análise dos dados levantados durante o período estudado, a menor carga térmica no horário de pico foi identificada no dia 04/08/2019, às 16 h, com o valor de 258 TR. Já o valor máximo para a carga térmica de pico foi identificado no dia 08/01/2020, às 14 h, com carga absorvida de 2.300 TR. Para a condição em que a carga de pico demandada no dia é menor que a capacidade de 1 *chiller*, foram encontradas 79 ocorrências entre os meses de março e novembro de 2019, representando 20,8% das ocorrências. Os dias que apresentam suas cargas de pico acima de 1800 TR, representam 1% das ocorrências (28/10/19; 29/12/19; 08/01/20; e 10/01/20). Dessa forma, 78% das ocorrências se caracterizam por demandarem cargas entre 600 e 1.800 TR.

Com o objetivo de e identificar a estratégia operacional utilizada, os dados foram organizados de forma a estabelecer a relação entre a evolução da carga térmica total absorvida e o número de equipamentos em operação simultaneamente. O modo de operação identificado através dos dados levantados em campo aponta para regiões de carga sem uma estratégia bem definida em relação ao número de equipamentos em operação. Essas regiões são identificadas na figura 5.20 pelas letras B e D, tendo respectivamente suas cargas entre 446 e 734 TR, combatidas ora por 1 equipamento e ora por 2 equipamentos, e entre 783 e 1.586 TR, ora atendida por 2 equipamentos e ora por 3 equipamentos.

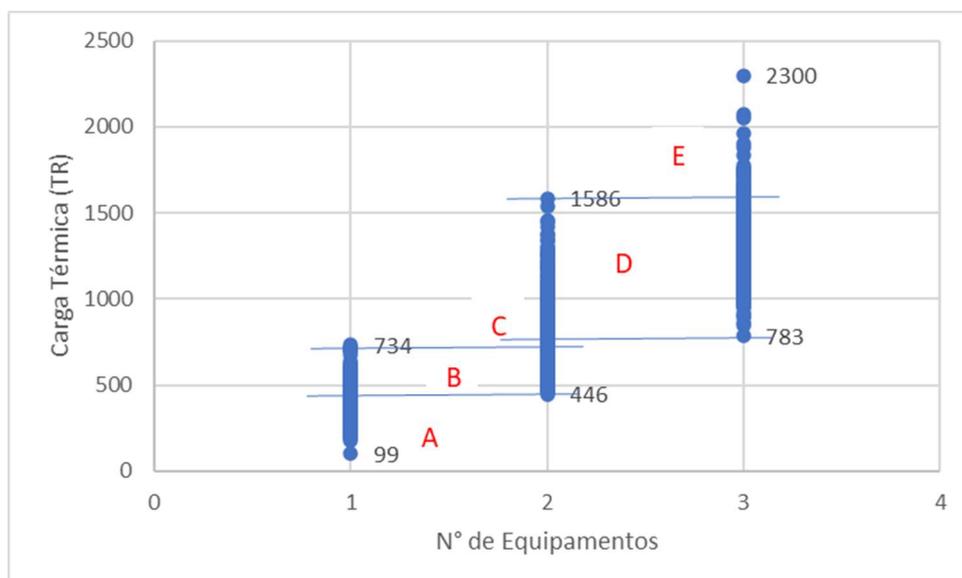


Figura 5.20: Estratégia de gerenciamento da capacidade. Fonte: Autor (dados de campo).

O gráfico (figura 5.20) mostra em destaque as faixas de carga para as quais foram utilizados diferentes modos de operação. Para o avanço da carga até 446 TR (região A) o sistema foi operado com um único equipamento. Para as cargas entre 446 e 734 TR (região B) o sistema operou de dois modos, 1 único equipamento ou 2 equipamentos simultaneamente. Entre 734 e 783 (região C), a operação foi realizada exclusivamente com 2 equipamentos. Cargas entre 783 e 1.586 TR (região D), as possibilidades de 2 ou 3 equipamentos simultaneamente foram utilizadas, e acima de 1.586 TR (região E), sempre com 3 equipamentos operando simultaneamente.

É possível perceber rapidamente que a falta de definição de uma estratégia clara para o número de equipamentos a ser utilizado, em função da demanda de carga térmica, pode ser prejudicial. Uma simulação rápida, com base na curva de performance do equipamento, pode ser feita para a região B do gráfico, com cargas entre 446 e 734 TR. Considerando o combate a carga térmica nesta faixa com um único equipamento, o COP poderá variar de 6,72, quando operando a 446 TR, decrescendo com o aumento da carga até um valor abaixo de 5,86, limite informado pelo fabricante, à 600 TR. Para o combate com 2 equipamentos, o coeficiente cresce, na mesma região de carga, a partir de 6,40, com 446 TR, avançando até o valor de 6,92. Vale ressaltar que, neste caso, cada um dos dois equipamentos em operação desenvolverá sua capacidade entre 223 e 367 TR, como é destacado na figura 5.21 a seguir.

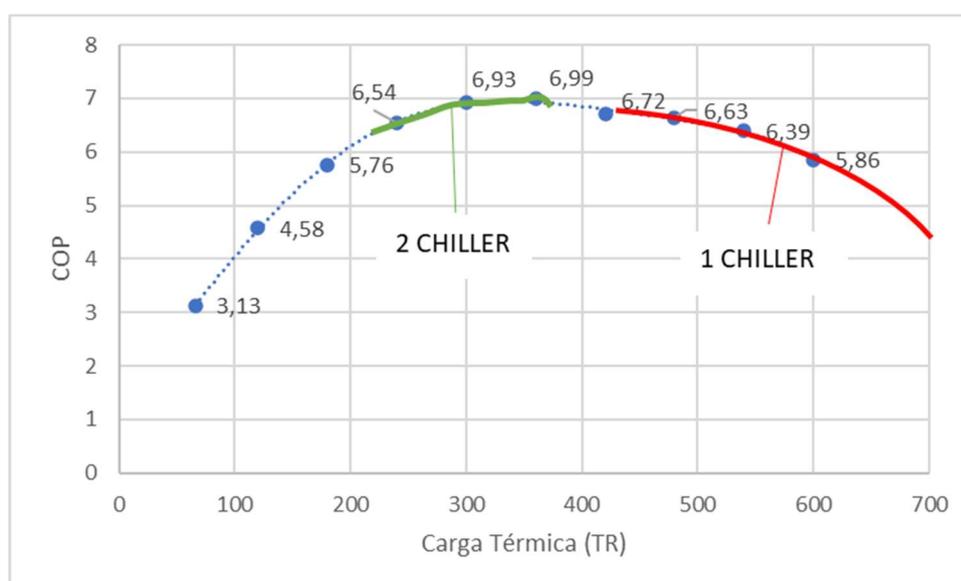


Figura 5.21: Comparação de estratégia na região B. Fonte: Autor, adaptado de Carrier (2013).

O gráfico da figura 5.21 foi construído a partir das informações apresentadas no manual dos equipamentos, Carrier (2013), adaptada na tabela 4.2, pela plotagem da dispersão dos pares de carga térmica e valor do COP.

Sobre o gráfico foram adicionadas a curva de tendência, como um polinômio de 5º grau, retornando sua equação. A aderência da curva foi confirmada pelo valor do coeficiente de correlação de R^2 em 0,99898.

$$COP = -Ax^5 + Bx^4 - Cx^3 + Dx^2 + Ex + F \quad (5.1)$$

Sendo:

x = Carga térmica

A = -0,000000000000799311669099

B = +0,00000000128933045352681

C = -0,000000703845874298412

D = +0,000109136905772185

E = + 0,0202617633346101

F = +1,50794081031271

Dessa forma, considerando a equação (5.1), a busca por uma operação otimizada para o COP foi facilitada pela possibilidade de numericamente calcular o seu valor para cada leitura realizada no campo, em função da carga térmica, e simular a estratégia de melhor resultado para o coeficiente.

Neste sentido, considerando o avanço contínuo da carga térmica, foram simuladas as hipóteses de operação com 1 e 2 *chillers*, para os níveis mais baixos de carga, e a hipótese de operação com 2 ou 3 *chillers*, para o nível mais alto de carga, até identificar o momento, valor de carga, da inversão do COP. Como resultado, foi possível identificar o melhor momento para o acionamento do segundo e terceiro equipamentos em função da evolução da carga térmica e dos valores do COP (tabela 5.12). As simulações apontaram para uma estratégia otimizada de operação que a partir da operação de um *chiller*, com baixa demanda, sugere o acionamento do segundo *chiller* quando a carga térmica atingir o valor de 487 TR e o terceiro equipamento com a carga térmica em 827 TR.

Tabela 5.12: Carga térmica de acionamento do segundo e terceiros *Chillers*.

AVANÇO DA CARGA (TR)	COP _{Reduzido}	COP _{Otimizado}	N° EQUIPAMENTOS	
			Reduzido	Otimizado
...
485	6,60	6,59	1	2
486	6,60	6,59	1	2
487	6,59	6,60	1	2
488	6,59	6,60	1	2
489	6,59	6,61	1	2
...
825	6,82	6,81	2	3
826	6,82	6,81	2	3
827	6,81	6,82	2	3
828	6,81	6,82	2	3
829	6,81	6,82	2	3
...

Fonte: Autor

Considerando a elevação da carga térmica ao longo do dia, iniciando a operação do sistema com um único *chiller*, a estratégia otimizada permite a elevação do COP até o valor de 6,99, o que equivale a capacidade do equipamento desenvolvida em 60% (360 TR), com a inversão da curva a partir deste ponto e redução do coeficiente ao nível de 6,59, quando operando à 487 TR. Com a carga elevada a 487 TR (COP de 6,59), para a manutenção do índice, é sugerido o início de operação do segundo equipamento, reduzindo a carga individual para 243 TR (40%) por equipamento, iniciando uma nova curva ascendente a partir de um COP de 6,60. Na sequência, o índice se eleva até 6,99, com os 2 equipamentos operando a 60% das suas capacidades, e carga térmica total absorvida pelo conjunto de 720 TR. Com o coeficiente em decrescente, a partir da demanda de 827 TR (COP de 6,81), é preferível o acionamento do terceiro equipamento, com a carga dividida entre os três *chillers*, operação individual em 275 TR (46% da capacidade) e COP estabelecido em 6,82. A partir desse ponto o índice se eleva com o avanço da demanda até o valor de 6,99 (60% da capacidade) e carga do conjunto em 1.080 TR. Acima de 1.080 TR, já operando com 3 equipamentos simultaneamente, busca-se a manutenção do conforto térmico dos passageiros, com o combate a carga térmica demandada, permitindo a redução do índice até o limite nominal da capacidade do sistema, 1800 TR (100% da capacidade) e 5,86 de COP. Acima da capacidade nominal do sistema não há informação para o COP, porém, em função da tendência da curva são esperados valores abaixo de 5,86, em forte queda.

Por fim, com base no perfil de carga térmica levantado no período estudado, foram realizadas as simulações da operação real e da operação otimizada, conforme modelo de planilha apresentado no apêndice 8.2. Os resultados apresentaram valores médios para o COP de, respectivamente 6,75 e 6,84.

Ainda pela comparação das estratégias real e otimizada, é possível verificar na estratégia otimizada a entrada em operação simultânea do segundo e terceiros *chillers*, quando as cargas instantâneas absorvidas atingem, respectivamente, 487 e 827 TR. Porém, a estratégia executada no período estudado apresentou a partida do segundo equipamento entre 446 TR, o que é considerado antecipado, e 734 TR, que é considerado tardio para a otimização da operação do consumo de energia. Para a partida do terceiro equipamento, foram utilizados como gatilhos os valores entre 783 e 1.586 TR. Da mesma forma, ora com partidas antecipadas e ora com partidas tardias. A variação nos valores da carga de referência para a partida do segundo e do terceiro equipamentos podem estar associados à falta de um procedimento adequado, pois conforme apresentado em Lillie (2012, p. 126) as orientações para operação, a partir da supervisão, podem conter erros historicamente repassados como meta de controle a ser mantida, ou ainda a delegação da decisão a cada operador. É claro que essa pode não ser a realidade do ambiente estudado, mas fica a indicação que detalhes das rotinas que já são consolidados ou possam passar despercebidos, devem ser considerados, repensados e reconstruídos para identificação de oportunidades e implementação de melhorias no desempenho do sistema.

5.4.4 Análise da performance energética

Para a determinação do índice de performance energética global, que se resume na relação entre o efeito de refrigeração e o consumo de energia elétrica do sistema, foram calculados os valores das cargas térmicas totais instantâneas absorvidas em cada uma das diversas leituras. A área sobre a curva formada pela plotagem das cargas térmicas totais ao longo do tempo representa o efeito de refrigeração e pode ser determinada por integração numérica. Neste sentido, foi considerado o somatório das diversas áreas sobre a curva, resultantes do produto do valor médio das cargas pelo lapso de tempo entre duas leituras sequenciais. A área sobre a curva representa o efeito térmico total do período considerado e é medida em TRh, podendo ser convertida para kWh (1 TR = 3,51685 kW), conforme apresentado na figura 5.22.

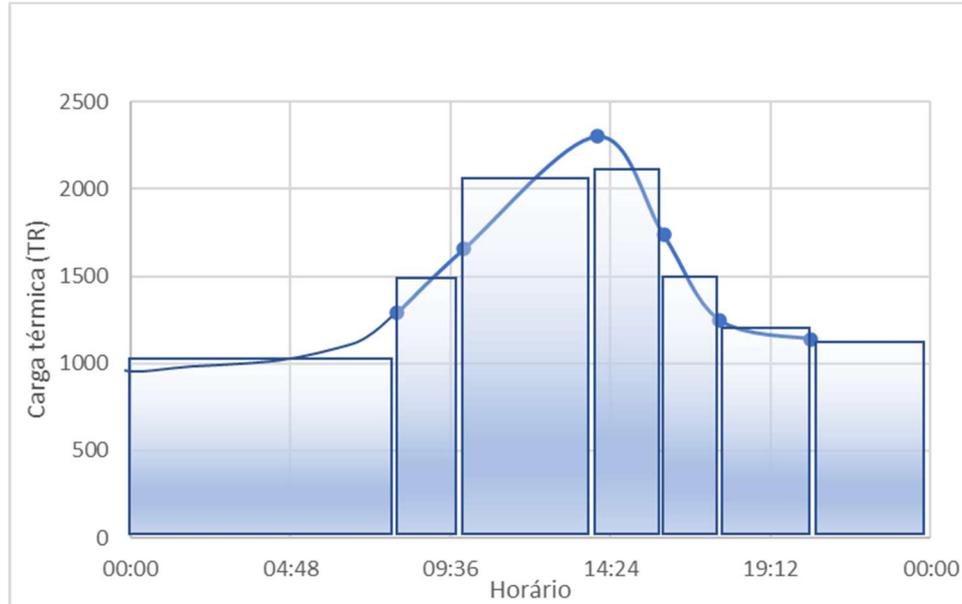


Figura 5.22 – Modelo conceitual de integração numérica. Fonte: Autor (dados de campo).

Valendo-se do potencial de cálculo das planilhas e do método numérico, os dados de interesse foram organizados e os valores TRh entre as leituras consecutivas calculados. Para o período completo, 12 meses, foram totalizados em 6.853.828 TRh, o que equivale a 24.103.885 kWh. O modelo da planilha utilizada é apresentado apêndice 8.3.

Da mesma forma, após definir a relação entre a carga térmica e a potência elétrica desenvolvida (equação 5.2), a partir das informações tabeladas pelo fabricante, conforme figura 5.23, foi calculada a energia total consumida em cada intervalo de leitura, totalizando um consumo de 3.583.267 kWh. Os totais calculados para o efeito de refrigeração e o consumo total, pela aplicação da equação 4.3, levam a um COP calculado em 6,73, o que é validado pela média do COP determinado no item 5.4.3.3, com diferença de apenas 2 centésimos.

$$COP = \frac{24.103.885}{3.583.267} = 6,73$$

$$P = 63,9626635601538 e^{0,01731443909572860 A} \quad (5.2)$$

Onde:

A = Carga parcial (percentual da carga nominal)

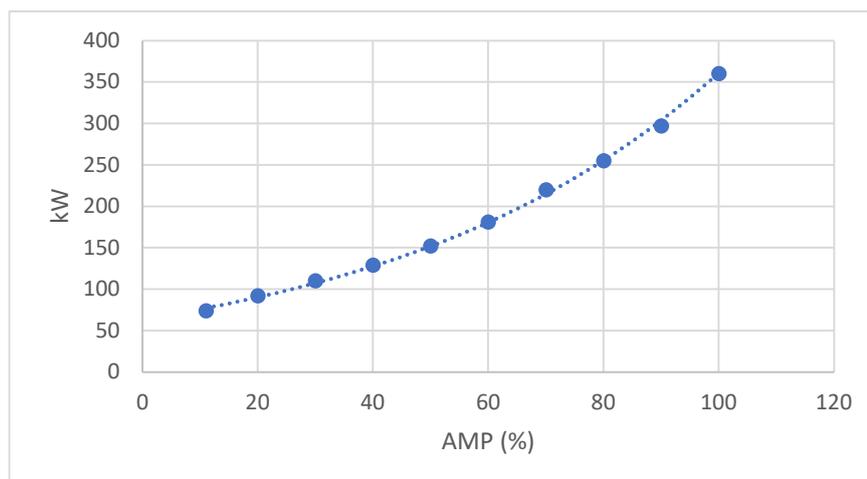


Figura 5.23: Equação da potência parcial instantânea x leitura de AMP (%). Fonte: Autor, adaptado de (CARRIER 2006)

Ainda assim, o consumo histórico de energia elétrica do período estudado foi resgatado, para o consumo total do aeroporto e da CAG, através das sucessivas leituras apontadas mensalmente junto à concessionária local de distribuição de energia, conforme apresentado na tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Evolução do Consumo de energia

MÊS	ANO	LEITURAS DIRETAS (MEDIDOR DE CONSUMO)		
		CONSUMO GERAL kWh	CONSUMO CAG kWh	CONSUMO CAG (%)
MARÇO	2019	1.957.876	744.800	38
ABRIL	2019	1.683.548	831.300	49
MAIO	2019	1.843.370	710.300	39
JUNHO	2019	1.529.274	724.400	47
JULHO	2019	1.341.564	515.400	38
AGOSTO	2019	1.395.224	472.900	34
SETEMBRO	2019	1.072.284	427.500	40
OUTUBRO	2019	1.383.164	501.400	36
NOVEMBRO	2019	1.710.848	605.200	35
DEZEMBRO	2019	1.556.605	718.000	46
JANEIRO	2020	1.763.326	616.300	35
FEVEREIRO	2020	1.784.719	903.600	51
Consumo Total		19.021.802	7.771.100	41

Fonte: Autor (dados de consumo Infraero).

Um estudo previamente realizado pelas equipes de gestão operacional do aeroporto foi usado como referência para a verificação do valor estimado para o consumo de energia dos *chillers*. Em 2016, com base no levantamento dos equipamentos que compõem o sistema de ar-

condicionado do aeroporto, suas potências e os respectivos tempos de operação, foram estimados os consumos mensais de cada componente, perfazendo o valor estimado total de consumo para o sistema, mostrado na tabela 5.14. Com base no estudo prévio e nas atuais informações coletadas em campo, foi possível atualizar o modo de operação e estimar o consumo de energia na operação dos *chillers* em aproximadamente 78,5% do consumo do sistema de ar-condicionado.

Tabela 5.14 - Estratificação da potência elétrica do sistema

Localização	Descrição do Equipamento	Quant.	Potência					Tempo de Funcionamento (h)	Energia (KWh) consumida			
			Nominal						Utilizada Total (KW)	Diária	Mensal	Mensal (Fator de utilização = 80%)
			BTU	HP	CV	TR	KW					
RJMN-2 Coordenação de Sistemas Elétricos, Eletrônicos, Mecânicos e Eletromecânicos		AEROPORTO SANTOS DUMONT							Data: Mar /2020			
Quadro Resumo do Consumo de Energia Elétrica dos equipamentos de ar condicionado, ventilação e exaustão.												
Os dados aqui constantes tiveram base nas informações da área técnica de ar condicionado e no contrato TC N° 0023-ML-2013-0062-RENOVAR, de 19/9/2014.												
CAG	Chiller (*1)	1				600	360	288,00	24	6912,00	207360,00	165888
		1				600	360	288,00	18	5184,00	155520,00	124416
		1				600	360	288,00	6	1728,00	51840,00	41472
		1				450	585	468,00	0	0,00	0,00	0
	Bomba d'água (*2)	3			75		55,20	165,60	24	3974,40	119232,00	95385,6
		1						0,00		0,00	0,00	0
	Bomba (*3)	3			40		29,44	88,32	24	2119,68	63590,40	50872,32
		1						0,00		0,00	0,00	0
	Bomba	12			25		18,40	220,80	24	5299,20	158976,00	127180,80
	Ventiladores	3			25		18,40	55,20	24	1324,80	39744,00	31795,20
CAV	Motores	8			25		18,40	147,20	24	3532,80	105984,00	84787,20
		8			10		7,36	58,88	24	1413,12	42393,60	33914,88
Fan Coil	Motores	8			1,5		1,10	8,83	24	211,97	6359,04	5087,23
	Motores	12			2		1,47	17,66	24	423,94	12718,08	10174,46
	Motores	11			3		2,21	24,29	24	582,91	17487,36	13989,89
	Motores	6			4		2,94	17,66	24	423,94	12718,08	10174,46
	Motores	4			5		3,68	14,72	24	353,28	10598,40	8478,72
Cassete Hidrônico	Motores	50					0,19	9,50	24	228,00	6840,00	5472,00
		10					0,02	0,20	24	4,80	144,00	115,20
Fancolete (sobre o forro)	Motores	34			0,167		0,12	4,18	24	100,30	3008,89	2407,11
Totais							2165,05		33817,13	1014513,85	811.611,08	

Fonte: Infraero (dados da instalação).

A participação no consumo verificada para operação do conjunto de *chiller* em relação ao consumo total do consumo do sistema de ar-condicionado (78,5%), demonstra uma oportunidade de redução do consumo em relação ao valor declarado por Yu e Chan (2005), que apontam para o consumo de 60% do total do sistema de ar-condicionado. Já o percentual do consumo total estimado para o sistema de ar-condicionado (9.899.490 kWh), foi estabelecido

em 52,0% do total da energia consumida nas edificações do terminal de passageiros, excedendo o valor máximo da faixa de 25 a 40%, consumo esperado para o sistema de ar-condicionado. Essas diferenças apontam para oportunidades de economia de energia no sistema de ar-condicionado.

Dessa forma, o cálculo do consumo de energia elétrica dos *chillers*, a partir do consumo total da CAG, totalizou 4.048.743 kWh, o que representa um COP de 5,95, como resultado da aplicação da equação 4.3.

$$COP = \frac{24.103.885}{4.048.743} = 5,95$$

Os diferentes caminhos para a determinação do consumo de energia elétrica dos *chillers* apresentam resultados bastante diferentes, sugerindo uma avaliação aprofundada para a implantação de modelo que permita a medição ou estimação do consumo, do efeito de refrigeração e o cálculo do COP para o acompanhamento do desempenho do sistema, como forma de aplicação do comissionamento contínuo.

5.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

As análises realizadas permitiram concluir que o equipamento originalmente especificado é adequado ao processo pretendido, com a capacidade térmica requerida. A conclusão é baseada no valor máximo de carga térmica absorvida de 2.300 TR e na confirmação de capacidade do *chiller* nº 1, associada à oportunidade de eliminação de causas assinaláveis atuando no processo. Para os *chillers* nº 2 e 3, que apresentam a mesma especificação do *chiller* nº1 e condição de razoavelmente capazes, espera-se que após o estudo e eliminação das causas assinaláveis, apresentem suas performances equiparadas ao *chiller* nº 1. Já para o *chiller* nº 4, que possui especificação diferente, considerando os desvios identificados em suas entregas, espera-se uma crítica avaliação quanto a sua adequação ao sistema e, naquilo que for necessário, a implantação de ações para a adequação dos parâmetros operacionais para obtenção do controle do seu processo e alinhamento da sua performance aos demais equipamentos.

Com base no perfil sazonal levantado, verifica-se que o modo operacional utilizado permite a sua otimização, através da referência de performance indicada pelo fabricante. Baseia-se na divisão da carga total demandada entre os equipamentos, de forma a gerenciar a carga térmica absorvida individual nos equipamentos, buscando maior COP. A mudança conceitual da estratégia operacional tem como base a substituição do objetivo de “*atender as*

demandas com o n° mínimo de equipamentos” para a ideia de “dividir a carga demandada total para obtenção do melhor coeficiente de performance possível”. A distribuição da demanda térmica se dará pelo aumento da utilização de 3 equipamentos, de 22 para 35% das ocorrências, e redução da utilização de 1 e 2 equipamentos, de 26 para 24% e 52 para 41% das ocorrências, permitindo economia de 1,61% de energia somente pela mudança no procedimento.

A avaliação da performance energética permitiu a comparação do COP entre o modo real utilizado e o otimizado, os quais apresentaram valores de 6,73 e 6,84, que representa a diferença entre os procedimentos. Já a relação entre o consumo de energia elétrica registrado pela concessionária local e o efeito de refrigeração estimado, resulta em um COP de 5,95. Vale ressaltar que neste último valor estão incorporadas todas as ineficiências eventualmente existentes no sistema e não só as identificadas neste estudo.

Por fim, Os valores resultantes para os consumos relativos de energia do sistema de ar-condicionado, em relação à edificação, e dos *chillers*, em relação ao sistema de ar-condicionado, foram identificados em 52,0% e 78,5%, respectivamente, podendo ser comparados aos dados bibliográficos de referência, que apontam para um consumo de energia no sistema de ar- condicionado entre 25 e 40% do consumo total de uma edificação comercial e para o consumo dos *chillers* em 60% do consumo do sistema de ar condicionado (YU e CHAN, 2005). A comparação revela um consumo de 12 pontos percentuais acima do máximo esperado para o sistema de ar-condicionado em relação ao consumo de energia da edificação. Ainda, o nível energia consumida pelos *chillers* confirma a oportunidade de redução em relação a referência bibliográfica com 18,5 pontos percentuais acima da referência bibliográfica. Especificamente nos *chillers*, foi identificada oportunidade de redução de consumo em 13% o que, em ordem de grandeza, se assemelham ao estudo de Li et al. (2012), que confirmou redução de 15% no consumo de energia, após reforma em sistema de 4.800 TR de capacidade.

6. CONCLUSÃO

Uma metodologia para análise da performance operacional e energética de sistemas de ar-condicionado em aeroportos foi apresentada nesta dissertação. O método foi baseado nos conceitos do recomissionamento de edificações, que tem como principais objetivos o aumento do desempenho operacional e a redução do consumo de energia. Quando comparado com os outros métodos identificados na bibliografia, que, em geral, propõem a determinação da performance do sistema com base em um modelo, pode ser atribuída à metodologia a vantagem da proximidade com a operação durante o levantamento dos dados de campo. Essa proximidade permite encontrar características ou condições no sistema, que associadas às análises, identificam oportunidades de melhoria pontuais que não cabem a um modelo puramente matemático.

A metodologia proposta foi validada em um estudo de caso, através da sua aplicação no sistema de ar-condicionado em operação no Aeroporto Santos Dumont. Os resultados obtidos mostraram que o sistema estudado tem seu consumo posicionado com 12 pontos percentuais acima da faixa de referência identificada na literatura para o consumo do sistema de ar-condicionado em relação ao consumo da edificação e 18,5 pontos percentuais acima do valor de referência para o consumo da operação dos *chillers* em relação ao consumo do sistema de ar-condicionado, identificando em ambos os casos o nível potencial de redução do consumo de energia para a oportunidade de conservação.

A principal contribuição deste estudo é a possibilidade de reaplicação da metodologia nos sistemas de ar-condicionado em operação em dezenas de terminais aeroportuários pelo Brasil e, por semelhança, em sistemas instalados em *Shoppings Centers*. O potencial de conservação de energia contribui para o meio ambiente e retarda investimentos no sistema de produção e transmissão de energia.

Como trabalhos futuros, espera-se a melhoria da metodologia com o desenvolvimento de estudos considerando a coleta automática de dados e o desenvolvimento de modelo para o tratamento, igualmente automático, dos dados e o monitoramento contínuo da performance do sistema e subsistemas em tempo real.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AABC COMMISSIONING GROUP. ACG Commissioning Guideline – For Building Owners, Design Professionals, and Commissioning Service Providers. New York: AABC Commissioning Group, 2005, p. 145.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITINING ENGINEERS, INC. Ashrae Handbook - Fundamentals I-P Edition. Atlanta, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Anuário do Transporte Aéreo 2018. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/anuario-do-transporte-aereo/dados-do-anuario-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 01 mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1: 2008 – Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários - Parte 1: Projetos das Instalações. Rio de Janeiro, ABNT 2008. 60 p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/>. Acesso em: 08 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2: 2008 – Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários - Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Rio de Janeiro, ABNT 2008. 7 p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/>. Acesso em: 08 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16315: 2014 – Instalação e Comissionamento de Máquinas. Rio de Janeiro, 2014. 37 p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/>. Acesso em: 08 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/CB-55 – 3º Projeto de Revisão ABNT NBR 16401-2 – Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários - Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Rio de Janeiro, 2017. 79 p. Disponível em <http://www.labeec.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/140624%20REVISA%CC%83O%20ABNT%20NBR%2016401_2_versao%202017.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2019.

BENDIKSEN, Trond. YONG, Geoff. Commissioning of Offshore Oil and Gas Projects. 2ª Ed. Bloomington: AuthorHouse, 2015, p. 202.

CECCHINATO, Luca. CHIARELLO, Manuel. CORRADI, Marco. A simplified method to evaluation the seasonal energy performance of water chiller. International Journal of Thermal Sciences. n. 49, p. 1776-1786. 2010. Disponível <<https://www.sciencedirect.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1290072910001092?via%3Dihub>> Acesso em: 06/04/2021.

CHAN, K.T.YU, F.W. Part load efficiency of air-cooled multiple-chiller plants. Building Services Engineering. n. 23,1, p. 31-41. 2002. Disponível em < <https://journals-sagepub-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1191/0143624402bt028oa>>. Acesso em: 03/04/2021.

COELHO-RAVAGNANI, Christianne de Faria et al. Estimativa do equivalente metabólico (MET) de um protocolo de exercícios físicos baseada na calorimetria indireta. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, São Paulo: v. 19, n. 2, 2013. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1517-86922013000200013>>. Acesso em: 15 abr.2020.

COSTA, Antônio Fernando Branco, EPPRECHT, Eugênio Kahn, CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Controle Estatístico de Qualidade. 2ª Ed. São Paulo, 2005.

DAWSON, Robert. How Significant is a Boxplot Outlier? *Journal of Statistics Education*. V.19, n.2, 2011. Disponível em < <https://doi.org/10.1080/10691898.2011.11889610>>. Acesso em: 12 set.2020.

DELERYD, Mats. The effect of skewness on estimates of some process capability indices. *Internatioanl jornal of Applied quality management*, v.2, n.2, 1999. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1096473899800888>. Acesso em: 25 jul. 2020.

DOMINGUES, L.C.F. Estudo sobre comissionamento de edifícios comerciais monousuários e sua influência sobre o gerenciamento de facilidades. Monografia (MBA) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

ELETROBRÁS. Sistemas de Ar-Condicionado. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011, 148 p.

ELETROBRÁS. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial. Rio de Janeiro: Centrais Elétricas Brasileiras, FUPAI/EFFICIENTIA, 2005, 316 p.

ELLIS, Rebecca. T. Buildng Systems Commissioning. *Engineered Systems*, n. 1, 1998. Disponível em < <https://doi.org/10.1080/10691898.2011.11889610>>. Acesso em: 12 set.2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 07 mar. 2021.

FERRETTI, Natascha Milesi. GALLER, Michael. BUSHBY, Steven. Performance Monitoring of Chilled-Water Distribution Systems Using HVAC-Cx. *ASHRAE Tansactions*, U.S. Government, v. 123, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://ashraem.confex.com/ashraem/s17/webprogram/Paper22469.html>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

FLEM, Belinda, et. al. Graphical statistics to explore the natural and anthropogenic process influencing the inorganic quality of drinking water, ground water and surface water. *Applies Geochemistry*. N. 88. P. 133-148. 2018. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S088329271730063X?via%3Di%3Dhub>>. Acesso em: 10/03/2021.

KELLY, George E., BUSHBY, Steven. Are intelligent agents the key to optimizing Building HVAC System performance? *Research*, Taylor & Francis. v.18, n. 4, p. 750-759, 2012. Disponível em: < www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10789669.2012.682693>. Acesso em: 03 mar. 2020.

KUME, Hitoshi. Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade. 2ª Ed. São Paulo: Editora Gente, 1993. p. 243.

LI, Yunhua et al. HVAC Systems Commissioning in a Manufacturing Plant. *ASHRAE Transaction*. ASHRAE, n. 30, 2012. Disponível em: < www.researchgate.net/publication/268126785_HVAC_Systems_Commissioning_in_a_Manufacturing_Plant_SA-12-030> Acesso em: 03 mar. 2020

LILLIE, E. Thomas. What We Have Learned From 20 Years of HVAC System Commissioning St. Louis: ASHRAE Transactions, 2012. p.122-132, 2012.

MILLS, Evans et al. The Cost-effectiveness of commercial-buildings commissioning: a meta-analysis of energy and non-energy impacts in existing buildings and new construction in the United States, 2004. Disponível em: <http://www.des.wa.gov/SiteCollectionDocuments/Facilities/Energy/Commissioning/Cx_Cost%20Effectiveness.pdf>. Acesso em: 06. Ju. 2020.

MILLS, Evans et al. The Cost-Effectiveness of Commissioning: A summary of 224 new and existing comercial Building of various types. *HPAC Engineering*. Lawrence Berkeley National Laboratory, p. 20-24, 2005. Disponível em: <www.hpac.com>. Acesso em 21 ago. 2020.

MONTGOMERY, D.C. Introdução ao controle Estatístico da Qualidade. 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004, 513p.

DARESTANI, Soroush Avakh. NASIRI, Mina. Statistical X-S control chart and process capability indices in normal data environment. *International Juornal of Quality & Reliability Managementt.* v. 33. n. 1. P. 2-24. 2016. Disponível em: <https://www-emerald.ez24.periodicos.capes.gov.br/insight/content/doi/10.1108/IJQRM-08-2013-0130/full/html> Acesso em: 10/04/2021.

NAVARRO-ESBRÍ J. et al. Application of a lumped model for predicting energy performance of a variable-speed vapour compression system. *Applied Thermal Engineering*. N. 30, p. 286-294, 2010. Disponível em <<https://www-sciencedirect.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1359431109002762?via%3Dihub>> Acesso em: 05/04/2021.

RIBEIRO, José Luis Duarte; CATEN, Carla Schwengber tem Caten. Controle Estatístico de Processo – Série monográfica Qualidade. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012. 172 p.

ROTH Kurt W. et al.. Energy Impact of Commercial Building Controls and Performance Diagnostics: Market Characterization, Energy Impact of Building Faults and Energy Savings Potential. Virginia: U.S. Department of Energy, 2005, p. 413.

SENADO FEDERAL. Dário Berger sugere força-tarefa para retomada de obras paradas no Brasil. *Senado Notícias*. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/02/18/dario-berger-sugere-forca-tarefa-para-retomada-de-obras-paradas-no-brasil>>. Acesso em: 07 mar. 2021.

SIQUEIRA, L. G. P. Controle Estatístico de Processo. São Paulo: Pioneira, 1997. p. 129.

TAREEN, Aleem Dad Khan et al. Descriptive analysis earthquake prediction using boxplot interpretation of soil radon time series data. *Applied Radiation and Isotopes*. n.154. p. 108861. 2019.

TRCKA, Marija. HENSEN, L.M. Overview of HVAC system simulation. *Automation in Construction*, Elsevier, n.19, p. 93-99, 2010. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/autcon>. Acesso em: 09 fev. 2019.

TSENG, P.C. Building Commissioning: Benefit and Costs. *HPAC Engineering*, n. 4, 1998, p. 51-59. Disponível em <www.elsevier.com/locate/autcon>. Acesso em 09 jul. 2019.

VAKILOROAYA, V.; HA, Q.P., SAMALI, B.. Energy-efficient HVAC systems: Simulation-empirical modelling and gradient optimization.: *Automation in Construction*, v. 31. p. 176-185, 2013. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/autcon>. Acesso em: 08.fev.2019.

VERHELST, Joachim et al. Model selection for continuous commissioning of HVAC-systems in office building: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, n. 76, 673-686, 2017. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/rser>. Acesso em: 08 fev. 2019.

VERONICA, Daniel A. Automatically detecting faulty regulation in HVAC controls. *HVAC&R Research*, v. 19, n. 4, p. 412-422, 2013. Disponível em <www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10789669.2013.789369>. Acesso em: 08 fev. 2019.

WANG, Handong. A Steady-state empirical model for evaluating energy efficient performance of centrifugal water chillers. *Energy and Building*. n. 157, p. 415-429, 2017. Disponível em <<https://www-sciencedirect.ez24.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778817307016?via%3Dihub>> Acesso em: 05/04/2021.

WANG, Shan kuo. Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. 2ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2001, p. 1401.

WILKINSON, Ronald. The Commissioning Design Intent Narrative. *ASHRAE Journal*: v. 41, n. 4, 1999. Disponível em <<https://search.proquest.com/openview/3baaa17f92ca96fc59c3bcc23a5773c4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=41118>>. Acesso em: 15 abr.2020.

YU, F. W.; CHAN, K. T. Energy signatures for assessing the enregy performance of chillers. *Energy and Buidings*, n. 37, p. 739-746, 2005. Disponível em <www.Elsevier.com/locate/enbuid> Acesso em: 02 dez. 2019.

ZHOU, Xin. HONG, Tianzhen. YAN, Da. Comparison of HVAC system modeling in EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E. *Building Simul*, v. 7, n. 1, p. 21-33, 2014. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s12273-013-0150-7>> Acesso em: 03 mar. 2020.

8. APÊNDICES

8.1 MODELO – PLANILHA ELETRÔNICA DE DADOS COLETADOS

MÉDIA	6,3	10,3	5,1	29,8	26,7	32,6	86,7	397	774
MÁXIMO	11,3	16,0	11,0	41,7	38,5	85,7	109,3	932	2300
MÍNIMO	3,0	7,8	2,1	19,2	20,2	3,3	4,0	40	99
DESVIO	0,54	1,12	0,88	2,16	2,00	3,27	10,39	88	345

DADOS DE CAMPO										VALORES CALCULADOS	
DATA	HORA	CHILLER	AG (°C)	AGR (°C)	Tevap (°C)	AC (°C)	ACR (°C)	Tcond (°C)	AMP (%)	CARGA TÉRMICA (TR)	CARGA HORÁRIO (TR)
01/03/2019	8:00	1	6,3	10,0	4,5	27,8	31,2	34,5	86,6	347	734
01/03/2019	8:00	2	6,2	10,1	3,5	27,6	31,3	33,4	85,1	387	
01/03/2019	10:00	1	7,3	10,9	5,1	28,3	31,8	35,1	88,5	357	753
01/03/2019	10:00	2	7,0	11,0	4,0	28,1	32,0	34,5	86,9	397	
01/03/2019	12:00	1	8,4	12,2	6,2	28,3	32,7	35,7	88,5	377	773
01/03/2019	12:00	2	8,3	12,3	5,2	28,5	32,5	34,9	86,0	397	
01/03/2019	15:00	1	9,1	12,9	6,9	28,5	32,0	35,4	86,0	377	783
01/03/2019	15:00	2	8,8	12,9	5,4	28,3	32,4	34,9	87,9	406	
01/03/2019	21:00	1	7,1	10,8	5,0	27,3	30,8	34,2	86,6	367	763
01/03/2019	21:00	2	6,9	10,9	3,8	27,2	31,1	33,7	86,0	397	
02/03/2019	13:00	1	6,1	9,5	4,2	25,5	29,3	32,1	80,4	337	724
02/03/2019	13:00	3	6,2	10,1	5,0	25,5	30,3	34,3	90,7	387	
02/03/2019	20:00	1	6,4	9,7	4,4	31,4	28,2	34,6	85,7	327	694
02/03/2019	20:00	2	6,1	9,8	3,3	31,8	28,1	34,2	86,0	367	
03/03/2019	8:00	1	6,1	9,4	4,1	27,8	30,9	34,2	84,8	327	694
03/03/2019	8:00	2	5,8	9,5	4,3	27,5	31,1	33,5	81,0	367	
03/03/2019	10:00	1	6,4	9,8	4,4	28,1	31,4	34,6	86,3	337	714
03/03/2019	10:00	2	6,1	9,9	3,6	27,9	31,7	34,1	85,4	377	
03/03/2019	12:00	1	7,0	10,4	5,0	28,9	32,1	35,4	82,9	337	714
03/03/2019	12:00	2	6,7	10,5	3,9	28,6	32,9	34,8	86,6	377	
03/03/2019	16:00	1	7,3	10,9	5,2	28,3	31,6	35,0	87,9	357	744
03/03/2019	16:00	2	7,1	11,0	4,2	28,1	31,4	34,4	86,0	387	
03/03/2019	20:00	1	6,1	9,2	4,3	26,1	29,2	32,4	79,4	307	644
03/03/2019	20:00	2	5,9	9,3	3,3	25,9	29,3	31,6	76,0	337	
03/03/2019	22:00	1	6,0	9,0	4,2	24,0	28,9	32,1	77,8	297	615
03/03/2019	22:00	2	5,9	9,1	3,4	25,8	29,0	31,2	72,2	317	
04/03/2019	20:00	1	6,0	9,4	4,0	26,2	29,4	32,7	89,4	337	674
04/03/2019	20:00	2	6,0	9,4	3,3	28,4	26,6	29,8	31,8	337	
04/03/2019	22:00	1	6,0	9,0	4,2	29,2	26,3	32,3	76,9	297	615
04/03/2019	22:00	2	5,9	9,1	3,4	29,3	26,1	31,6	75,0	317	
28/02/2020	10:30	2	6,0	9,4	4,7	28,1	24,6	31,4	84,8	337	704
28/02/2020	10:30	3	6,1	9,8	4,8	28,0	24,8	31,3	80,7	367	
28/02/2020	12:00	2	6,0	9,2	4,7	28,1	24,3	31,1	82,6	317	674
28/02/2020	12:00	3	6,0	9,6	4,8	28,0	25,0	31,1	78,2	357	
28/02/2020	14:00	2	6,0	9,6	4,7	28,5	25,0	32,0	87,6	357	753
28/02/2020	14:00	3	6,0	10,0	4,7	28,4	25,1	31,8	82,2	397	
28/02/2020	17:00	2	6,0	9,6	4,6	28,3	24,7	31,7	87,3	357	753
28/02/2020	17:00	3	6,0	10,0	4,7	28,2	24,9	31,6	82,2	397	
29/02/2020	8:00	3	6,0	12,2	4,7	26,9	22,9	30,7	82,9	615	615
29/02/2020	20:02	2	6,0	9,3	4,7	29,6	26,1	32,9	90,9	327	694
29/02/2020	20:02	3	6,0	9,7	4,7	29,5	26,3	32,9	85,4	367	

8.2 MODELO - SIMULAÇÃO DO COP ATUAL E OTIMIZADO EM PLANILHA

MÉDIA	776	6,75	6,84	1,95	2,11
MÁXIMO	2300	6,95	6,95		
MÍNIMO	99	0,82	3,13		
DESVIO	344	0,45	0,21		

DADOS DE CAMPO				VALORES TEÓRICOS			Nº EQUIPAMENTOS	
DATA	HORA	AG (°C)	AGR (°C)	CARGA TOTAL HORÁRIO (TR)	COP _{Atual} função (TR)	COP _{Otimizado} função (TR)	Atual	Otimizado
01/03/2019	8:00	6,5	10,0	734	6,92	6,92	2	2
01/03/2019	10:00	7,3	10,9	753	6,90	6,90	2	2
01/03/2019	12:00	8,4	12,2	773	6,88	6,88	2	2
01/03/2019	15:00	9,1	12,9	783	6,87	6,87	2	2
01/03/2019	21:00	7,1	10,8	763	6,89	6,89	2	2
02/03/2019	13:00	6,1	9,5	724	6,93	6,93	2	2
02/03/2019	20:00	6,4	9,7	694	6,94	6,94	2	2
03/03/2019	8:00	6,1	9,4	694	6,94	6,94	2	2
03/03/2019	10:00	6,4	9,8	714	6,93	6,93	2	2
03/03/2019	12:00	7,0	10,4	714	6,93	6,93	2	2
03/03/2019	16:00	7,3	10,9	744	6,91	6,91	2	2
03/03/2019	20:00	6,1	9,2	644	6,94	6,94	2	2
03/03/2019	22:00	6,0	9,0	615	6,92	6,92	2	2
04/03/2019	20:00	6,0	9,4	674	6,95	6,95	2	2
04/03/2019	22:00	6,0	9,0	615	6,92	6,92	2	2
05/03/2019	8:00	6,1	9,3	635	6,94	6,94	2	2
05/03/2019	10:00	6,0	9,5	684	6,95	6,95	2	2
05/03/2019	12:00	6,5	10,0	724	6,93	6,93	2	2
05/03/2019	16:00	8,5	12,1	714	6,93	6,93	2	2
05/03/2019	18:00	8,1	11,6	714	6,93	6,93	2	2
05/03/2019	20:00	7,3	10,9	744	6,91	6,91	2	2
05/03/2019	22:00	6,2	9,6	704	6,94	6,94	2	2
06/03/2019	20:00	5,8	9,2	724	6,93	6,93	2	2
07/03/2019	8:00	7,2	11,1	753	6,90	6,90	2	2
07/03/2019	10:00	6,2	10,2	763	6,89	6,89	2	2
07/03/2019	12:00	6,0	9,2	625	6,93	6,93	2	2
07/03/2019	16:00	6,0	9,2	625	6,93	6,93	2	2
07/03/2019	20:00	5,9	9,9	704	6,94	6,94	2	2
07/03/2019	22:00	5,8	9,1	714	6,93	6,93	2	2
08/03/2019	8:00	6,1	9,5	991	6,95	6,95	3	3
08/03/2019	10:00	6,0	8,5	863	6,87	6,87	3	3
08/03/2019	12:00	5,9	8,7	962	6,94	6,94	3	3
08/03/2019	14:00	6,0	8,7	783	6,73	6,87	3	2
08/03/2019	16:00	5,9	9,8	1130	6,90	6,90	3	3
i	i	i	i	i	i	i	i	i
26/02/2020	20:06	6,2	11,1	1537	6,50	6,50	3	3
27/02/2020	8:00	6,0	9,8	724	6,93	6,93	2	2
27/02/2020	9:40	6,0	9,1	664	6,95	6,95	2	2
27/02/2020	10:00	6,0	10,3	892	6,72	6,90	2	3
27/02/2020	14:00	6,2	9,1	991	6,95	6,95	3	3
27/02/2020	17:48	6,1	9,9	783	6,87	6,87	2	2
28/02/2020	8:05	6,0	9,0	625	6,93	6,93	2	2
28/02/2020	10:30	6,0	9,4	704	6,94	6,94	2	2
28/02/2020	12:00	6,0	9,2	674	6,95	6,95	2	2
28/02/2020	14:00	6,0	9,6	753	6,90	6,90	2	2
28/02/2020	17:00	6,0	9,6	753	6,90	6,90	2	2
29/02/2020	8:00	6,0	12,2	615	5,65	6,92	1	2
29/02/2020	20:02	6,0	9,3	694	6,94	6,94	2	2

8.3 MODELO - INTEGRAÇÃO NÚMERICA DA CARGA TÉRMICA E DA POTÊNCIA AO LONGO DO TEMPO.

DADOS DE CAMPO				EFETIVO DE REFRIGERAÇÃO			CONSUMO		
DATA	HORA	POTÊNCIA INSTANT. (kW)	CARGA INSTANT. (TR)	TRh	kWh	kWh	COP		
				6.853.828	24.103.885	3.583.267	6,73		

HORA DECIMAL	TR MÉDIA INTERVALO	TRh INTERVALO	HORA DECIMAL	kW MÉDIO INTERVALO	kWh INTERVALO
8,00	734	1467	8,00	369	739
10,00	744	1487	10,00	375	749
12,00	763	1527	12,00	385	771
15,00	778	1535	15,00	393	1180
21,00	773	14640	21,00	391	2345
13,00	744	5949	13,00	375	2999
20,00	709	4962	20,00	357	2496
8,00	694	8328	8,00	349	4185
10,00	704	1408	10,00	354	708
12,00	714	1428	12,00	359	718
16,00	729	2915	16,00	367	1467
20,00	694	2776	20,00	349	1398
22,00	630	1259	22,00	318	635
20,00	644	1289	20,00	325	649
22,00	644	1289	22,00	325	649
8,00	625	8744	8,00	315	4412
10,00	659	1339	10,00	331	663
12,00	704	1408	12,00	354	707
16,00	719	2875	16,00	361	1444
18,00	714	1428	18,00	358	717
20,00	729	1457	20,00	366	733
22,00	724	1447	22,00	364	728
8,25	1170	13941	8,25	623	7429
10,00	1224	2143	10,00	637	1115
12,48	1086	2696	12,48	547	1358
15,95	1254	4348	15,95	650	2254
10,00	1244	7403	10,00	646	3842
15,00	1324	6618	15,00	707	3537
17,33	1576	3678	17,33	880	2053
20,10	1566	4334	20,10	871	2409
8,00	1130	13676	8,00	604	7312
9,67	694	1157	9,67	349	582
10,00	778	259	10,00	399	133
14,00	942	3767	14,00	482	1929
17,80	887	3372	17,80	448	1704
8,08	704	6840	8,08	356	3458
10,50	664	1605	10,50	334	808
12,00	689	1034	12,00	346	519
14,00	714	1428	14,00	359	719
17,00	753	1260	17,00	380	1140
8,00	684	6157	8,00	378	3406
20,03	654	7874	20,03	363	4366

9. ANEXOS

9.1 MODELO - LISTA DE VERIFICAÇÃO – OPERAÇÃO CAG

Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
Aeroporto Santos Dumont
Lista de Verificação - Operação CAG

CHILLERS												
Chiller 01			Chiller 02			Chiller 03			Chiller 04			Observações/Alertas (Chiller)
Ligado	Desligado		Ligado	Desligado		Ligado	Desligado		Ligado	Desligado		
AG (°C)	10.1		AG (°C)	9.9		AG (°C)	6.0		AG (°C)	10.2		
AGR (°C)	9.3		AGR (°C)	9.3		AGR (°C)	6.2		AGR (°C)	10.8		
Temp (°C)	11.1		Temp (°C)	9.3		Temp (°C)	2.8		Temp (°C)	11.1		
AC (°C)	25.2		AC (°C)	28.6		AC (°C)	28.8		AC (°C)	25.2		
ACR (°C)	25.2		ACR (°C)	25.8		ACR (°C)	28.9		ACR (°C)	25.9		
Trond (°C)	9.0		Trond (°C)	31.3		Trond (°C)	31.6		Trond (°C)	9.8		
AMP (K)	0		AMP (K)	26.6		AMP (K)	23.2		AMP (K)	0		
DP_AG (kPa)			DP_AG (kPa)			DP_AG (kPa)			DP_AG (kPa)			
DP_AC (kPa)			DP_AC (kPa)			DP_AC (kPa)			DP_AC (kPa)			

Devem ser inseridos os dados também para os chillers desligados

Bombas de Água de Condensação - BAC											
BAC 01		BAC 02		BAC 03		BAC 04		Observações/Alertas (BAC)			
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado				
P. ent (kPa)	0	P. ent (kPa)	0	P. ent (kPa)	0	P. ent (kPa)	0				
P. saída (kPa)	3.8	P. saída (kPa)	3.6	P. saída (kPa)	3.6	P. saída (kPa)	3.6				
Amp (A)	180.4	Amp (A)	106.2	Amp (A)	112.3	Amp (A)					
RPM	1275	RPM	1275	RPM	1275	RPM					

Devem ser inseridos os dados também para as BAC desligadas

Bombas de Água Gelada Primária - BAGP											
BAGP 01		BAGP 02		BAGP 03		BAGP 04		Observações/Alertas (BAGP)			
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado				
P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.0				
P. saída (kPa)	2.4	P. saída (kPa)	1.0	P. saída (kPa)	1.0	P. saída (kPa)	1.0				
Amp (A)	59.6	Amp (A)		Amp (A)		Amp (A)	52.8				
RPM	1700	RPM		RPM		RPM	1600				

Devem ser inseridos os dados também para as BAGP desligadas

Bombas de Água Gelada Secundária - BAGS											
Desembarque											
BAGS 01		BAGS 02		BAGS 03		BAGS 04 (desativada)		BAGS 05 (desativada)			
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado
P. ent (kPa)	1.2	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.2	P. ent (kPa)		P. ent (kPa)		P. ent (kPa)	
P. saída (kPa)	1.3	P. saída (kPa)	2.8	P. saída (kPa)	1.2	P. saída (kPa)		P. saída (kPa)		P. saída (kPa)	
Amp (A)		Amp (A)	36.8	Amp (A)		Amp (A)		Amp (A)		Amp (A)	
RPM		RPM	1600	RPM		RPM		RPM		RPM	

Embarque											
BAGS 06		BAGS 07		BAGS 08		BAGS 09		Observações/Alertas (BAGS)			
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado				
P. ent (kPa)	1.2	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.2				
P. saída (kPa)	2.8	P. saída (kPa)	3.0	P. saída (kPa)	1.0	P. saída (kPa)	1.2				
Amp (A)	23.7	Amp (A)	38.9	Amp (A)		Amp (A)	3.0				
RPM	1500	RPM	1600	RPM		RPM					

Conector											
BAGS 10		BAGS 11		BAGS 12		BAGS 13		Observações/Alertas (Conector)			
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado				
P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.0	P. ent (kPa)	1.2				
P. saída (kPa)	2.4	P. saída (kPa)	2.2	P. saída (kPa)	1.0	P. saída (kPa)	1.3				
Amp (A)	24.4	Amp (A)	22.0	Amp (A)		Amp (A)					
RPM	1650	RPM	1650	RPM		RPM					

Devem ser inseridos os dados também para as BAGS desligadas

Sistema de Tratamento de Água											
Condutividade	1264		Lectura Hidrômetro	258234		Drêns Ativos?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não				

Torres de Resfriamento											
Torre 01		Torre 02		Torre 03		Torre 04		Torre 05			
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado	Ligado	Desligado
RPM		RPM		RPM		RPM		RPM		RPM	1165
Nível Bacia		Nível Bacia		Nível Bacia		Nível Bacia		Nível Bacia		Nível Bacia	OK

Torre 06		Torre 07		Observações/Alertas (Torres)							
Ligado	Desligado	Ligado	Desligado								
RPM	1165	RPM	1165								
Nível Bacia	OK	Nível Bacia	OK								

Data	30/01/2020	Hora	20:08	Responsável pelas Informações	Denilson	Assinatura	<i>[Assinatura]</i>
------	------------	------	-------	-------------------------------	----------	------------	---------------------

9.2 MEMÓRIA DE CÁLCULO - CARGA TÉRMICA

TÍTULO

AEROPORTO SANTOS-DUMONT
AR-CONDICIONADO
MEMORIAL DE CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA
PROJETO EXECUTIVO

DATA	CÓDIGO DO DOCUMENTO			FOLHA	REV.
25/02/05	SDU	TPS	653.MC-1002	01/207	C1

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

REVISÕES

Nº	REVISÃO	DATA	POR	VER.	LIBER.	AUT.
A	EMISSÃO INICIAL	25/02/05				
B	ATENDE AO PARECER TÉCNICO RGC 2903-02/MEC/EPRJ/2005	10/08/05				
C	ATENDE AO PARECER TÉCNICO RGC 2609-16/MEC/EPRJ/2005	12/12/05				

Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária



Gerência de Empreendimentos do Aeroporto Santos-Dumont
EPRJ

CONSÓRCIO

ODEBRECHT / CARIOCA / CONSTRUCAP

ELABORAÇÃO: ENGº STEFANO DE MATTIA
CREA 060.043.687-8

APROVAÇÃO: ENGº STEFANO DE MATTIA
CREA 060.043.687-8



COORDENAÇÃO ENGº JOSÉ LUIS A. RAMOS

T-04032/E-T01	CREA 45.846/D
MC-01-MC-53-001	RESP. TÉCNICO ENGº MOSZE GITELMAN CREA 1.969.200.143

ANALISADO

APROVADO

LIBERADO

SITUAÇÃO DA REVISÃO DAS FOLHAS

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
1	X	X	X				
2	X	X	X				
3	X	X	X				
4	X	X	X				
5	X	X	X				
6	X	X	X				
7	X	X	X				
8	X	X	X				
9	X	X	X				
10	X	X	X				
11	X	X	X				
12	X	X	X				
13	X	X	X				
14	X	X	X				
15	X	X	X				
16	X	X	X				
17	X	X	X				
18	X	X	X				
19	X	X	X				
20	X	X	X				
21	X	X	X				
22	X	X	X				
23	X	X	X				
24	X	X	X				
25	X	X	X				
26	X	X	X				
27	X	X	X				
28	X	X	X				

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
29	X	X	X				
30	X	X	X				
31	X	X	X				
32	X	X	X				
33	X	X	X				
34	X	X	X				
35	X	X	X				
36	X	X	X				
37	X	X	X				
38	X	X	X				
39	X	X	X				
40	X	X	X				
41	X	X	X				
42	X	X	X				
43	X	X	X				
44	X	X	X				
45	X	X	X				
46	X	X	X				
47	X	X	X				
48	X	X	X				
49	X	X	X				
50	X	X	X				
51	X	X	X				
52	X	X	X				
53	X	X	X				
54	X	X	X				
55	X	X	X				
56	X	X	X				

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
57	X	X	X				
58	X	X	X				
59	X	X	X				
60	X	X	X				
61	X	X	X				
62	X	X	X				
63	X	X	X				
64	X	X	X				
65	X	X	X				
66	X	X	X				
67	X	X	X				
68	X	X	X				
69	X	X	X				
70	X	X	X				
71		X	X				
72		X	X				
73		X	X				
74		X	X				
75		X	X				
76		X	X				
77		X	X				
78		X	X				
79		X	X				
80		X	X				
81		X	X				
82		X	X				
83		X	X				
84		X	X				

SITUAÇÃO DA REVISÃO DAS FOLHAS

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
85		X	X				
86		X	X				
87		X	X				
88		X	X				
89		X	X				
90		X	X				
91			X				
92			X				
93			X				
94			X				
95			X				
96			X				
97			X				
98			X				
99			X				
100			X				
101			X				
102			X				
103			X				
104			X				
105			X				
106			X				
107			X				
108			X				
109			X				
110			X				
111			X				
112			X				

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
113			X				
114			X				
115			X				
116			X				
117			X				
118			X				
119			X				
120			X				
121			X				
122			X				
123			X				
124			X				
125			X				
126			X				
127			X				
128			X				
129			X				
130			X				
131			X				
132			X				
133			X				
134			X				
135			X				
136			X				
137			X				
138			X				
139			X				
140			X				

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
141			X				
142			X				
143			X				
144			X				
145			X				
146			X				
147			X				
148			X				
149			X				
150			X				
151			X				
152			X				
153			X				
154			X				
155			X				
156			X				
157			X				
158			X				
159			X				
160			X				
161			X				
162			X				
163			X				
164			X				
165			X				
166			X				
167			X				
168			X				

SITUAÇÃO DA REVISÃO DAS FOLHAS

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
169			X				
170			X				
171			X				
172			X				
173			X				
174			X				
175			X				
176			X				
177			X				
178			X				
179			X				
180			X				
181			X				
182			X				
183			X				
184			X				
185			X				
186			X				
187			X				
188			X				
189			X				
190			X				
191			X				
192			X				
193			X				
194			X				
195			X				
196			X				

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
197			X				
198			X				
199			X				
200			X				
201			X				
202			X				
203			X				
204			X				
205			X				
206			X				
207			X				
208			X				
209							
210							
211							
212							
213							
214							
214							
216							
217							
218							
219							
220							
221							
222							
223							
224							

REV.	A	B	C	1	2	3	4
FOLHA	REV. DA FOLHA						
225							
226							
227							
228							
229							
230							
231							
232							
233							
234							
235							
236							
237							
238							
239							
240							
241							
242							
243							
244							
245							
246							
247							
248							
249							
250							
251							
252							

ESTE DOCUMENTO É CONSTITUÍDO POR 208 FOLHAS, INCLUSIVE AS FOLHAS DE CONTROLE, APROVAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E ANEXOS.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	118
2. NORMAS.....	118
3. BASES DE CÁLCULO	118
3.1 - Local do Cálculo da Carga Térmica.....	118
3.2 - Condições Externas de Verão	119
3.3 - Condições Internas Gerais.....	119
3.4 - Renovação de Ar	119
3.5 - Fontes Internas de Calor.....	119
3.6 – Coeficientes de Transmissão de Calor.....	120
3.7 – Cadastramento dos Ambientes Condicionados	121
4. RESULTADOS DA CARGA TÉRMICA	135
4.1 Carga Térmica Máxima	135
4.2 Carga Térmica Simultânea	137
4.3 Resultado da Carga Térmica	139
5. MEMÓRIA DE CÁLCULO – valores máximos	140
6. MEMÓRIA DE CÁLCULO – valores SIMULTÂNEOS	Erro! Indicador não definido.

1. INTRODUÇÃO

O presente documento tem por objetivo apresentar as bases de cálculo consideradas, e os resultados obtidos para a carga térmica do Sistema de Ar-Condicionado, para os diversos setores que constituem o Terminal de Passageiros do Aeroporto Santos-Dumont, no Rio de Janeiro, RJ.

2. NORMAS

Os sistemas de ar-condicionado foram dimensionados tendo por base as seguintes normas e/ou recomendações:

- NBR 6401 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
- ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.

3. BASES DE CÁLCULO

3.1 - Local do Cálculo da Carga Térmica

- Rio de Janeiro (RJ)
- 5 m de altitude.

3.2 - Condições Externas de Verão

- Temperatura de Bulbo Seco: 38°C
- Temperatura de Bulbo Úmido: 28°C

3.3 - Condições Internas Gerais

- Temperatura de Bulbo Seco: 24 °C ± 2 °C
- Umidade Relativa (sem controle): 50%

3.4 - Renovação de Ar

- Locais Públicos com curta e/ou media permanência: 17 m³/h/pessoa
- Locais Restritos com longa permanência: 27 m³/h/pessoa

3.5 - Fontes Internas de Calor

AMBIENTE	TAXA MÉDIA DE OCUPAÇÃO DE PESSOAS (m²/pessoa)	TAXA MÉDIA DE ILUMINAÇÃO (W/m²)	TAXA MÉDIA DE CARGA DISSIPADA POR EQUIPAMENTOS (W/m²)
Sala de Desembarque	3,0	0	10
Sala de Embarque	3,0	0	10
Salas VIP	6,5	15	20
Polícia Civil	6,5	15	20
Check In – Balcão	6,5	15	10
Check In – Circulação	8,0	15	10
Praça Alimentação	4,0	10	10
Lojas em Geral	6,5	15	15

AMBIENTE	TAXA MÉDIA DE OCUPAÇÃO DE PESSOAS (m²/pessoa)	TAXA MÉDIA DE ILUMINAÇÃO (W/m²)	TAXA MÉDIA DE CARGA DISSIPADA POR EQUIPAMENTOS (W/m²)
Cias. Aéreas – Lojas	6,5	15	20
Cias. Aéreas -	6,5	15	20
Áreas da Infraero	7,5	15	20
Auditório	1,5	15	20
Escritórios em Geral	6,5	15	20

3.6 – Coeficientes de Transmissão de Calor

Para os cálculos dos ganhos de calor por transmissão/ insolação foram considerados :

- Paredes externas em alvenaria, com coeficiente de transmissão de calor (U) de 0,507 BTU / h x SF x °F (2,90 W / m² x °K).
- Tetos em cobertura de telha metálica com isolamento térmico, com coeficiente de transmissão de calor (U) de 0,125 BTU / h x SF x °F (0,71 W / m² x °K).
- Vidros de faces insoladas em geral, com fator de sombreamento de 0,60 e coeficiente de transmissão de calor (U) de 0,90 BTU / h x SF x °F (5,15 W / m² x °K).
- Vidros de faces insoladas no conector e lanternins zenitais, fator de sombreamento de 0,25 e coeficiente de transmissão de calor (U) de 0,70 BTU / h x SF x °F (4,01 W / m² x °K).
- Pessoas em movimento, calor sensível de 315 BTU / h /pessoa (92 W / pessoa).
- Pessoas em movimento, calor latente de 325 BTU / h /pessoa (95 W / pessoa).

- Pessoas em repouso, calor sensível de 230 BTU / h /pessoa (67 W / pessoa).
- Pessoas em repouso, calor latente de 190 BTU / h /pessoa (56 W / pessoa).
- Pessoas em atividade de escritório, calor sensível de 255 BTU / h /pessoa (74 W / pessoa).
- Pessoas em atividade de escritório, calor latente de 255 BTU / h /pessoa (74 W / pessoa).
- Pessoas em atividade de alimentação, calor sensível de 255 BTU / h /pessoa (74 W / pessoa).
- Pessoas em atividade de alimentação, calor latente de 325 BTU / h /pessoa (95 W / pessoa).

3.7 – Cadastramento dos Ambientes Condicionados

3.7.1 – Desenhos de Arquitetura de Referência

Os ambientes considerados no cálculo da carga térmica do TPS do Aeroporto Santos-Dumont, originaram dos indicados nos seguintes desenhos de arquitetura :

Desenhos Arquitetura de Referência	
SDU / TPS / 151 . 1301 / R1	Desembarque - Subsolo
SDU / TPS / 151 . 1302 / R1	Desembarque - Subsolo
SDU / TPS / 151 . 1303 / R1	Embarque - Subsolo
SDU / TPS / 151 . 1304 / R1	Embarque - Subsolo
SDU / TPS / 151 . 1305 / R1	Desembarque - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1306 / R1	Desembarque - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1307 / R1	Embarque - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1308 / R1	Embarque - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1309 / R1	Conector - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1310 / R1	Conector - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1311 / R1	Conector - Térreo
SDU / TPS / 151 . 1312 / R1	Embarque - Mezanino
SDU / TPS / 151 . 1313 / R1	Desembarque - Mezanino

Desenhos Arquitetura de Referência	
SDU / TPS / 151 . 1314 / R1	Desembarque-Mezanino
SDU / TPS / 151 . 1315 / R1	Embarque-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1316 / R1	Embarque-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1317 / R1	Conector-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1318 / R1	Conector-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1319 / R1	Conector-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1320 / R1	Desembarque-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1321 / R1	Desembarque-1º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1322 / R1	Desembarque-2º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1323 / R1	Desembarque-2º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1324 / R1	Embarque-2º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1325 / R1	Embarque-2º Pavimento
SDU / TPS / 151 . 1326 / R1	Desembarque-Cobertura
SDU / TPS / 151 . 1327 / R1	Desembarque-Cobertura
SDU / TPS / 151 . 1328 / R1	Embarque-Cobertura
SDU / TPS / 151 . 1329 / R1	Embarque-Cobertura
SDU / TPS / 151 . 1330 / RA	Conector-Cobertura
SDU / TPS / 151 . 1331 / RA	Conector-Cobertura
SDU / TPS / 151 . 1332 / R1	Embarque-Cobertura C.Máquinas
SDU / TWR / 151 . 1001 / R2	Plantas-Subsolo/Térreo/Mezanino/ 1ºPavimento/2ºPavimento/Cobertura

3.7.2 – Relação dos Ambientes Condicionados

Os ambientes considerados no cálculo da carga térmica do TPS do Aeroporto Santos-Dumont, foram todos os listados a seguir, sendo que foram baseados nos seguintes desenhos de arquitetura :

Considerar a legenda abaixo para a identificação da localização dos ambientes

LEGENDA	
DS = DESEMBARQUE	SS = SUBSOLO
EB = EMBARQUE	TR = TÉRREO
CN = CONECTOR	MZ = MEZANINO
PT = PONTE DE EMBARQUE	1P = 1º PAVIMENTO
TW = TORRE DE CONTROLE	2P = 2º PAVIMENTO
	CB = COBERTURA

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
------	-------------------------	--------	------	---------------------

1000	SEL – 1	DS	SS	D-E / 6-7
1030	ÁREA ADMINISTRATIVA	DS	SS	D-F / 12-13
1035	EXPEDIÇÃO	DS	SS	D-E / 12-13
1075	SEGURANÇA – VIGIL.	DS	SS	B-C / 36-37
1080	PROTEÇÃO	DS	SS	B-C / 38-39
1085	MANUTENÇÃO – EDIFIC.	DS	SS	A-C / 31-36
1090	SEL – 2	DS	SS	B-C / 30-31
1100	VÍDEO ATENDIMENTO	DS	SS	B-C / 28-29
1145	ASSINFRA	DS	SS	A-C / 21-22
1150	ALMOX. CLIMATIZADO	DS	SS	D-F / 16-20
1155	ALMOX. INFORMATICA	DS	SS	E-F / 13-16
1255	CONCESSÃO	DS	TR	D-E / 1-3
1256	CONCESSÃO	DS	TR	D-E / 2-3
1257	CONCESSÃO	DS	TR	D-E / 2-3
1258	CONCESSÃO	DS	TR	E-F / 2-3
1259	CONCESSÃO	DS	TR	E-F / 2-3
1260	CONCESSÃO	DS	TR	E-F / 4-5
1270	CONCESSÃO	DS	TR	E-F / 4-5
1275	EMBARQUE VIP	DS	TR	D-F / 5-6
1280	APOIO OPERACIONAL	DS	TR	E-F / 6-7
1285	SALA VIP INFRAERO	DS	TR	D-E / 6-8
1286	SEL – 3	DS	TR	D-E / 8-9
1290	RESTITUIÇÃO BAGAGEM	DS	TR	D-F / 7-13
1310	RESTITUIÇÃO BAGAGEM	DS	TR	D-F / 19-39
1315	CIAS AÉREAS	DS	TR	D-E / 33-35
1350	SAGUÃO DESEMBARQUE	DS	TR	A-D / 19-29
1351	SAGUÃO DESEMBARQUE	DS	TR	A-E / 29-39
1352	SAGUÃO DESEMBARQUE	DS	TR	A-C / 23-31
1355	COOPERATIVA TÁXI	DS	TR	A-B / 29-31
1370	TURISMO RECEPTIVO	DS	TR	A-B / 29-30
1380	RESERVAS HOTEL	DS	TR	A-B / 28-29
1390	ÔNIBUS ESPECIAL	DS	TR	A-B / 27-28

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
1395	ÔNIBUS ESPECIAL	DS	TR	A-B / 26-27
1400	LOCAÇÃO VEÍCULOS	DS	TR	A-B / 23-27
1435	CONCESSÃO	DS	TR	A-C / 21-23
1450	LOST LUGGAGE	DS	TR	B-C / 11-13
1480	SENADO	DS	TR	B-C / 10-11
1485	CÂMARA	DS	TR	B-C / 9-11
1480	SENADO	DS	TR	B-C / 10-11
1485	CÂMARA	DS	TR	B-C / 9-11
1490	CONCESSÃO	DS	TR	A-C / 8-11
1495	BANCO ELETRÔNICO	DS	TR	B-C / 8-9
1505	CONCESSÃO	DS	TR	A-C / 6-7
1510	CONCESSÃO	DS	TR	A-C / 5-6
1530	GUARDA MUNICIPAL	DS	TR	A-B / 2-3
1535	CONCESSÃO	DS	TR	C-D / 2-3
1540	CONCESSÃO	DS	TR	C-D / 2-3
1550	SAGUÃO	DS	TR	C-D / 5-13
1570	TELEFONIA	DS	TR	A-B / 11-13
1575	SEL - 4	DS	TR	E-F / 19-20
1580	SEL - 5	DS	TR	A-B / 36-37
1605	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 1-3
1610	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 3-6
1615	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 6-7
1616	SEL - 7	DS	MZ	E-F / 7-8
1620	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 7-9
1625	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 9-10
1630	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 10-11
1635	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 11-13
1645	SEL - 8	DS	MZ	D-E / 20-21
1650	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 21-25
1655	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 25-26
1675	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 26-30
1680	CONCESSÃO	DS	MZ	D-F / 30-33

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
1685	DISPONÍVEL	DS	MZ	D-F / 34-39
1690	POLÍCIA MILITAR	DS	MZ	D-E / 37-38
1693	ALOJAMENTO	DS	MZ	C-E / 37-39
1694	ALOJAMENTO	DS	MZ	C-E / 37-39
1695	ADMINISTRAÇÃO	DS	MZ	C-E / 37-39
1700	ANVISA – VACINA	DS	MZ	C-E / 37-39
1705	ANVISA	DS	MZ	C-E / 37-39
1710	SEL – 8	DS	MZ	A-B / 33-34
1725	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 32-33
1735	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 29-30
1740	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 28-29
1745	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 27-28
1750	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 26-27
1755	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 25-26
1760	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 24-25
1765	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 23-24
1770	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-B / 22-23
1775	CONCESSÃO	DS	MZ	A-B / 19-20
1830	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 11-12
1835	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 10-11
1840	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 8-10
1850	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 6-7
1855	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 4-6
1765	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-C / 4-6
1770	GERÊNCIA CIA AÉREA	DS	MZ	A-C / 3-4
1775	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 1-3
1830	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 11-12
1835	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 10-11
1840	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 8-10
1850	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 6-7
1855	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 4-6
1860	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 3-4

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
1865	CONCESSÃO	DS	MZ	A-C / 1-3
2002	CENTRAL TELEFÔNICA	DS	1P	D-F / 1-2
2005	CONCESSÃO	DS	1P	D-F / 2-5
2010	CONCESSÃO	DS	1P	D-F / 7-10
2015	CONCESSÃO	DS	1P	D-F / 11-13
2030	DISPONÍVEL	DS	1P	E-F / 18-20
2035	DISPONÍVEL	DS	1P	D-F / 20-23
2040	APOIO GERÊNCIA MANUT.	DS	1P	E-F / 23-24
2045	GERÊNCIA MANUTENÇÃO	DS	1P	E-F / 24-25
2050	GERÊNCIA NAV. AÉREA	DS	1P	E-F / 25-27
2055	C TRÁFEGO AÉREA 1	DS	1P	E-F / 27
2060	C TRÁFEGO AÉREO 2	DS	1P	E-F / 27-28
2065	GERÊNCIA OPER. SEG.	DS	1P	E-F / 28-29
2070	GERÊNCIA COMERCIAL	DS	1P	E-F / 30-31
2075	APOIO GERÊNCIA COM.	DS	1P	E-F / 31
2080	COORDENAÇÃO NOVO NEG.	DS	1P	E-F / 31-32
2085	SECRETARIA AÉREA ADM.	DS	1P	E-F / 32-33
2090	GERÊNCIA ADM. FINANCEIRA	DS	1P	E-F / 33-34
2095	SALA REUNIÕES	DS	1P	E-F / 35-37
2100	SALA SECRETÁRIA SUPERINT.	DS	1P	E-F / 37-38
2105	SALA SUPERINTENDÊNCIA	DS	1P	E-F / 38-39
2110	SALA CHEFIA COMERCIAL	DS	1P	D-E / 38-39
2115	EQUIPE COMUNICAÇÃO SOC.	DS	1P	C-D / 38-39
2130	SALA ENGENHARIA	DS	1P	D-E / 22-23
2135	COORDENAÇÃO MANUT.	DS	1P	D-E / 23-24
2140	COORDENAÇÃO MANUT.	DS	1P	D-E / 24-25
2145	SALA TÉCNICOS	DS	1P	C-D / 22-25
2150	APOIO GERÊNCIA NAV AÉREA	DS	1P	D-E / 26
2155	SALA ESCUTA	DS	1P	D-E / 26
2160	C AIS – COM – ME	DS	1P	D-E / 26
2165	EQUIPE TRÁFEGO	DS	1P	C-F / 27-28
2170	C SEGURANÇA EMERGÊNCIA	DS	1P	D-E / 28-29

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
2175	APOIO GERÊNCIA SEG.	DS	1P	D-E / 29
2185	EQUIPE SEG. EMERG.	DS	1P	C-D / 28-30
2200	EQUIPE FINANCEIRA	DS	1P	C-E / 30-31
2205	COORDENAÇÃO FINANCEIRA	DS	1P	D-E / 31-32
2210	COORDENAÇÃO ADM.	DS	1P	C-D / 34
2215	ADMINISTRAÇÃO GERAL	DS	1P	C-D / 34-36
2220	ASSISTÊNCIA SOCIAL	DS	1P	D-E / 35-36
2225	SESMET	DS	1P	D-E / 36-37
2230	COORDENAÇÃO RH	DS	1P	C-D / 36-37
2235	RECURSOS HUMANOS	DS	1P	C-D / 36-37
2240	RECEPÇÃO – ADM. INFRAERO	DS	1P	A-C / 35-39
2245	SALA COMUNICAÇÕES	DS	1P	A-C / 34-35
2250	SALA TREINAMENTO	DS	1P	A-C / 33-34
2260	IDENTIFICAÇÃO	DS	1P	A-C / 30
2275	SALA LICITAÇÕES	DS	1P	A-C / 26
2280	DISPONÍVEL	DS	1P	A-C / 23-25
2285	DISPONÍVEL	DS	1P	A-C / 21-22
2290	COORDENAÇÃO COM. NEG.	DS	1P	C-F / 29-32
2295	COORDENAÇÃO COMERCIAL	DS	1P	D-E / 31-32
2360	CONCESSÃO	DS	1P	A-C / 2-14
2365	SEL – 9	DS	1P	B-C / 2-7
2370	CONCESSÃO	DS	1P	A-B / 1-2
2375	CONCESSÃO	DS	1P	A-B / 1-2
2380	CONCESSÃO	DS	1P	A-B / 1-2
2380	CONCESSÃO	DS	1P	A-B / 1-2
2385	CONCESSÃO	DS	1P	B-C / 1-2
2390	CONCESSÃO	DS	1P	B-C / 1-2
2395	CONCESSÃO	DS	1P	C-D / 1-2
2405	CONCESSÃO	DS	1P	C-D / 1-2
2410	CONCESSÃO	DS	1P	C-D / 2-4
2415	CONCESSÃO	DS	1P	C-D / 1-2
2420	CONCESSÃO	DS	1P	C-D / 5-13

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
2440	FOYER	DS	1P	B-G / 14-18
2450	SALÃO NOBRE	DS	1P	A-B / 14-17
2460	AUDITÓRIO	DS	1P	C-D / 18-21
2465	SEL – 10	DS	1P	B-C / 27-28
2470	REFEITÓRIO	DS	1P	A-C / 28-29
2560	CONCESSÃO	DS	2P	D-E / 5-7
2565	SEL – 11	DS	2P	D-E / 8-10
2570	CONCESSÃO	DS	2P	B-C / 6-7
2600	CONCESSÃO	DS	2P	D-E / 12-19
2650	CONCESSÃO	DS	2P	D-E / 20-28
2700	CONCESSÃO	DS	2P	D-E / 30-38
2720	CONCESSÃO	DS	2P	A-C / 32-35
2730	CONCESSÃO	DS	2P	A-E / 1-32
2731	SEL – 12	DS	2P	B-C / 30-31
2750	CIRCULAÇÃO 1	DS	2P	C-D / 3-19
2751	CIRCULAÇÃO 2	DS	2P	C-D / 19-35
2760	SAGUÃO	DS	2P	A-D / 35-38
10	EQUIPAMENTOS	TW	SS	J-L / 2-5
100	AIS	TW	TR	G-L / 1-5
110	EQUIPAMENTOS	TW	TR	H-L / 3-5
200	DISPONÍVEL	TW	MZ	I-L / 1-5
210	DISPONÍVEL	TW	MZ	F-I / 1-5
300	DISPONÍVEL INFRAERO	TW	1P	I-L / 1-5
310	DISPONÍVEL INFRAERO	TW	1P	F-I / 1-5
400	COA	TW	2P	I-L / 1-5
410	SALA 1	TW	2P	H-J / 3-5
420	SALA 2	TW	2P	H-J / 3-4
430	SALA 3	TW	2P	H-J / 2-3
440	SALA 4	TW	2P	H-J / 2-3
450	ESTAR	TW	2P	G-H / 4-5
460	SOM	TW	2P	F-G / 4-5
470	EQUIPAMENTOS	TW	2P	E-F / 4-5

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
460	SOM	TW	2P	F-G / 4-5
470	EQUIPAMENTOS	TW	2P	E-F / 4-5
480	TV VIGILÂNCIA	TW	2P	E-G / 3-4
490	SISTEMA GRAVAÇÃO	TW	2P	E-F / 2-3
495	HALL	TW	2P	E-J / 2-5
500	DISPONÍVEL	TW	CB	J-L / 2-5
510	DISPONÍVEL	TW	CB	I-J / 2-4
520	DISPONÍVEL	TW	CB	F-G / 1-5
530	SALA TREINAMENTO	TW	CB	F-G / 3-5
540	DISPONÍVEL	TW	CB	F-H / 1-5
550	CIRCULAÇÃO	TW	CB	F-J / 1-5
5000	SEL – 13	EB	SS	N-O / 45-46
5050	SEL – 14	EB	SS	Q-P / 51-52
5060	SAGUÃO	EB	SS	M-P / 48-50
5070	SALA REUNIÕES	EB	SS	N-O / 43-44
5100	DESEMBARQUE REMOTO	EB	TR	O-R / 39-41
5110	EMBARQUE REMOTO	EB	TR	O-R / 39-43
5120	CUSTÓDIA	EB	TR	O-P / 41-42
5125	ALOJAMENTO MASCULINO	EB	TR	O-P / 41-42
5130	ALOJAMENTO FEMININO	EB	TR	O-P / 41-42
5134	APOIO	EB	TR	O-P / 41-42
5140	DELEGADO	EB	TR	O-P / 41-42
5145	ESCRIVÃO	EB	TR	O-P / 41-42
5155	POSTO MÉDICO - ATENDIM.	EB	TR	N-P / 41-42
5156	SEC. MUNICIPAL SAÚDE	EB	TR	N-P / 41-42
5160	DISPONÍVEL	EB	TR	O-P / 42-43
5165	POSTO MÉDICO – AMBUL.	EB	TR	O-P / 42-43
5170	POSTO MÉDICO – CONSULT.	EB	TR	O-P / 42-43
5175	POSTO MÉDICO – DESCANSO	EB	TR	O-P / 42-43
5180	SUPERVISOR	EB	TR	N-P / 42-43
5185	CONTROLE	EB	TR	N-P / 42-43
5190	CIA AÉREA	EB	TR	O-P / 43-45

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
5200	CIA AÉREA	EB	TR	O-P / 45-48
5230	SAGUÃO	EB	TR	M-P / 48-49
5231	SAGUÃO	EB	TR	M-P / 49-50
5235	CIA AÉREA	EB	TR	O-P / 50-52
5245	CIA AÉREA	EB	TR	O-P / 52-53
5255	CENTRO ECUMÊNICO	EB	TR	O-P / 53-54
5270	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 50-51
5271	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 51-52
5272	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 52-53
5275	SAGUÃO CHECK-IN	EB	TR	N-O / 50-53
5280	CHECK-IN	EB	TR	O-P / 50-53
5300	SAGUÃO CHECK-IN	EB	TR	M-N / 50-53
5340	CHECK-IN	EB	TR	O-P / 43-46
5350	SAGUÃO CHECK-IN	EB	TR	N-O / 43-46
5355	SAGUÃO CHECK-IN	EB	TR	M-N / 43-46
5356	CIRCULAÇÃO	EB	TR	N-O / 41-43
5357	CHECK-IN	EB	TR	O-P / 45-48
5358	SAGUÃO CHECK-IN	EB	TR	N-O / 45-48
5359	SAGUÃO CHECK-IN	EB	TR	M-N / 45-48
5360	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 47-48
5361	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 46-47
5362	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 45-46
5370	CIA AÉREA	EB	TR	M-N / 43-44
5375	DAC	EB	TR	M-N / 42-43
5380	CHEFIA	EB	TR	M-N / 42-43
5385	JUIZ MENORES	EB	TR	M-N / 42-43
5390	ATENDIMENTO	EB	TR	M-N / 42-43
5395	SEC RECEITA FEDERAL	EB	TR	M-N / 42-43
9500	ESCRITÓRIOS	EB	MZ	O-P / 43-48
9505	SEL – 15	EB	MZ	O-P / 43-44
9510	ESCRITÓRIOS	EB	MZ	O-P / 50-53
9515	SEL – 16	EB	MZ	O-P / 50-51

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
5504	SAGUÃO EMBARQUE	EB	1P	O-S / 39-41
5505	SAGUÃO EMBARQUE	EB	1P	R-S / 41-44
5506	CONCESSÃO	EB	1P	Q-S / 44-45
5510	SEL – 17	EB	1P	P-Q / 40-41
5511	POLÍCIA FEDERAL	EB	1P	P-Q / 41-42
5515	VISTORIA – SEGURANÇA	EB	1P	P-Q / 41-43
5516	SAGUÃO	EB	1P	M-P / 41-43
5565	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 43-44
5570	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 44-45
5575	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 44-45
5580	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 45-46
5585	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 45-46
5590	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 46-47
5595	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 46-47
5600	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 47-48
5605	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 47-48
5610	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 50-52
5615	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 52
5620	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 52-53
5625	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 53-54
5630	CONCESSÃO	EB	1P	P-Q / 53-54
5636	SEL – 19	EB	1P	O-P / 53-54
5640	CONCESSÃO	EB	1P	O-P / 52-53
5650	CIRCULAÇÃO	EB	1P	O-P / 50-53
5665	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 52
5670	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 51-52
5675	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 50-51
5680	ÁREA PROMOCIONAL	EB	1P	M-N / 49-50
5685	ÁREA PROMOCIONAL	EB	1P	M-N / 49-50
5690	ÁREA PROMOCIONAL	EB	1P	M-N / 48-49
5695	ÁREA PROMOCIONAL	EB	1P	M-N / 48-49
5700	SAGUÃO	EB	1P	M-N / 48-50

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
5705	SAGUÃO CENTRAL	EB	1P	N-O / 48-50
5710	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 47-48
5715	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 46-47
5720	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 46-47
5725	SEL – 18	EB	1P	M-N / 45-46
5730	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 44-45
5735	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 44-45
5740	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 43-44
5745	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 43-44
5750	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 42-43
5755	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 42-43
5760	CONCESSÃO	EB	1P	M-N / 41-42
5765	CONCESSÃO	EB	1P	N-O / 41-42
5800	CIRCULAÇÃO	EB	1P	N-P / 43-48
5810	SAGUÃO	EB	1P	O-P / 49-50
5815	SAGUÃO	EB	1P	O-P / 48-49
5816	SAGUÃO CENTRAL	EB	1P	N-O / 48-50
5821	CIRCULAÇÃO	EB	1P	M-N / 50-54
5822	ESPAÇO CULTURAL	EB	1P	N-O / 53-54
5850	CONCESSÃO	EB	2P	P-Q / 41-42
5855	CONCESSÃO	EB	2P	O-P / 41-42
5860	CIRCULAÇÃO	EB	2P	O-P / 42-45
5861	CIRCULAÇÃO	EB	2P	N-O / 41-43
5862	CIRCULAÇÃO	EB	2P	M-N / 43-48
5863	CIRCULAÇÃO	EB	2P	N-O / 43-48
5864	CIRCULAÇÃO	EB	2P	O-P / 45-48
5866	PRAÇA ALIMENTAÇÃO	EB	2P	P-Q / 42-43
5867	PRAÇA ALIMENTAÇÃO	EB	2P	P-Q / 45-47
5868	CONCESSÃO	EB	2P	P-Q / 47-48
5870	CONCESSÃO	EB	2P	O-P / 47-48
5882	SEL – 21	EB	2P	O-P / 53-54
5885	CONCESSÃO	EB	2P	O-Q / 50-51

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
5890	CONCESSÃO	EB	2P	O-Q / 50-53
5915	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 52-53
5920	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 51-52
5925	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 50-51
5932	SAGUÃO	EB	2P	O-P / 48-49
5933	SAGUÃO	EB	2P	O-P / 49-50
5934	SAGUÃO CENTRAL	EB	2P	N-O / 48-50
5935	ÁREA PROMOCIONAL	EB	2P	M-N / 49-50
5940	ÁREA PROMOCIONAL	EB	2P	M-N / 49-50
5945	ÁREA PROMOCIONAL	EB	2P	M-N / 48-49
5950	ÁREA PROMOCIONAL	EB	2P	M-N / 48-49
5951	SAGUÃO	EB	2P	M-N / 48-49
5952	SAGUÃO	EB	2P	M-N / 49-50
5953	SAGUÃO CENTRAL	EB	2P	N-O / 48-50
5960	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 47-48
5965	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 45-47
5966	SEL – 20	EB	2P	M-N / 45-46
5970	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 44-45
5975	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 43-44
5980	CONCESSÃO	EB	2P	M-N / 42-43
5981	CIRCULAÇÃO	EB	2P	O-P / 50-54
5982	CIRCULAÇÃO	EB	2P	M-N / 50-54
5983	CIRCULAÇÃO	EB	2P	N-O / 50-53
5984	ÁREA MESSAS	EB	2P	N-O / 53-54
6000	SALA TRANSMISSÃO	EB	CB	O-P / 51-52
6010	SALA TRANSMISSÃO	EB	CB	O-P / 52-53
8000	CIRCULAÇÃO	CN	1P	S-T / 19-34
8010	SALA EMBARQUE	CN	1P	R-T / 19-34
8020	SALA EMBARQUE	CN	1P	R-S / 19-34
8030	CIRCULAÇÃO	CN	1P	S-T / 34-42
8040	SALA EMBARQUE	CN	1P	R-T / 34-39
8050	CIRCULAÇÃO	CN	1P	R-S / 34-39

ZONA	DENOMINAÇÃO DO AMBIENTE	PRÉDIO	PISO	LOCALIZAÇÃO (EIXOS)
8051	SALA DESEMBARQUE	CN	1P	R-T / 39-40
8052	SAGUÃO DESEMBARQUE	CN	1P	R-T / 40-41
8053	SAGUÃO EMBARQUE	CN	1P	R-T / 41-42
8055	SAGUÃO EMBARQUE	CN	1P	R-T / 42-44
8060	CIRCULAÇÃO	CN	1P	S-T / 42-48
8070	SALA EMBARQUE	CN	1P	R-T / 44-48
8080	CIRCULAÇÃO	CN	1P	R-S / 45-48
8081	CIRCULAÇÃO	CN	1P	R-S / 44-45
8082	CIRCULAÇÃO	CN	1P	R-S / 47-48
8085	CIRCULAÇÃO	CN	1P	S-T / 48-54
8090	SALA EMBARQUE	CN	1P	R-T / 48-54
8095	CIRCULAÇÃO	CN	1P	R-S / 48-54
8200	SEL – 22	CN	TR	S / 26A
8210	SEL – 23	CN	TR	S / 45
8220	SEL – 24	CN	TR	S / 50
8310	EMPRESA HANDLING	CN	TR	S / 31A-34
8320	EMPRESA HANDLING	CN	TR	S / 34
8330	EMPRESA HANDLING	CN	TR	S / 34-36A
9000	PONTE DE EMBARQUE	PT	MZ	19-21A
9005	PONTE DE EMBARQUE	PT	MZ	26A-29
9010	PONTE DE EMBARQUE	PT	MZ	34-36A
9015	PONTE DE EMBARQUE	PT	1P	40-42
9020	PONTE DE EMBARQUE	PT	1P	43-45
9025	PONTE DE EMBARQUE	PT	1P	47-48
9030	PONTE DE EMBARQUE	PT	1P	50-51
9035	PONTE DE EMBARQUE	PT	1P	53-54

4. RESULTADOS DA CARGA TÉRMICA

4.1 Carga Térmica Máxima

Resultaram os seguintes valores máximos (cargas pico) da capacidade térmica dos diversos setores do Terminal de Passageiros do Aeroporto de Santos-Dumont, sendo estes valores utilizados no dimensionamento dos condicionadores de ar, ou dos pontos de suprimento de água gelada para as concessões comerciais, governamentais e da administração e operação do aeroporto.

Desta forma, estes condicionadores possuirão a competência de atender aos ambientes e seus ocupantes de forma satisfatória na ocorrência de situação de extrema de incidência de cargas externas e internas dos ambientes atendidos por estes condicionadores de ar.

Na elaboração dos cálculos foram considerados para cada ambiente os máximos valores de ocupação de pessoas, hora do dia de maior temperatura externa para os ambientes periféricos à edificação, de modo que as cargas devidas às paredes e vidros representassem a condição de maior ganho térmico, a maior taxa de iluminação e de calor dissipada por equipamentos na sua maior intensidade de operação.

O resumo dos resultados das cargas máximas abaixo listadas, poderá ser confirmado no conjunto de memoriais da carga térmica anexos no item 5.

Desembarque	
Carga Parcial do Subsolo	19,9 TR
Carga Parcial do Térreo	185,5 TR
Carga Parcial do Mezanino	112,2 TR
Carga Parcial do 1º Pavimento	240,7 TR
Carga Parcial do 2º Pavimento	275,0 TR
Carga Total do Desembarque	833,3 TR

Torre de Controle	
Carga Parcial do Subsolo	1,5 TR

Carga Parcial do Térreo	8,3 TR
Carga Parcial do Mezanino	16,3 TR
Carga Parcial do 1º Pavimento	20,3 TR
Carga Parcial do 2º Pavimento	17,2 TR
Carga Parcial da Cobertura	17,5 TR
Carga Total da Torre de Controle	81,1 TR

Embarque	
Carga Parcial do Subsolo	22,1 TR
Carga Parcial do Térreo	196,6 TR
Carga Parcial do Mezanino	31,9 TR
Carga Parcial do 1º Pavimento	256,1 TR
Carga Parcial do 2º Pavimento	244,5 TR
Carga Total do Embarque	751,2 TR

Conector e Pontes de Embarque	
Carga Parcial do Conector	336,7 TR
Carga Parcial das Pontes de Embarque	46,7 TR
Carga Total do Conector + Pontes de Embarque	383,4 TR

Resumo do Terminal de Passageiros	
Carga Total do Terminal de Passageiros (Embarque + Desembarque + Torre de Controle + Conector + Pontes de Embarque)	2.049,0 TR

4.2 Carga Térmica Simultânea

Resultaram os seguintes valores de carga térmica simultânea com a interação de ocupação humana e de cargas de equipamentos relacionadas à utilização dos ambientes.

O procedimento de cálculo levou em consideração a simultaneidade de ocupação de pessoas e cargas de equipamentos em ambientes distintos, por exemplo Sala de Restituição de Bagagem no Prédio Desembarque (que estaria com ocupação mínima, após a chegada de um voo), ao mesmo tempo em que outro ambiente, por exemplo o Salão de Check-in, no Prédio de Embarque, estaria em ocupação máxima por estar atendendo a passageiros de voos próximos a serem liberados.

Como a interação de todas as diversas hipóteses demandaria uma infinidade de cálculos, sendo muitos deles não utilizáveis do ponto de vista prático, pois a simultaneidade de baixo carregamento de ocupação e cargas de equipamentos ao mesmo tempo em todos os ambientes, e em horários em que as condições externas são favoráveis, resultam em valores que a central de água gelada não deve ser dimensionada pois qualquer variação a maior superaria estes valores.

Portanto, nos concentramos em calcular estas diversidades de ocupação de público e funcionários do aeroporto e das variações ponderáveis dos fatores externos nos períodos críticos do dia, cotejando ambientes com baixa ocupação em momentos de cargas externas apreciáveis com ambientes com alta ocupação e baixas cargas externas, e utilizando os valores maiores destas cargas nos mesmos horários e períodos do ano (meses).

Existem ambientes que a simultaneidade é óbvia tais como : as pontes de embarque em que a carga simultânea e a máxima são muito próximas pois é um típico local em que a permanência dos ocupantes no seu interior é muito curta, e em função de suas características construtivas (forte presença de superfícies envidraçadas) a carga devida aos fatores externos (neste caso insolação) é a mandatória; de outro lado um ambiente em que também por razões construtivas (fortíssima presença de superfícies envidraçadas) a carga devida aos fatores externos é sem dúvida ponderável, porém como a ocupação de passageiros também é muito apreciável (porém muito flutuante ao longo do dia) a carga simultânea tende a ser inferior que a carga pico, pois a ocupação máxima tende a ocorrer em horários do dia em que as condições externas são favoráveis, e a

carga térmica residual do envoltório do ambiente (vidro) possui um grau de retenção de calor muito inferior que os materiais convencionais de construção (tijolos, concreto, etc).

Os valores parciais e sua distribuição ao longo de todos os horários do dia e a ao longo de todos os meses do ano por sistema grupado, podem ser apreciados sistema a sistema, e no conjunto de resultados de calculo dos memoriais da carga térmica, anexos no item 6.

O tabelamento final de todos os prédios, e de todos os pavimentos está resumido nos quadros abaixo.

Desembarque	
Carga Parcial do Subsolo	16,0 TR
Carga Parcial do Térreo	133,5 TR
Carga Parcial do Mezanino	96,8 TR
Carga Parcial do 1º Pavimento	211,7 TR
Carga Parcial do 2º Pavimento	270,1 TR
Carga Total do Desembarque	728,1 TR

Torre de Controle	
Carga Parcial do Subsolo	1,4 TR
Carga Parcial do Térreo	8,2 TR
Carga Parcial do Mezanino	11,4 TR
Carga Parcial do 1º Pavimento	16,6 TR
Carga Parcial do 2º Pavimento	14,4 TR
Carga Parcial da Cobertura	14,1 TR
Carga Total da Torre de Controle	66,1 TR

Embarque	
Carga Parcial do Subsolo	21,2 TR

Carga Parcial do Térreo	121,2 TR
Carga Parcial do Mezanino	27,0 TR
Carga Parcial do 1º Pavimento	164,5 TR
Carga Parcial do 2º Pavimento	193,3 TR
Carga Total do Embarque	527,2 TR

Conector e Pontes de Embarque	
Carga Parcial do Conector	287,0 TR
Carga Parcial das Pontes de Embarque	45,5 TR
Carga Total do Conector + Pontes de Embarque	332,5 TR

Resumo do Terminal de Passageiros	
Carga Total do Terminal de Passageiros (Embarque + Desembarque + Torre de Controle + Conector + Pontes de Embarque)	1.653,9 TR

4.3 Resultado da Carga Térmica

Os resultados acima indicam que a carga máxima simultânea é da ordem de 1.654 TR, sendo este valor que será levado em consideração para dimensionar os equipamentos da central de água gelada.

Os valores da carga máxima serão utilizados no dimensionamento dos condicionadores de ar e pontos de suprimento de água gelada para as Concessões, de modo a garantirem a capacidade frigorífica para as situações de pico destes ambientes.

Entendemos que como todo o Terminal de Passageiros foi computado no cálculo da carga térmica, praticamente não existem ambientes que possam ser condicionados no futuro, portanto uma folga da ordem de dez por cento (10%), acrescida à carga máxima simultânea, seja perfeitamente confortável para atender o decaimento da eficiência dos equipamentos de produção de água

gelada ao longo do tempo, e eventuais acréscimos de carga de usuários, particularmente os Concessionários Comerciais.

Deve-se considerar que o cálculo da carga térmica levou em consideração uma condição agressiva ao Terminal de Passageiros, seja como ocupação humana, seja como equipamentos, portanto a folga não pretende cobrir excessos eventuais quanto aos ambientes.

Portanto, com uma folga de dez por cento (10%), a Central de Água Gelada deverá administrar uma capacidade de 1.800 TR.

5. MEMÓRIA DE CÁLCULO – valores máximos

Para o cálculo da Carga Térmica de Resfriamento, foi utilizado o método de cálculo da ASHRAE (Cooling Load Method 2 – 1985 - ASHRAE CLTD/CLF), através do programa computadorizado “Load Design Analysis – CDS” , conforme os resumos finais de cálculo, anexos a seguir.

Os resumos finais anexos constituem as várias memórias de calculo que foram elaboradas pavimento a pavimento e prédio a prédio, de modo que eventuais alterações no lay-out de arquitetura e/ou alteração de uso dos ambientes, possam ser facilmente recalculados, além de se dispor assim de uma base de dados detalhada de cada um dos ambientes, que permitirá no futuro decidir alterações com muito controle do sistema como um todo, principalmente se remanejamentos de cargas se fizerem necessários.

Em cada resumo de cálculo de cada pavimento, existe inicialmente uma listagem de todos os ambientes que foram considerados na apuração da carga térmica, agrupados em sistemas que irão constituir condicionadores que atenderão a estes grupos de ambientes, ou apenas as cargas térmicas que deverão ser atendidas por suprimento de água gelada no caso de concessões comerciais ou de órgãos governamentais.

Apresentamos também para cada sistema conforme acima definido, uma listagem da contribuição de cada tipo de carga que constitui a capacidade térmica do sistema (paredes, pisos, tetos, vidros, iluminação, pessoas, cargas devidas a equipamentos, cargas decorrentes das taxas de ar exterior, etc), de modo que

novamente se possua uma ferramenta gerencial na oportunidade em que se deverá tomar decisões de alteração ou modificações no futuro.

