

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MARINA SILVA TOMÉ

**INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE PARA
EDIFICAÇÕES ANTÁRTICAS NOS ASPECTOS REFERENTES À
QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO**

VITÓRIA
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MARINA SILVA TOMÉ

**INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE PARA
EDIFICAÇÕES ANTÁRTICAS NOS ASPECTOS REFERENTES À
QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração Patrimônio, Sustentabilidade e Tecnologia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Cristina Engel de Alvarez
Coorientador: Prof. Dr. Luis Brangança

VITÓRIA

2017

MARINA SILVA TOMÉ

“INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE PARA EDIFICAÇÕES
ANTÁRTICAS NOS ASPECTOS REFERENTES À QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração Patrimônio, Sustentabilidade e Tecnologia.

Aprovada em 03 de agosto de 2017.

Comissão Examinadora

Prof^a. Dr^a. Cristina Engel de Alvarez
(Orientadora – PPGAU/UFES)

Prof. Dr. Luis Bragança
(Coorientador – UMinho)

Prof^a. Dr^a. Edna Aparecida Nico Rodrigues
(Membro interno – PPGAU/UFES)

Prof^a. MSc. Dielly Christine Guedes Montarroyos
(Membro externo – FAESA)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser a minha rocha de sustentação;

À Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez, orientadora e referência, pela oportunidade concedida e pela paciência. Obrigada por sua dedicação para a minha formação;

Ao Prof. Dr. Luis Bragança, por dispor de seu tempo para coorientar este trabalho;

À Profa. Dra. Edna, professora e avaliadora, pela contribuição durante o processo sempre acompanhada de um sorriso;

Aos meus pais, pela base, pelo amor incondicional e por serem minha maior torcida;

Ao meu esposo, por me incentivar diariamente e me acompanhar nessa trajetória tornando-a mais leve;

A todos os amigos do Laboratório de Planejamento e Projetos, responsáveis pelos agradáveis momentos de confraternização, em especial a Gleica, Malena, Daniela e Wagner;

Às minhas queridas amigas do mestrado, Stella e Rhaina, pela companhia e pelo ombro amigo, e à Dielly, por desempenhar esse papel, sendo também responsável por auxiliar minha pesquisa;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo;

À FAPES pela bolsa concedida.

RESUMO

Sabe-se que as pessoas passam a maior parte de suas vidas em ambientes internos. Essa realidade torna-se ainda mais acentuada na Antártica devido às severas condições ambientais características do continente, como os fortes ventos e as baixas temperaturas, que devem ser resolvidas em concordância com a preservação de seu ecossistema. Tais fatores atribuem à arquitetura a função de garantir ambientes seguros e saudáveis, e pautados nas estratégias do desenvolvimento sustentável. A qualidade do ambiente interno é um objetivo amplamente abordado pelas ferramentas de avaliação da sustentabilidade de edifícios. O conforto térmico, lumínico, acústico, e a qualidade do ar são aspectos importantes relacionados ao desempenho de um edifício sustentável porque eles possuem efeito direto no conforto, saúde e produtividade dos usuários. Tais efeitos são, muitas vezes, complexos e podem ter impacto de curto a longo prazo sobre os indivíduos. Assim, a pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento e aprimoramento dos indicadores de avaliação de sustentabilidade para edificações antárticas propostos por Montarroyos (2015), com foco nos aspectos concernentes às questões da qualidade do ambiente interno. Para tal, os procedimentos metodológicos foram divididos nas seguintes etapas: revisão bibliográfica dos aspectos relevantes sobre a Antártica e a sustentabilidade na construção civil; revisão e seleção dos indicadores para a qualidade do ambiente interno; definição, conceituação e ponderação dos indicadores a partir de metodologia específica; e análise dos resultados. Como resultado, foram obtidos 15 indicadores para a qualidade do ambiente interno, elaborados a partir das condições e necessidades inerentes ao Continente Antártico, e em conformidade com normas e pesquisas científicas sobre os temas trabalhados.

Palavras-chave: qualidade do ambiente interno, indicadores de sustentabilidade, Antártica.

ABSTRACT

It is known that people spend most of their lives indoor. This reality becomes even more pronounced in Antarctica due to the severe environmental conditions characteristic of the continent, such as strong winds and low temperatures, which must be resolved in accordance with the preservation of its ecosystem. These factors give the architecture professional the function of ensuring safe and healthy environments, based on sustainable development strategies. Quality of the internal environment is a goal widely addressed by environmental assessment tools. Thermal comfort, light, acoustic, and air quality are important aspects related to the performance of a sustainable building because they have a direct effect on the comfort, health and productivity of the users. Such effects are often complex and may have short to long-term impact on individuals. The objective of this research is the development of sustainability assessment indicators for Antarctic buildings proposed by Montarroyos (2015), with a focus on aspects related to quality of the internal environment issues. To this end, the methodological procedures were divided in the following stages: bibliographic review of the relevant aspects about Antarctica and sustainability in the civil construction; review and selection of indicators for quality of the internal environment; definition, conceptualization and weighting of indicators; and analysis of results. As a result, 15 indicators were obtained, based on the conditions and needs inherent to the Antarctic Continent, and in accordance with norms and scientific research on the themes studied.

Keywords: Quality of the internal environment, sustainability indicators, Antarctica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das áreas máxima e mínima do congelamento dos mares.....	25
Figura 2 - Mapa do continente Antártico com a demarcação das áreas de atuação do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).....	26
Figura 3 - Direção dos ventos Antárticos	28
Figura 4 - Comparação da velocidade do vento no inverno e verão Antártico.....	28
Figura 5 - Trajetória solar na Estação Concordia (imagem obtida de 2 em 2 horas durante o verão).....	29
Figura 6 - Pinguim imperador em meio a pinguineira (à esquerda) e de focas de Weddell (à direita)	30
Figura 7 - Cabana de Robert F. Scott	32
Figura 8 - O antigo domo da Estação Amundsen-Scott.....	32
Figura 9 - Princess Elizabeth Station.....	32
Figura 10 - Maquete eletrônica das novas edificações da EACF.....	32
Figura 11 - Estação Antártica Comandante Ferraz.....	35
Figura 12 - Maquete eletrônica das novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz - Brasil.....	37
Figura 13 - Princess Elisabeth Antarctica Research Station	38
Figura 14 - Estação Halley VI – Reino Unido	38
Figura 15 - Estação Bharati - Índia.....	39
Figura 16 - Maquete eletrônica da Estação Juan Carlos I - Espanha.....	39
Figura 17 - Carta solar na latitude da Estação Antártica Comandante Ferraz.....	43
Figura 18 - Os eventos que marcaram a trajetória global da sustentabilidade	48
Figura 19 - Síntese da metodologia proposta	61
Figura 20. Painel de avaliação utilizado na metodologia de ponderação do SBTool Genérico.....	66
Figura 21 - Comparações de tamanho das partículas.....	77
Figura 22. Critérios para a seleção do material de isolamento.....	98
Figura 23. Gráfico com a representação dos pesos obtidos nas 5 subcategorias	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definição dos principais termos relacionados com a sustentabilidade de edifícios.....	54
Quadro 2 - Nível de desempenho padrão das marcas de referência.....	65
Quadro 3 - Pontuação do grau de Impacto.....	67
Quadro 4 - Conceituação dos termos abordados no isolamento térmico.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de tipos de filtro MERV.....	72
Tabela 2 - Guia geral de seleção baseado na eficiência.....	73
Tabela 3 - Categorização dos compostos orgânicos voláteis.....	80
Tabela 4 - Limites estabelecidos para a temperatura interna do ar.....	87
Tabela 5 - Limites estabelecidos para transmitância térmica dos materiais.....	97
Tabela 6 - Resultado dos pesos dos indicadores da QAI.....	106
Tabela 7 - Resultado dos pesos dos indicadores de conforto visual.....	106
Tabela 8 - Resultado dos pesos dos indicadores de conforto térmico.....	107
Tabela 9 - Resultado dos pesos dos indicadores de isolamento acústico.....	108
Tabela 10 - Resultado dos pesos dos indicadores de emissão eletromagnética.....	110

LISTA DE SIGLAS

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*

BRE – *Building Research Establishment*

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*

COVM - Compostos Orgânicos Voláteis Microbiológicos

DVC - *Demand Controlled Ventilation*

EACF – Estação Antártica Comandante Ferraz

ELF - Extremely low frequency

FI - *Intermediate frequency fields*

HVAC - *Heating, Ventilation and Air Conditioning*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

MAE – Módulos Antárticos Emergenciais

MP - Material Particulado

PROANTAR – Programa Antártico Brasileiro

QAI – Qualidade do ar interno

RF - *Radiation fields*

SED - Síndrome do Edifício Doente

SVOC - *Semi-volatile Organic Compounds*

TVOC - *Total Volatile Organic Compounds*

VOC - *Volatile Organic Compounds*

VVOC - *Very Volatile Organic Compounds*

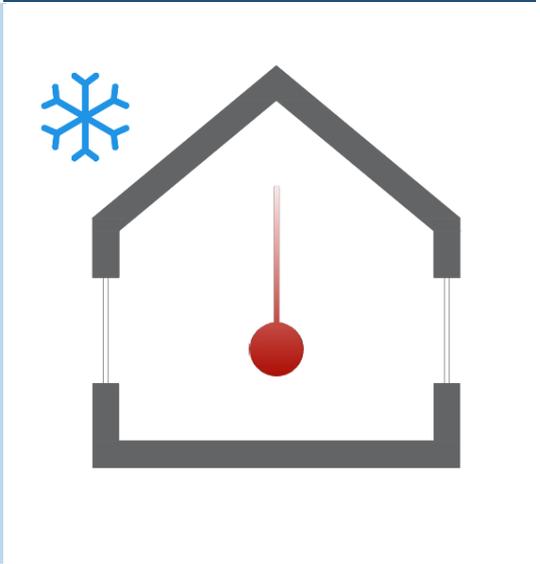
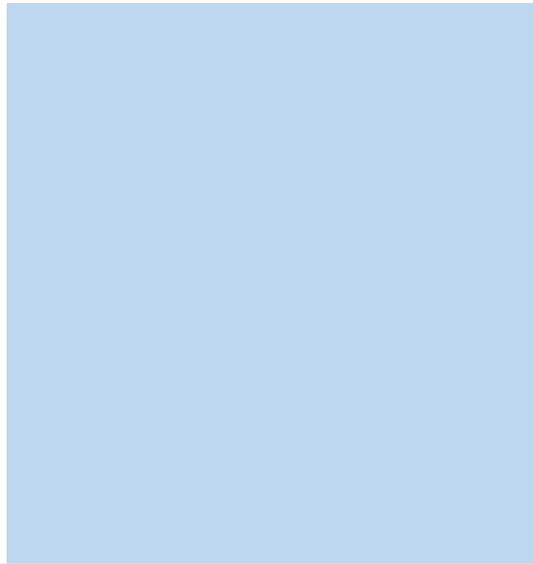
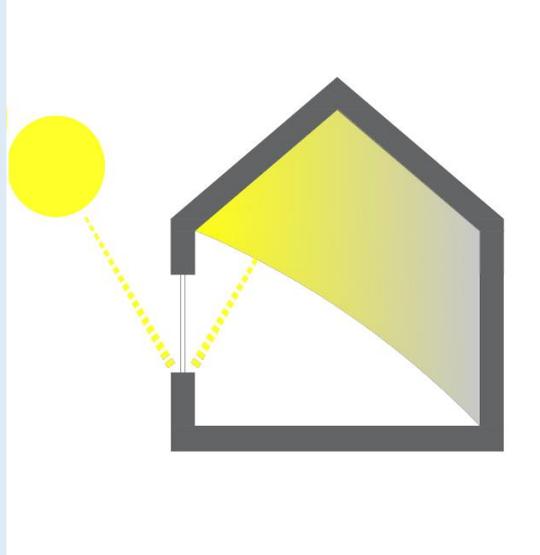
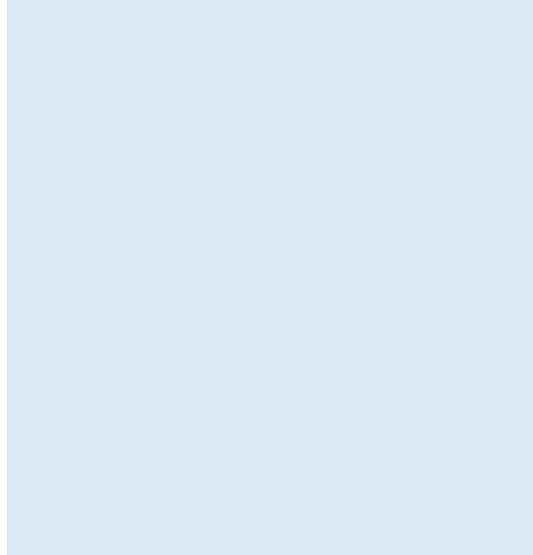
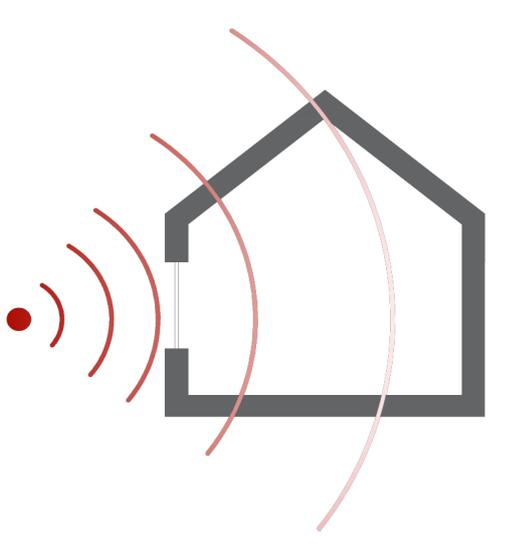
WHO - *World Health Organization*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
CAPÍTULO 2 - ANTÁRTICA	21
2.1 HISTÓRIA	21
2.1.1 O INTERESSE NO CONTINENTE	22
2.1.2 REGULAMENTOS	24
2.2 GEOGRAFIA	24
2.2.1 CLIMA	26
2.2.2 FAUNA E FLORA	29
2.2.3 POPULAÇÃO E ECONOMIA	30
2.3 ARQUITETURA NA ANTÁRTICA	31
2.3.1 ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ (EACF)	33
2.3.2 SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS ADOTADAS EM ESTAÇÕES REFERENCIAIS	37
CAPÍTULO 3 - SUSTENTABILIDADE	48
3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	50
3.2 FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS	52
3.2.1 BREEAM - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD	55
3.2.2 LEED - LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN	55
3.2.3 CASBEE - COMPREHENSIVE ASSESSMENT SYSTEM FOR BUILDING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY	56
3.2.4 AQUA - ALTA QUALIDADE AMBIENTAL	57
3.2.5 ASUS - AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	57
3.2.6 SBT TOOL - SUSTAINABLE BUILDING TOOL	58
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA	61
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	62
4.2 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES	63
4.2.1 SELEÇÃO DE INDICADORES PARA A QUALIDADE DO AMBIENTE INTERNO	63
4.2.2 DESENVOLVIMENTO DO INDICADOR	64
4.2.3 DEFINIÇÃO DAS MARCAS DE REFERÊNCIA	64
4.2.4 ATRIBUIÇÃO DOS PESOS	65
4.3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
4.4 AVALIAÇÃO DO TRABALHO	68

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS	70
5.1 QUALIDADE DO AR	70
5.1.1 QUANTIDADE DE RENOVAÇÕES DO AR POR UNIDADE DE TEMPO	70
5.1.2 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FILTRAGEM DO AR INTERIOR	71
5.1.3 NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	78
5.1.4 NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS	80
5.1.5 NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE FUNGOS NO AR	83
5.1.6 TEMPERATURA E UMIDADE DO AR	85
5.2 CONFORTO VISUAL	88
5.2.1 QUANTIDADE E UNIFORMIDADE DA LUZ NATURAL NO AMBIENTE INTERNO	88
5.2.2 QUANTIDADE E UNIFORMIDADE DA LUZ ARTIFICIAL NO AMBIENTE INTERNO	91
5.2.3 INTEGRAÇÃO VISUAL DO AMBIENTE INTERNO AO EXTERNO	92
5.3 CONFORTO TÉRMICO	93
5.3.1 PARTIDO ARQUITETÔNICO QUE POTENCIALIZA A CONSERVAÇÃO DO CALOR	93
5.3.2 PROPOSIÇÃO DE TÉCNICA CONSTRUTIVA E MATERIAIS QUE OTIMIZEM O ISOLAMENTO TÉRMICO	95
5.3.3 CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	98
5.4 ACÚSTICA	100
5.4.1 TRANSMISSÃO SONORA ENTRE AMBIENTES	100
5.4.2 MEDIDAS DE ATENUAÇÃO DOS RÚIDOS ORIUNDOS DE EQUIPAMENTOS PARA O INTERIOR DOS AMBIENTES SOCIAIS E PRIVATIVOS	102
5.5 EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS	103
5.5.1 CONTROLE DOS NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	103
5.6 PONDERAÇÃO DE RELEVÂNCIA	105
5.7 OBSERVAÇÕES ADICIONAIS	110
A. QUALIDADE DO AR INTERNO	112
A1. QUANTIDADE DE RENOVAÇÕES DO AR POR UNIDADE DE TEMPO	112
A2. UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FILTRAGEM DO AR INTERIOR	114
A3. NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	116
A4. NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS	118
A5. NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE FUNGOS NO AR	121
A6. TEMPERATURA E UMIDADE DO AR	123
B. CONFORTO VISUAL	127
B1. QUANTIDADE E UNIFORMIDADE DA LUZ NATURAL NO AMBIENTE INTERNO	127
B2. QUANTIDADE E UNIFORMIDADE DA LUZ ARTIFICIAL NO AMBIENTE INTERNO	129
B3. INTEGRAÇÃO VISUAL DO AMBIENTE INTERNO AO EXTERNO	131
C. CONFORTO TÉRMICO	134
C1. PARTIDO ARQUITETÔNICO QUE POTENCIALIZA A CONSERVAÇÃO DO CALOR INTERNO	134
C3. CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	138

D. ISOLAMENTO ACÚSTICO	141
D1. TRANSMISSÃO SONORA ENTRE AMBIENTES	141
D2. MEDIDAS DE ATENUAÇÃO DOS RUÍDOS ORIUNDOS DE EQUIPAMENTOS PARA O INTERIOR DOS AMBIENTES SOCIAIS E PRIVATIVOS	144
E. EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS	147
E1. CONTROLE DOS NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	147
<u>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	<u>150</u>
<u>REFENCIAL BIBLIOGRÁFICO</u>	<u>154</u>
<u>ANEXO A</u>	<u>173</u>



INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Construir na Antártica significa lidar com as particularidades de um ambiente rigoroso, de difícil acesso e com ausência de matérias primas, o que, por vezes, representa obstáculos no processo construtivo. Soma-se a isso, a fragilidade do ambiente e a preocupação com os possíveis impactos causados pela presença humana, como a perturbação à fauna, a degradação da flora, a contaminação do solo e mar através de vazamentos de óleo ou pelo manejo incorreto de resíduos, entre outros.

Comumente descrito como a "Terra dos Superlativos" por ser o continente mais seco, mais frio, mais ventoso, mais remoto, de maior superfície média e o mais preservado entre todos os continentes, essas características tornam a Antártica um dos locais que apresentam as mais severas condições de habitabilidade do planeta (ALVAREZ, 1995).

Entender as particularidades do continente tem fundamental importância para a construção sustentável, visto que as condições citadas possuem influência direta no desempenho do edifício e para o conforto e segurança do usuário (MONTARROYOS, 2015).

Tornando-se um tema em foco a partir da década de 70 do século passado, o desenvolvimento sustentável começou a ser abordado como resultado da crise mundial do petróleo. Através da crise energética instaurada, teve início a preocupação com os impactos ambientais causados pelo homem e a busca por fontes energéticas para edificações mais eficientes (SOUZA, 2008).

Embora essa busca tenha resultado em diversas ferramentas de avaliação de sustentabilidade, esses instrumentos, em sua maioria, foram desenvolvidos para centros urbanos densificados (MONTARROYOS, 2015) e centrados na questão ambiental. Observa-se que, mesmo considerando a avaliação de edificações inseridas nas cidades, deve-se considerar, também, a realidade econômica e social local, bem como as particularidades que cada região apresenta.

Nesse sentido, a importância do trabalho baseia-se na ausência de uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade desenvolvida em concordância com as características locais, principalmente quando direcionada para um local diferenciado como a Antártica.

Além das questões construtivas, a preocupação com o impacto sobre a saúde e o bem-estar do usuário tornou-se um importante tema de pesquisa na área da Saúde Pública a partir de 1970 (SOUZA, 2008). Assim, como uma das vertentes abordadas nos aspectos da sustentabilidade, a qualidade do ambiente interno torna-se fundamental em um ambiente hostil, onde a sensação de conforto/desconforto do usuário ganha proporções ainda maiores devido às condições extremas do local.

Dessa forma, o atendimento de diretrizes e recomendações referentes à qualidade do ambiente interno visam orientar para a forma mais adequada de resolução de questões como a qualidade do ar interno; o conforto visual, acústico e térmico; entre outros fatores.

Diante dos aspectos apresentados, a pesquisa visa o desenvolvimento das estratégias que devem ser adotadas para auxiliar a proposição de edificações antárticas mais sustentáveis e eficientes, considerando especificamente os aspectos relacionados à qualidade do ambiente interno.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Yeang (2000, p. 110), “toda atividade humana tem um potencial de perturbação no meio”. Alicerçadas na preocupação com os impactos causados pela ação humana no ambiente, as ferramentas de avaliação de sustentabilidade tornaram-se um mecanismo fundamental na produção de edifícios mais sustentáveis.

Apesar de possuírem métodos conceituados, sabe-se que as ferramentas de avaliação são desenvolvidas para atenderem as necessidades do meio para qual foram planejadas (KIBERT; CHIN; LANGUELL, 2005). Ao se elegerem prioridades e objetivos de avaliação, as diferenças ambientais, climáticas, culturais, sociais e econômicas possuem uma influência direta na metodologia proposta (SILVA, 2007, ALYAMI; REZGUI, 2012). Existe, ainda, a relação que cada indicador possui com as características do local avaliado, resultando em pesos adaptados à realidade de cada local (MATEUS; BRAGANÇA, 2011).

Deve-se considerar, também, que a grande maioria das ferramentas desenvolvidas se preocupam com questões ligadas aos centros urbanos densificados, o que representa uma realidade completamente distinta do Continente Antártico. Sabe-se que além de ser uma área de interesse ambiental, a Antártica apresenta um meio sensível à ocupação humana, resultando em um esforço internacional conjunto para monitorá-la e preservá-la (ALVAREZ, 1995; MONTARROYOS, 2015).

Nesse contexto é possível citar o trabalho desenvolvido por Montarroyos (2015), onde foram propostos indicadores de sustentabilidade em conformidade com as particularidades do Continente. Esse trabalho, entretanto, foi desenvolvido somente até a especificação dos indicadores e sem a definição das metodologias relacionadas, sendo então proposto a continuidade do mesmo, especificamente em relação à qualidade e sustentabilidade do ambiente interno. Esse recorte deve-se ao fato de já existirem vários instrumentos, sejam nacionais ou internacionais, que buscam controlar as questões inerentes ao impacto ambiental, sendo então considerado como outro tema de importância na Antártica, os aspectos relacionados ao conforto e saúde do usuário. Observa-se, ainda, os resultados obtidos por Pagel (2016), que alertaram sobre os riscos no uso de determinados materiais e, também, de hábitos estabelecidos pelos usuários em ambientes confinados como ocorrem na Antártica, reiterando a necessidade de estudos aprofundados relacionados à QAI.

Existe ainda o agravante das condições extremas potencializarem as situações de conforto/desconforto do usuário (MONTARROYOS, 2015), sendo um fator adicional de estresse o enclausuramento em que os usuários são submetidos devido à necessidade de abrigo ao se estar no continente. Consequentemente, as edificações representam o local de trabalho, lazer e descanso, simultaneamente, e o confinamento por longos períodos pode resultar na sensação de desconforto e estresse psicológico do usuário (ALVAREZ, 1995; PALINKAS et al., 2014).

Dessa forma, o desenvolvimento dos indicadores para a qualidade do ambiente interno permite considerar as questões relacionadas com a sustentabilidade e o conforto do usuário, buscando assegurar a criação de um ambiente que auxilie no atendimento de suas condições físicas e psicológicas, em edificações que também considerem a necessidade de preservação do Continente.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa foi desenvolver e aprimorar os indicadores de avaliação de sustentabilidade para edificações antárticas proposto por Montarroyos (2015), com foco nos aspectos concernentes às questões da qualidade do ambiente interno. Espera-se que os indicadores contribuam para as tomadas de decisão realizadas na etapa de projeto, incentivando e auxiliando a proposição de edificações mais sustentáveis.

Sendo apenas uma parte dos vários aspectos que devem ser analisados para verificação da sustentabilidade, não se pretende aqui definir uma metodologia para certificação de edifícios, mas desenvolver um conjunto de indicadores que, para a composição de uma ferramenta específica ao continente, devem ser desenvolvidos como um todo.

Para o atendimento do objetivo geral, os objetivos específicos foram:

- Revisar a literatura disponível para a compreensão dos aspectos diferenciados do ambiente Antártico, bem como dos conceitos inerentes aos estudos relacionados à sustentabilidade de edifícios;
- Analisar os principais e reconhecidos métodos de avaliação de sustentabilidade existentes, selecionando as características similares entre os indicadores de qualidade do ambiente interno;
- Analisar os indicadores propostos por Montarroyos (2015), obtendo-se a lista final de indicadores a partir de critérios de seleção pré-estabelecidos, conceituando-os individualmente quanto ao aspecto abordado, objetivo, e procedimento de avaliação;
- Propor indicadores passíveis de serem aplicados para a situação específica da Antártica através de uma metodologia flexível de aplicação, considerando as questões relacionadas ao conforto do usuário e, também, os possíveis impactos ambientais.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi organizada em 7 capítulos, conforme a seguir detalhado:

O **capítulo 01** refere-se à introdução, apresentando-se a contextualização, justificativas, objeto da pesquisa, objetivos geral e específicos e a estrutura da dissertação.

O **capítulo 02** contempla a revisão do estado da arte sobre o Continente Antártico. São abordados os aspectos referentes a história, geografia, economia, população, fauna e flora, e a arquitetura que vem sendo produzida desde o início da ocupação humana.

O **capítulo 03** traz a revisão bibliográfica acerca das questões que englobam a sustentabilidade de edifícios, com especial enfoque para as ferramentas de avaliação de sustentabilidade.

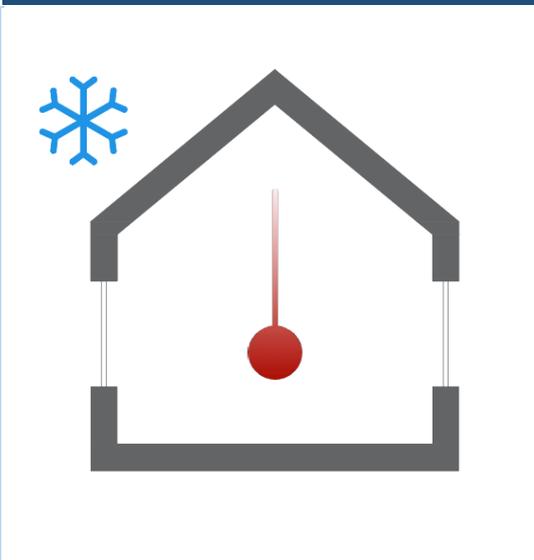
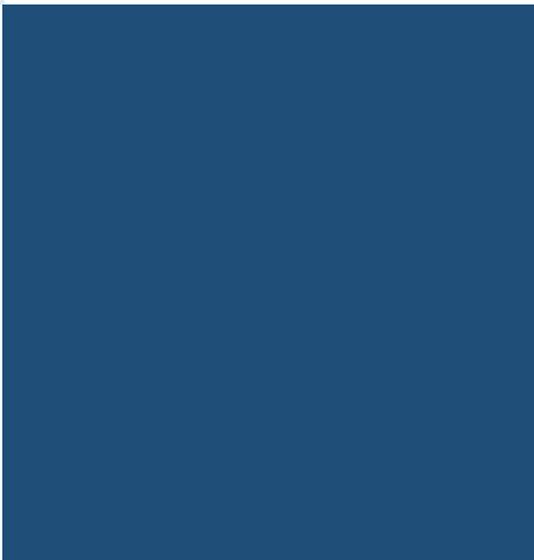
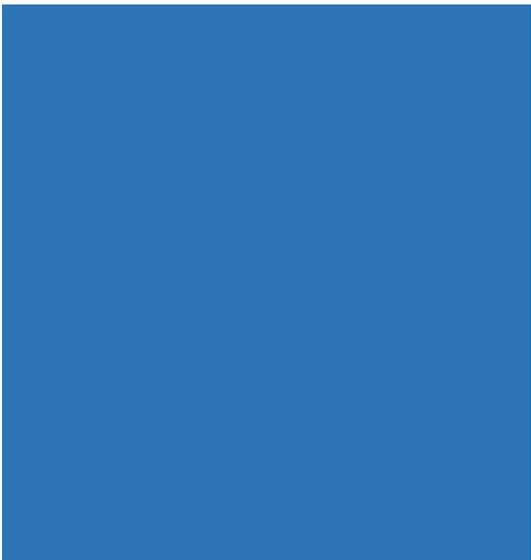
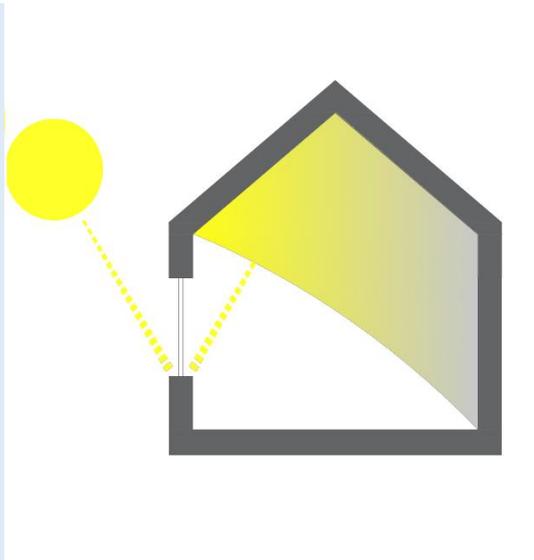
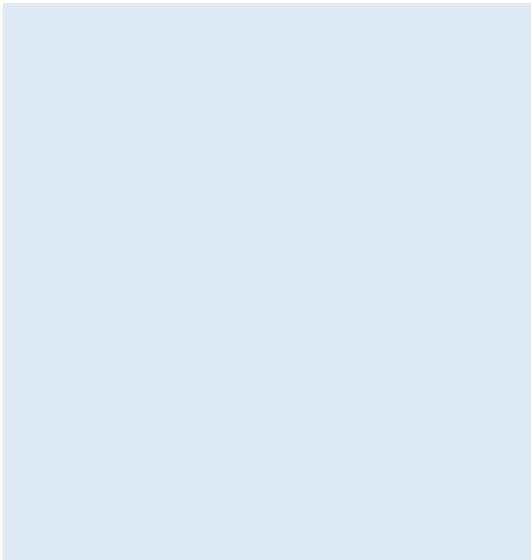
O **capítulo 04** contempla a descrição dos procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento do trabalho, caracterizando o objeto de estudo e apresentando estratégias e métodos utilizados para o alcance do objetivo geral da pesquisa.

O **capítulo 05** apresenta os resultados alcançados e, portanto, o atendimento do objetivo proposto no trabalho, ou seja, o desenvolvimento dos indicadores para a qualidade do ambiente interno com a respectiva ponderação obtida. O capítulo é finalizado com a apresentação e organização final da lista de indicadores desenvolvidos.

O **capítulo 06** finaliza o trabalho com as considerações finais, avaliando se os objetivos estabelecidos foram alcançados, e com sugestões para a continuidade da pesquisa.

Posteriormente encontram-se as referências utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, o **anexo A** apresenta a lista completa de indicadores propostos por Montarroyos (2015).



ANTÁRTICA

2. ANTÁRTICA

O Continente Antártico detém a maior área protegida no mundo devido sua distância de potenciais fontes de poluição, e o esforço contínuo empregado para a manutenção de sua preservação. Tal particularidade influencia diretamente a elaboração e o planejamento de edificações, incentivando a busca por soluções construtivas capazes de eliminar ou mitigar os impactos resultantes da presença e ocupação humana, além de garantir as condições de habitabilidade necessárias. Assim, este capítulo destina-se a caracterização do continente, buscando compreender suas características e os desafios em habitá-lo.

2.1 HISTÓRIA

Embora as primeiras documentações comprobatórias da descoberta do Continente Antártico tenham surgido apenas a partir dos séculos XV e XVI, as histórias citando o continente remontam ao período da Idade Antiga quando Pitágoras, acreditando no mundo em forma de circunferência, imaginava que existissem terras ao sul que se igualassem com as do norte (FELICIO, 2007). Em correspondência às terras existentes ao norte, o Ártico, essa suposta porção de terra foi chamada de "Terra de Antichthon" ou "Antartikos" (MOCELLIN et al., 1982, apud ALVAREZ, 1995).

Ainda que o interesse pela descoberta pudesse estimular viajantes, o aspecto econômico foi o principal incentivo para viagens à região, fomentando também reivindicações territorialistas. Um dos primeiros interesses no continente foi a abundante presença de focas e baleias, animais de grande importância comercial na época, para a obtenção de ossos com uso na construção civil e de óleo para iluminação. A partir de 1830, após o período de caça, tiveram início importantes expedições de cunho científico. A dificuldade de acesso ao continente e as condições inóspitas do local, entretanto, resultaram em um período de desinteresse na região, fazendo com que a caça e a pesquisa fossem direcionadas para outras áreas (ALVAREZ, 1995).

Em 1895 houve o retorno das discussões sobre a Antártica no Congresso Geográfico Internacional, em que foi incentivado o direcionamento de uma maior atenção ao continente. Conseqüentemente, o século XX foi marcado por grandes expedições científicas que buscavam, em sua maioria, o alcance do Polo. Em 1929 o americano Almirante Richard E. Byrd tornou-se o primeiro homem a atingir o Polo Sul, marcando

além do retorno dos Estados Unidos ao continente, o início da considerada “era tecnológica” (ALVAREZ, 1995).

Nesse mesmo período teve início o crescimento da tensão na disputa territorialista entre Reino Unido, França, Chile, Austrália, Noruega, Nova Zelândia e Argentina (SANTOS, 2014). O estabelecimento da paz no continente ocorreu a partir do acontecimento do Ano Geofísico Internacional em 1957, o qual possibilitou a elaboração do Tratado da Antártica, em 1959 (COBRA, 2009). Após dois anos de negociação o Tratado entrou em vigor em 1961, proibindo a exploração do continente por 30 anos, além de ter congelado as reivindicações territorialistas. Inicialmente com a participação de 12 países membros, o esse número foi aumentando no decorrer dos anos, tendo o Brasil se tornado parte consultiva em 1983 (MINISTÉRIO..., 2015).

Entre alguns dos fatores que garantiram o sucesso do Tratado foi a realização de Reuniões Consultivas a cada dois anos, o que permitiu o acompanhamento da implementação dos termos do mesmo, e a elaboração de uma série de documentações que reafirmavam e incrementavam as necessidades relacionadas à preservação ambiental do continente. Passados os trinta anos de vigência do Tratado teve início a formulação do Protocolo de Madri, objetivando funcionar como um adendo ao Tratado e cujo conteúdo estava focado nas questões ambientais. O Protocolo entrou em vigor sete anos após o início de sua negociação, em 1998. Após a revisão do Tratado Antártico ficou estabelecida a prorrogação de seus principais termos por mais cinquenta anos. Dessa forma uma nova revisão ocorrerá em 2041, quando novamente serão debatidas as questões sobre o territorialismo e a exploração do continente (ALVAREZ, 1995).

2.1.1 O interesse no Continente

Ao longo da história o interesse mundial pela Antártica ocorreu por diferentes motivos, que se diversificaram entre o interesse econômico, estratégico e científico.

Primeiramente, o aspecto econômico foi incentivado pelo alto valor comercial de baleias e focas, provocando a caça exploratória que quase levou a extinção das espécies locais (ALVAREZ, 1995; COBRA, 2009). Nesse período ainda não existia a preocupação quanto à preservação e conservação dos recursos naturais, principalmente por não os considerar como bens finitos (SCHELLMANN; KOZEL, 2005). A possibilidade de ocorrência de reservas minerais como ouro, prata, petróleo, e a imensa quantidade de água doce

tornaram a região ainda mais atrativa (MACHADO; BRITO, 2006), embora não houvesse ainda a permissão para exploração do continente, nem a confirmação da existência desses recursos de interesse econômico.

Já o interesse estratégico foi motivado principalmente pela importância militar e econômica do Estreito de Drake, trecho oceânico situado entre a extremidade sul da América do Sul e a Antártica. Embora a passagem entre os oceanos Atlântico e Pacífico pudesse ser realizada também por pequenos canais no Ártico ou pelo Canal do Panamá, ambos são sujeitos ao controle por outras nações e limitavam o porte das embarcações. Em 2016, entretanto, a ampliação do Canal do Panamá foi finalizada, passando a permitir a travessia de navios de maior porte (CANAL..., 2017), embora continue sendo controlado pelo governo local, ou seja, não há qualquer garantia de livre passagem, sendo então fundamental que o Estreito de Drake continue sendo uma possibilidade de uso por todas as nações, indiscriminadamente.

Após a compreensão da necessidade de sua preservação, o continente foi reconhecido por sua importância como um laboratório natural com vasta possibilidade em diferentes campos de pesquisa, resultando no interesse científico que diversos países possuem pela região. Entre as áreas de estudo é possível destacar o das ciências atmosféricas, como o monitoramento do nível de poluição, estudos relacionados às mudanças climáticas, e análises meteorológicas que permitem previsões do tempo mais assertivas devido à influência direta no Hemisfério Sul, graças às correntes de ar frio que partem da Antártica. No que se refere às questões relacionadas à edificações e sistemas artificiais de condicionamento para a sobrevivência humana, observa-se que as condições inóspitas que o continente apresenta permitem também o desenvolvimento de estudos relacionados ao homem e sua capacidade de adaptação psicológica e metabólica em um ambiente tão extremo (ALVAREZ, 1995; MACHADO; BRITO, 2006).

Por fim, a região passou a despertar também o interesse turístico a partir da década 50 do século passado, sendo possível constatar um crescente interesse no número de visitantes nos últimos anos, tornando essa uma atividade econômica cada vez mais relevante e com potencial de crescimento (INTERNATIONAL..., 2015a).

2.1.2 Regulamentos

Sendo o único continente sem divisões políticas, a maior regulamentação existente sobre a Antártica é o Tratado Antártico. Estabelecido em 1961 e com a participação de 12 países que já operavam no continente, os objetivos principais do Tratado eram garantir o desenvolvimento de pesquisas científicas com fins pacíficos, a liberdade de investigação e a cooperação internacional entre os países. Algumas das medidas estabelecidas para o alcance dos objetivos foram o congelamento das pretensões territorialistas, a proibição de testes nucleares, a realização de reuniões consultivas a cada dois anos, entre outros. Formado inicialmente por 12 países denominados como “Partes Consultivas”, esse número foi aumentando conforme mais nações se interessavam pelo continente e atendiam os requisitos estabelecidos pelo próprio Tratado para se tornarem membros (ALVAREZ, 1995).

Diante do alcance dos resultados, da cooperação estabelecida entre as nações participantes, e a capacidade com que as normas e recomendações se adaptaram conforme as necessidades que surgiram, o Tratado foi considerado um exemplo de sucesso de acordo internacional (PALO JR, 1989; SANTOS, 2014).

Conseqüentemente ao vencimento do prazo para revisão do Tratado, em 1991 foi estabelecido o Protocolo de Madri após acordo entre 31 nações. O objetivo foi garantir a permanência dos principais termos do Tratado e o estabelecimento de enfoque especial às questões referentes a proteção do meio ambiente e ecossistema antárticos (PROANTAR, 2001).

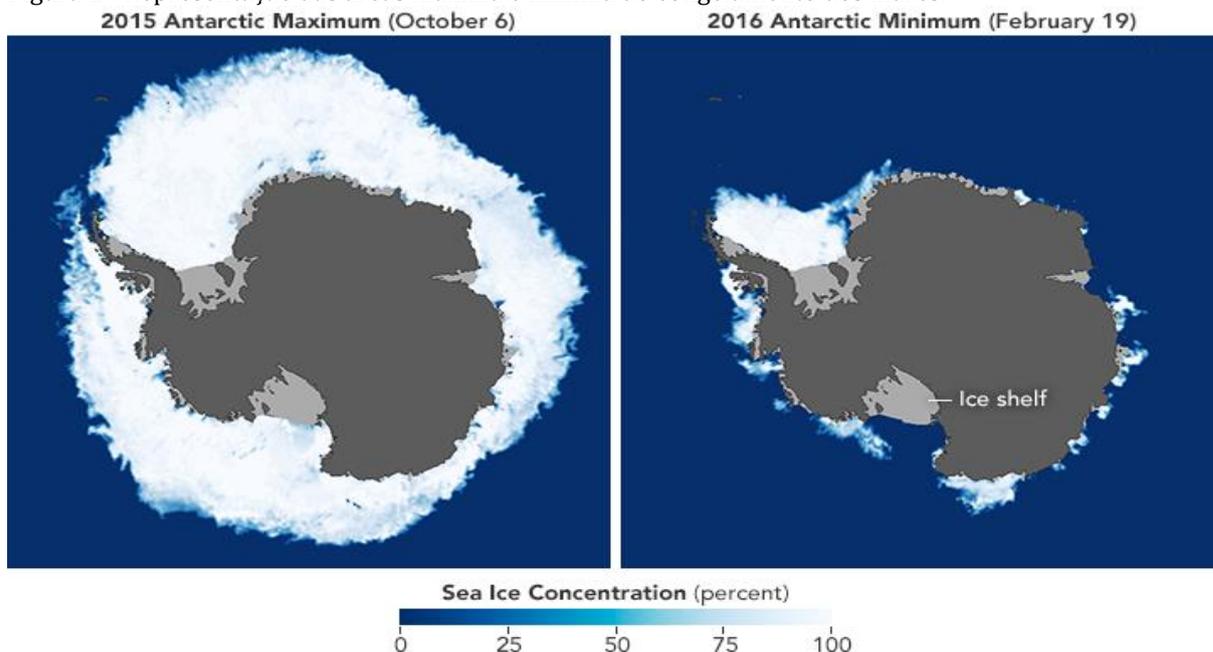
Através do Protocolo foram criadas as áreas de proteção (*Antarctic Specially Protected Areas – ASPAs*) e as áreas de especial interesse científico (*Sites of Special Scientific Interest – SSSI*) com a intenção de manter a preservação do ambiente antártico e prevenir impactos capazes de comprometer as pesquisas científicas e ecossistemas vulneráveis (ALVAREZ, 1995).

2.2 GEOGRAFIA

Com características marcantes, é comum ouvir a descrição da Antártica como a região “mais remota, mais desértica, mais ventosa, mais estéril, de mais alta superfície média e mais inabitável do planeta” (ALVAREZ, 1995, p. 4). Com aproximadamente 13,6 milhões de quilômetros quadrados (SCAR, 2009), 98% de sua superfície é composta por gelo

(SIMÕES, 2014a). Sendo o quinto maior continente do planeta, no período do inverno sua área pode chegar ainda a aproximadamente 20 milhões de quilômetros quadrados graças ao congelamento dos mares no entorno da costa (fig. 1), causando o fenômeno de retração e expansão do gelo de acordo com o período do ano (AQUINO, 2009; SIMÕES, 2014a).

Figura 1 - Representação das áreas máxima e mínima do congelamento dos mares.

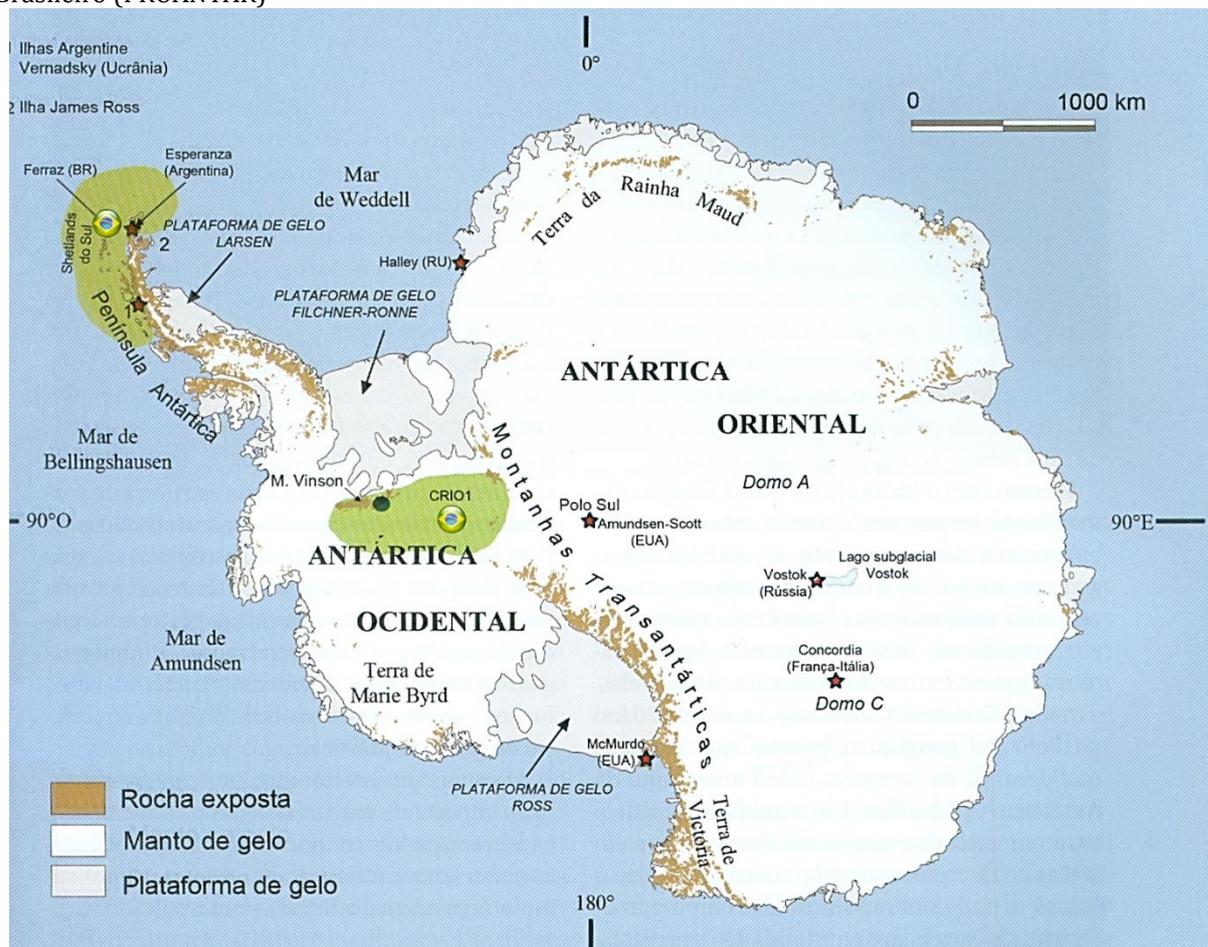


Fonte: Nasa (2016)

Embora muitas bibliografias citem similaridades entre a Antártica e o Ártico, como o clima, a fauna e flora, entre outros, pode-se afirmar que tal semelhança é apenas aparente. Enquanto o Ártico se caracteriza por um mar congelado cercado de continente, a Antártica é um continente congelado cercado de mar (CHILD, 1988; SCAR, 2009; AQUINO, 2014).

O continente está quase totalmente circunscrito no Círculo Polar Antártico ($66^{\circ}33'S$), sendo comumente dividido pela literatura em duas partes devido a cadeia de montanhas transantárticas que formam uma barreira física de leste a oeste (fig. 2). Enquanto a Antártica oriental representa a maior porção e é coberta por um domo irregular de gelo sobre uma massa continental, a Antártica ocidental engloba a área da Península Antártica e as barreiras de gelo Ross e Filchner (ALVAREZ, 1995).

Figura 2 - Mapa do continente Antártico com a demarcação das áreas de atuação do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR)



Fonte: Simões (2014a)

Sendo o continente de maior altitude do planeta com uma elevação média de 2,5 km, a espessura do manto de gelo que recobre o território é capaz de chegar a até 5 km em determinados locais (SIMÕES, 2014a). Essa extensa camada preserva a composição química da atmosfera terrestre, onde a perfuração do gelo acumulado em milhares de anos de neve é capaz de revelar informações de até 800 mil anos atrás. Através de alguns estudos de glacioquímica realizados com a extração de algumas camadas de gelo, já foi possível, por exemplo, verificar os períodos históricos que apresentaram um maior fluxo de emissões atmosféricas e a elevação na temperatura média mundial (SIMÕES, 2014b).

2.2.1 Clima

Embora a Antártica seja rodeada pelo mar e possua lagos com grandes profundidades, ela se caracteriza também como o mais seco deserto da Terra. Isso ocorre pois em baixas temperaturas o ar não consegue absorver muito vapor de água. O resultado é um índice de precipitação muito baixo por ano que, quando ocorre, geralmente é em forma de neve

(CHILD, 1988; ALVAREZ, 1995). Em alguns locais, por exemplo, o índice de precipitação chega a 2 ou 3cm durante o ano, sendo esse nível inferior ao do deserto do Saara (SIMÕES, 2014b).

Essa condição torna-se ainda mais severa no interior do continente, já que próximo à costa, nas ilhas e em grande parte da Península Antártica, a presença do oceano auxilia na estabilidade da umidade do ar. Submetido a tal situação, o homem acaba sofrendo alguns impactos na saúde como o ressecamento das mucosas e, eventualmente, sangramento das narinas e ouvidos (ALVAREZ, 1995).

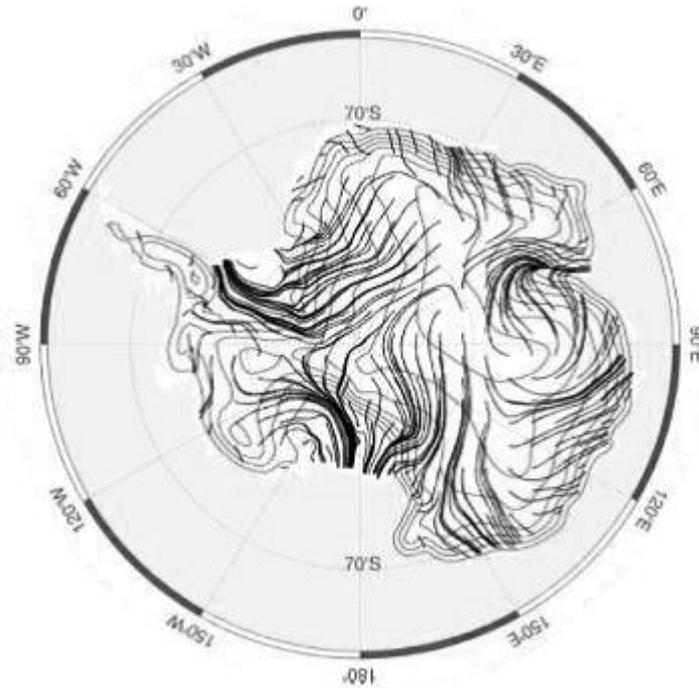
Em relação a temperatura, ocorre uma considerável diferença entre o litoral e a parte continental. No verão, por exemplo, as temperaturas da costa permanecem próximo à 0°C, enquanto no interior do continente oscilam por volta de -35°C. Já no inverno, as temperaturas no interior podem alcançar até -80°C (AQUINO, 2014).

As temperaturas máxima e mínima registradas em estações científicas no Continente foi de 15.5°C na base Argentina *Esperanza* localizada na península Antártica (CNN, 2015) e -89.2°C na Estação Russa *Vostok*, situada no leste da Antártica (SCAR, 2009). Entretanto, um satélite da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) registrou a temperatura de -93.2°C próximo ao Domo A (NASA, 2013).

Um fator de grande influência no clima são os ventos, pois as baixas temperaturas parecem ainda menores devido a sensação térmica. Além disso, estando ou não associado a neve, a sua presença é quase constante no continente, chegando a atingir velocidades de até 200 km/h (ALVAREZ, 1995; BRITISH... 2015).

Segundo Palo Jr (1989, p. 30) "Os ventos que sopram sobre a maior parte da Antártida são diferentes daqueles que ocorrem nas demais partes do mundo", visto que não são controlados por padrões gerais de pressão e sua direção ser consequência direta da topografia e calota de gelo (fig. 3).

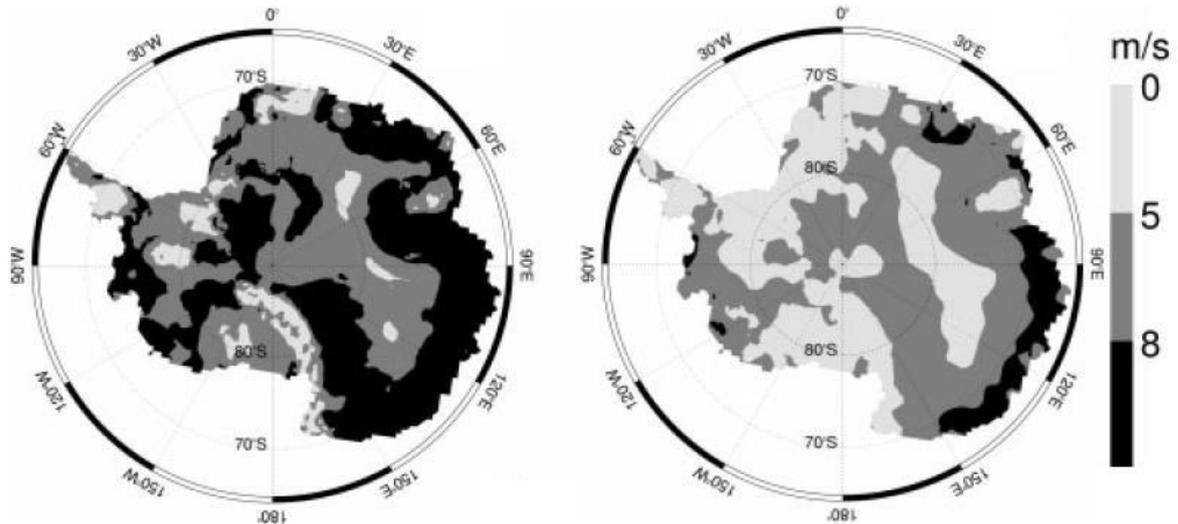
Figura 3 - Direção dos ventos Antárticos



Fonte: Van Lipzig e outros (2004)

Característico da região, os “ventos catabáticos” transportam o ar frio do interior do continente para as zonas litorâneas. No inverno essas correntes se tornam ainda mais fortes (fig. 4) e propensas a atingir altas velocidades (VAN LIPZIG et al., 2004).

Figura 4 - Comparação da velocidade do vento no inverno e verão Antártico



Fonte: Van Lipzig e outros (2004)

Existe ainda a ocorrência de dois fenômenos no continente: a “ventisca”, precipitação da neve de forma horizontal, causando imensas “cortinas brancas”; e o “whiteout” (ou “branco total”), que por provocar a ausência de contrastes e sombras, dificulta a visualização do relevo e linha do horizonte. Ambos criam riscos para a segurança do

visitante pois dificultam ou até mesmo impedem a visualização da região, ampliando a possibilidade de ocorrência de acidentes (ALVAREZ, 1995).

Por fim, a radiação solar é outro fator que causa impacto no clima. Segundo Alvarez (1995), durante o verão antártico existem períodos em que a quantidade de radiação solar recebida é maior que toda a radiação registrada nas zonas equatoriais em qualquer época do ano. Somado a isso, a superfície branca do continente influencia diretamente a temperatura do ambiente, pois a neve reflete mais de 80% do calor recebido e retarda o aquecimento da atmosfera.

Em relação à trajetória solar da Antártica, pode-se afirmar que próximo ao solstício de verão há um longo período de sol na abóboda celeste, enquanto no inverno os períodos de trajetória solar são mais curtos devido ao baixo ângulo de inclinação do sol (MONTARROYOS, 2015).

Entre as diversas estações científicas no continente, a presença do sol está diretamente relacionada à latitude em que está localizada. Nas de maior latitude, o sol se põe abaixo da linha do horizonte no dia 21 de março e se ergue novamente apenas em 21 de setembro, sendo que quando elevado, chega a uma altura máxima de 23.5° (AUSTRALIAN..., 2015). A exemplo de estações com latitude intermediária encontra-se a Estação Concórdia, pertencente a França e Itália, com latitude 75°S e que, no verão, o sol atinge a altura máxima de 50° e não se põe completamente (Fig. 5).

Figura 5 - Trajetória solar na Estação Concórdia (imagem obtida de 2 em 2 horas durante o verão)



Fonte: *Chronicles of Concordia* (2015)

2.2.2 Fauna e flora

Embora as condições climáticas da Antártica dificultem o desenvolvimento da fauna e flora, nas áreas costeiras (onde há regiões livres de gelo) e no oceano desenvolve-se um rico ecossistema.

A vida marinha no continente é bastante diversificada, com plânctons, peixes, baleias e diversos tipos de camarão. Mesmo em terra, os animais são relacionados com o meio

aquático, como pinguins e aves marinhas e os mamíferos, elefantes marinhos e focas. Entre eles, o pinguim ganhou destaque como o símbolo da Antártica. Com cerca de 18 espécies diferentes pelo mundo, o Pinguim Imperador (fig. 6) se destaca por ser o único a nidificar nas temperaturas extremas e noites permanentes do inverno no Continente (ALVAREZ, 1995).

Figura 6 - Pinguim imperador em meio a pinguineira (à esquerda) e de focas de Weddell (à direita)



Fonte: Cool Antarctica (2016)

Principalmente como consequência da dificuldade de obtenção de alimento no continente, grande parte das aves antárticas são oceânicas. Entre elas, as mais comuns são os petreus, skuas, andorinhas-do-mar, pombas e gaivotas (ALVAREZ, 1995).

Contrariamente à riqueza da fauna, a flora antártica não apresenta grande diversidade. Tal fato justifica-se não só pelas dificuldades impostas pelas condições climáticas severas, mas também pela pobreza do solo. Nos locais frequentados por animais, entretanto, há uma melhora dessa condição devido a nidificação causar um enriquecimento do solo através do acúmulo de dejetos. Fora algas marinhas que formam camadas pelas praias e as terrestres que se depositam sobre o gelo, não há mais nada além de algumas gramíneas, musgos e líquens (ALVAREZ, 1995).

2.2.3 População e economia

Ao contrário do Ártico com os esquimós, a Antártica não possui população nativa. Acredita-se que isso ocorra devido à grande distância dos demais continentes e pela diferença de temperatura, que é consideravelmente mais severa que as da região ártica (ALVAREZ, 1995). Dessa forma, a presença humana na Antártica caracteriza-se por pessoas oriundas dos demais continentes, normalmente pesquisadores, militares e turistas.

Provenientes de várias nacionalidades e profissões diferentes, a convivência na Antártica é baseada na cooperação mútua. Devido às condições severas às quais o homem se submete ao estar no continente – como o isolamento, as baixas temperaturas, o desconhecimento do lugar, entre outros –, algumas práticas foram estabelecidas no cotidiano para assegurar a saúde física e mental dos pesquisadores e visitantes.

Além das características que tornam a Antártica um local único, pode-se citar ainda o fato de que no continente não há um sistema monetário ou moeda própria. Apesar disso, existem importantes investimentos econômicos no campo da pesca, pesquisa científica e o turismo.

Com cerca de mil pesquisadores no período do inverno e 4 mil no verão (COOL..., 2015), nos últimos anos o crescimento do turismo tem feito com que a quantidade de visitantes supere com larga vantagem o número de pesquisadores, após um início tímido na década de 50 do século passado (LÜDECKE, 2010).

2.3 ARQUITETURA NA ANTÁRTICA

Habitar a Antártica significa superar uma série de severos fatores locais. Com o passar dos anos, porém, as dificuldades foram sendo vencidas concomitantemente ao avanço da tecnologia.

Segundo Alvarez (2014), o processo evolutivo da arquitetura no continente pode ser representado por três diferentes momentos: tempos históricos, tempos tecnológicos e tempos ambientais. Cada um deles está relacionado à tecnologia existente na época e às possibilidades que ela permitia.

O tempo histórico remonta ao período de reconhecimento do território e das disputas territoriais. Nele, a arquitetura foi representada por abrigos temporários executados pelos exploradores, sendo normalmente erguidos com madeira pré-fabricada ou proveniente de naufrágios. Já o tempo tecnológico ocorreu a partir do Ano Geofísico Internacional e o estabelecimento do Tratado Antártico que, como já citado, promoveu uma atmosfera favorável à ocupação do continente. Somado a isso, o surgimento de novas tecnologias permitiu o uso de novos materiais – principalmente o aço – e a construção de edificações mais complexas. Por fim, o tempo ambiental caracterizou-se como o período de maior preocupação com os impactos gerados pela presença humana, sendo

impulsionado pelas recomendações estabelecidas pelo Protocolo de Madri (ALVAREZ, 1995).

Como representante das edificações desenvolvidas em cada época pode-se citar para os tempos históricos a Cabana de Robert Scott construída em 1911 (Fig. 7), e a estação americana Amundsen-Scott (Fig. 8) de 1957, construída para apoio aos pesquisadores durante o Ano Geofísico Internacional, marcando a era dos tempos tecnológicos.

Figura 7 - Cabana de Robert F. Scott



Fonte: National Geographic (2016)

Figura 8 - O antigo domo da Estação Amundsen-Scott



Fonte: Ernie Mastroianni (2016)

Os tempos ambientais podem ser representados pelas estações *Princess Elisabeth Antarctica*, da Bélgica (Fig. 9) e o projeto para as novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz, do Brasil (Fig. 10).

Figura 9 - Princess Elizabeth Station



Fonte: Polar Foundation (2016)

Figura 10 - Maquete eletrônica das novas edificações da EACF



Fonte: Arch Daily (2016)

Embora a história mostre o avanço arquitetônico no continente, as dificuldades logísticas permanecem e, entre elas, destaca-se a importância que o transporte possui para garantir a sobrevivência humana. Com exceção da água, a provisão das demais necessidades depende do auxílio de transporte, visto que matérias primas, instalações e suprimentos

para alimentação e energia precisam ser levados ao continente. É necessário considerar, ainda, as limitações quanto ao dimensionamento e cargas suportadas, bem como a resistência a impactos causados durante o transporte (ALVAREZ, 1995).

Dentre os fatores logísticos necessários à execução de edificações, destacam-se as questões relacionadas aos aspectos construtivos (como a escolha de tecnologias, sistemas, embalagens adequadas, adoção de componentes construtivos de fácil execução e manutenção, entre outros), de pessoal (qualificação de mão-de-obra e treinamento dos usuários e visitantes) e administrativos (sistemas de gestão, recursos disponíveis, entre outros).

Outro aspecto de grande importância em relação a logística é a questão energética. Na Antártica a maioria das estações utiliza o diesel como fonte de energia para o funcionamento de equipamentos, iluminação, aquecimento, transporte, bombeamento/tratamento de água e tratamento de resíduos, o que o torna essencial para a garantia da sobrevivência humana (COMNAP, 2007). Consequentemente, existe a preocupação com os riscos ambientais ocasionados pelo derramamento de óleo, com a liberação de gases produzidos pela queima e a consequente necessidade de redução no uso de combustíveis fósseis.

Deste modo, incentivadas pelas recomendações do Protocolo de Madri e a evolução das práticas da sustentabilidade, as estações mais recentes passaram a ser construídas buscando não apenas soluções de baixo impacto ambiental, como também o atendimento aos demais aspectos relacionados da sustentabilidade, como a preocupação com a questão social e econômica (MONTARROYOS, 2015).

2.3.1 Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)

Consolidando sua presença e o status de Membro Consultivo no Tratado da Antártica, o Brasil implantou sua primeira estação científica no continente em 1984 (SILVA; PIAZZA, 2002). Localizada na Ilha Rei George (62°05' S e 58°23' W), Península Antártica, a estação constituía-se inicialmente por 8 módulos de container metálicos e apresentava um programa simples: dormitórios, sala de rádio, lavanderia com sanitário, cozinha, espaço para tratamento de água, gerador e depósito. Após sua ampliação, no verão de 1986/1987, a adição de 22 módulos permitiu a setorização dos ambientes conforme a similaridade dos usos, além de um aumento no programa pré-existente (ALVAREZ, 1995).

Embora houvesse desde o princípio a preocupação com possíveis impactos ambientais causados pela implantação do edifício, os sucessivos processos de modificação e ampliação foram realizados sem planejamentos que demandassem a adequada importância aos impactos no ecossistema (ALVAREZ et al., 2007).

Logo, com o objetivo de reduzir mais impactos no futuro e de reavaliar as necessidades existentes, o Plano Diretor da EACF começou a ser elaborado em 2001. Através da aplicação de questionários e da avaliação do ponto de vista dos usuários, foi identificado que apesar do atendimento das necessidades em geral, haviam alguns pontos a serem otimizados, tais como (ALVAREZ et al., 2007):

- Poluição acústica por ruídos constantes em algumas áreas da EACF;
- Impacto paisagístico (principalmente na parte frontal da EACF, devido à falta de local para guarda e manutenção dos veículos e equipamentos);
- Deficiência de iluminação natural pela limitação e dimensionamento das aberturas;
- Necessidade de novos ambientes (laboratórios e oficinas);
- Ambientes subdimensionados, com conflito de uso em alguns locais e o mau aproveitamento de áreas consideradas “nobres”;
- Desperdício energético, principalmente relacionado ao condicionamento térmico;
- Espaços residuais entre containers; e
- Ausência de área de armazenamento, entre outros.

A partir dos resultados foi realizada a reforma da estação para a reparação das deficiências observadas, solucionando os aspectos identificados como falhos quase em sua totalidade, sendo possível destacar como principais resultados (fig. 11): a redução da superfície linear de área metálica suscetível à corrosão; ampliação da área útil de uso com a eliminação das áreas desperdiçadas; a melhoria da iluminação natural nos ambientes de longa permanência; a otimização dos fluxos e circulação em geral; melhoria no conforto acústico através da setorização de atividades e de implementação de isolamento acústico nos ambientes necessários; e melhoria da eficiência energética através da redução de superfícies expostas às intempéries (ALVAREZ et al., 2007).

Figura 11 - Estação Antártica Comandante Ferraz



Fonte: Acervo do Laboratório de Planejamento e Projetos (2011)

Destaca-se que as alterações que resultaram na redução das reentrâncias e saliências existentes anteriormente, geraram um ganho de 45% de área útil, além da redução de cerca de 30% das áreas expostas. Essa modificação ocasionou diversos benefícios, como a redução no consumo de tintas e solventes nos processos de manutenção, a otimização do uso do solo, e um melhor desempenho energético, visto que a compactação da planta auxiliou no funcionamento dos sistemas de aquecimento (ALVAREZ et al., 2007).

Contudo, no verão de 2012 a estação foi atingida por um incêndio de grandes proporções e 70% de sua área (equivalente a 2.500m²) foi destruída (RHBN, 2014).

2.3.1.1 Novas edificações para a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)

Em função do incêndio e diante da necessidade do prosseguimento das pesquisas científicas foram construídas unidades provisórias denominadas como Módulos Antárticos Emergenciais (MAE), e dado início a ações necessárias para a reconstrução de uma edificação permanente. Mediante a isso, em 2013 foi lançado um concurso internacional de projetos, modalidade escolhida por apresentar, segundo Alvarez, Vargas e Vidigal (2013, p. 1), os seguintes benefícios:

1. Por ser esta a forma mais segura, sustentável, democrática e econômica para a escolha de um objeto de natureza intelectual;
2. Pela possibilidade de escolher a melhor solução, a partir da participação de um grande número de equipes no âmbito nacional e internacional;
3. Pelo fato da modalidade concurso permitir a avaliação e escolha do objeto a

ser contratado antes de sua aquisição;

4. Por ser o concurso, de acordo com a Lei de Licitações brasileira – Lei 8.666/1993 (BRASIL, 1993) § 1º, Art. 13 –, a modalidade preferencial para a contratação de projetos;

5. Por promover o intercâmbio de conhecimentos entre os profissionais de diversos países e estimular a inovação tecnológica.

Foi então desenvolvido um Termo de Referência contendo as principais informações necessárias para a concepção do projeto, objetivando auxiliar os participantes impossibilitados de visitar o local, bem como quanto as exigências e necessidades do programa (INSTITUTO..., 2015).

Dessa forma, através do auxílio interdisciplinar de professores doutores, mestres, especialistas, pesquisadores de várias áreas, civis e militares de diversas especialidades, como também o envolvimento de diversas instituições brasileiras, foram estabelecidos um conjunto de critérios considerando desde a fase de implantação, até a de manutenção do edifício (ALVAREZ; VARGAS; VIDIGAL, 2013).

Dentre eles, pode-se destacar os principais pontos a serem atendidos (INSTITUTO..., 2015):

- Implantação de acordo com o Zoneamento Ambiental de Uso (ALVAREZ; CASAGRANDE; SOARES, 2007);
- Recomendação de liberação do pavimento térreo com pavimento sobre pilotis, para passagem das águas de degelo;
- Adoção de sistema construtivo flexível permitindo ampliações e/ou modificações;
- Utilização racional de água e de energia;
- Especificação de materiais duráveis e de fácil ou mínima manutenção;
- Emprego de materiais pré-fabricados, não admitindo confecção ou elaboração de elementos argamassados ou concretos produzidos *in loco*; e
- Geração mínima de resíduos.

Embora o Termo não tenha sido desenvolvido abordando integralmente as questões referentes à minimização dos impactos e o conforto dos usuários, ele foi elaborado em concordância com essas necessidades (ALVAREZ; VARGAS; VIDIGAL, 2013).

O projeto vencedor (fig. 12) foi escolhido em 2013 pelo Instituto de Arquitetos Brasileiro - IAB, tendo sido eleita a proposta desenvolvida pelo escritório de arquitetura Estúdio 41,

de Curitiba-PR. Com aproximadamente 4,5 mil m², a estação contará com tecnologias empregadas para a minimização dos impactos causados pela implantação do edifício, empregando sistemas que garantam a eficiência térmica, lumínica e acústica; o uso de energias renováveis através de painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas; adoção de materiais com o mínimo de emissão de poluentes; setorização dos ambientes e adoção de sistemas visando garantir a segurança contra o fogo; estruturas pré-fabricadas visando facilitar o processo construtivo e a implantação de logística para operação (ESTÚDIO 41, 2016).

Figura 12 - Maquete eletrônica das novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz - Brasil



Fonte: Estúdio 41 (2016)

Além disso, os ambientes da estação foram projetados de forma setorizada conforme o uso e em diferentes níveis, garantindo a melhor implantação em relação à topografia e à segurança do usuário (ESTÚDIO 41, 2016).

2.3.2 Soluções arquitetônicas adotadas em estações referenciais

Como resultado das características ambientais do continente, como as baixas temperaturas, fortes rajadas de vento, isolamento e necessidade de preservação do meio ambiente, a arquitetura desempenha um papel fundamental na função de proteção e manutenção dos índices de conforto (INSTITUTO..., 2015).

Assim, a fim de identificar as técnicas construtivas empregadas em relação à qualidade do ambiente interno nas estações antárticas, foi realizado um levantamento das soluções adotadas nas edificações recentemente construídas, cuja síntese segue abaixo.

Localizada na região antártica chamada de Queen Maud Land, a estação belga Princess Elisabeth Antarctica Research Station foi inaugurada em 2007, com 1900m².

Para a concepção de sua volumetria (fig. 13) foi aplicado um formato octogonal devido aos resultados obtidos através de estudos aerodinâmicos, em que a adoção dessa forma indicou uma maior eficiência energética do edifício. A setorização da estação foi feita

através de 3 zonas: a de serviço, a técnica e a social. Para a conservação do calor, proteção de equipamentos e redução do gasto energético, a área técnica foi disposta no centro da edificação; as acomodações e laboratórios nas áreas intermediárias; e as áreas de serviço nas extremidades. Observa-se, ainda, que a envoltória externa possui 9 camadas de diferentes materiais visando a maior eficiência do sistema de isolamento térmico (ALVAREZ et al., 2013; MONTARROYOS, 2015).

Figura 13 - Princess Elisabeth Antarctica Research Station



Fonte: *OpenBuildings* (2016)

Destaca-se que, embora a Princess Elisabeth seja considerada uma referência de eficiência para os estudiosos da arquitetura Antártica, a mesma não tem capacidade para abrigar pessoas no inverno, sendo classificada como Estação de Verão, ou seja, só funciona nos períodos mais quentes.

A estação Halley VI (fig. 14), do Reino Unido, foi resultado de uma série de aprimoramentos de estações anteriores. Inaugurada em 2010 e com 1.858 m², o projeto da estação foi escolhido através de concurso público, apresentando a inovação de ser a primeira a poder ser totalmente deslocada em uma situação de emergência. Tal medida foi adotada em função da implantação da estação ter sido prevista sobre uma plataforma de gelo que tende a se desprender do Continente.

Figura 14 - Estação Halley VI – Reino Unido



Fonte: *British Antarctic Survey* (2016)

Na distribuição dos ambientes em 8 módulos, é possível notar desde o exterior do edifício a setorização dos mesmos, visto o módulo vermelho indicar as áreas comuns e os módulos azuis as acomodações individuais e sociais, e os laboratórios. Devido a questões de segurança, as áreas técnicas foram dispostas separadamente ligadas por uma passarela.

Para a garantia do isolamento térmico, os painéis da estação possuem internamente espuma de célula fechada de polisocianurato (BRITISH..., 2014).

A Estação Bharati, da Índia (fig. 15), foi construída em 2012 em Larsemann Hills e possui uma área total de 2.400 m². Com a adoção de um sistema modular composto por 134 containers, a estação possui uma envoltória externa para garantir o conforto térmico dos usuários. Dividida em dois níveis, o superior possui o setor social, privativo e de serviço e o inferior, as áreas técnicas e laboratórios (ALVAREZ et al., 2013).

Figura 15 - Estação Bharati - Índia



Fonte: National Centre for Antarctic and Ocean Research (2015)

Destaca-se que entre a envoltória externa e a interna há uma câmara de ar que auxilia no isolamento térmico e, também, nas atividades de manutenção da estrutura metálica. Essa solução assemelha-se à adotada nas novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz.

Por fim, a Estação Juan Carlos I (fig. 16), da Espanha, inaugurada em 2013 com 346m² está localizada na Livingstone Island. Elevada por pilares metálicos e com a adoção do sistema monocoque, a própria estrutura atua como isolante térmico.

Figura 16 - Maquete eletrônica da Estação Juan Carlos I - Espanha



Fonte: *OpenBuildings* (2016)

Contando com uma setorização disposta em módulos, a estação conta com elementos arquitetônicos que permitem uma boa integração com o ambiente externo e para o aproveitamento da luz natural, através da adoção de varandas e a maximização da luz solar por meio do emprego de claraboias e áreas envidraçadas (MONTARROYOS, 2015).

Para a pesquisa bibliográfica, constatou-se grande dificuldade na obtenção de informações construtivas sobre as estações científicas, provavelmente em função da pequena quantidade de pesquisas referentes ao assunto. Quando disponíveis, elas normalmente abordavam questões ambientais, raramente tratando sobre os cuidados e meios empregados para o atendimento dos níveis de conforto adequados para os usuários.

Entretanto, o Termo de Referência elaborado para o desenvolvimento das novas edificações da EACF abordou questões voltadas para o conforto que deveriam ser utilizadas para o norteamento do projeto (INSTITUTO..., 2015). Tais diretrizes podem ser reaplicadas não só na estação brasileira, mas de uma forma mais abrangente, com as devidas adaptações, em todo continente.

Para as diretrizes relacionadas ao conforto térmico, alguns dos critérios estabelecidos foram (INSTITUTO..., 2015):

- Análise de custo-benefício do isolamento empregado e acordo com o rigor climático do local e à dificuldade de transporte de combustíveis, de forma a possibilitar o conforto aos usuários com redução no consumo de energia;
- Deve-se comprovar o atendimento às normas nacionais e internacionais de conforto térmico (ISO 7730, ASHRAE 55, ou mais recente) nas áreas de convivência e trabalho visando, além do conforto, a redução no consumo de energia;
- Nas áreas de serviços e manutenção as temperaturas podem ser mais flexíveis, com valores em torno de 10°C;
- Deve-se evitar o desconforto localizado gerado pela diferença de temperatura vertical do ar e o uso de sistemas de aquecimento com baixa velocidade do ar;
- Deve-se garantir a estanqueidade a fim de se ter controle das trocas térmicas, perda de calor, infiltrações e acúmulo de umidade, sem prejuízo da renovação e garantia da qualidade do ar;

- Para o cálculo de carga térmica, deverão ser consideradas, as perdas de calor devido à infiltração de ar por frestas;
- Os sistemas propostos devem evitar perdas energéticas significativas, sendo necessário analisar a possibilidade da adoção de técnicas de preaquecimento de ar. Tais soluções devem visar eficiência energética e maior conforto do usuário.
- Os materiais empregados no processo construtivo devem absorver o mínimo de umidade possível, a fim de garantir o adequado isolamento térmico e acústico da edificação ao longo da vida útil da edificação; e
- A escolha dos materiais e componentes da cobertura e vedações externas, deve ser feita, de modo geral, observando as características técnicas específicas de alta qualidade, evitando a formação de frestas, trincas ou separações entre as peças que possam acumular água e propiciar a formação de gelo ao longo da vida útil do edifício, além de evitar a fuga de calor e requerer o mínimo de manutenção possível.

Na busca da qualidade acústica dos ambientes, o Termo ainda ressalta a importância da consideração de algumas características específicas ao ambiente antártico que influenciam no conforto obtido. No Continente, as fontes de ruído são originárias principalmente das atividades desenvolvidas pelas próprias estações, visto as fontes externas não serem consideradas indesejáveis por representarem, principalmente, o som da maré, degelo e animais, com exceção apenas do ruído provocado pelo vento em altas velocidades (INSTITUTO..., 2015).

Edificações com frestas ou quinas que propiciam ruídos produzidos pelos fortes ventos da região, podem ocasionar não apenas sensação de desconforto, como também de insegurança (INSTITUTO..., 2015). Ruídos intermitentes e repetitivos que causam incômodo em meios urbanos tradicionais podem ter seu efeito potencializado devido às características do meio (ALVAREZ; YOSHIMOTO, 2004). Somado a isso, o confinamento ao qual o usuário é submetido e o consequente estresse causado, são outras condições específicas em uma estação científica que estimulam a intensificação de incômodos aparentemente pequenos (ZAGANELLI; ALVAREZ, 2012).

Cabe ressaltar também, que até mesmo o excesso de isolamento se torna um problema, pois pode resultar na perda de referência do meio externo, ou dificultar a comunicação entre ambientes próximos em situações de perigo (INSTITUTO..., 2015).

Além do bem-estar do usuário, Alvarez (2007) também ressalta a importância na consideração dos potenciais efeitos da poluição sonora no ambiente externo. Embora não existam estudos específicos e, até então tendo sido observado apenas incômodos causados por fatores externos, como veículos, é importante evitar a transmissão de sons indesejáveis do ambiente interno para o externo visando a não perturbação da fauna.

Deste modo, foram estabelecidas as seguintes diretrizes visando a obtenção do conforto acústico (INSTITUTO..., 2015):

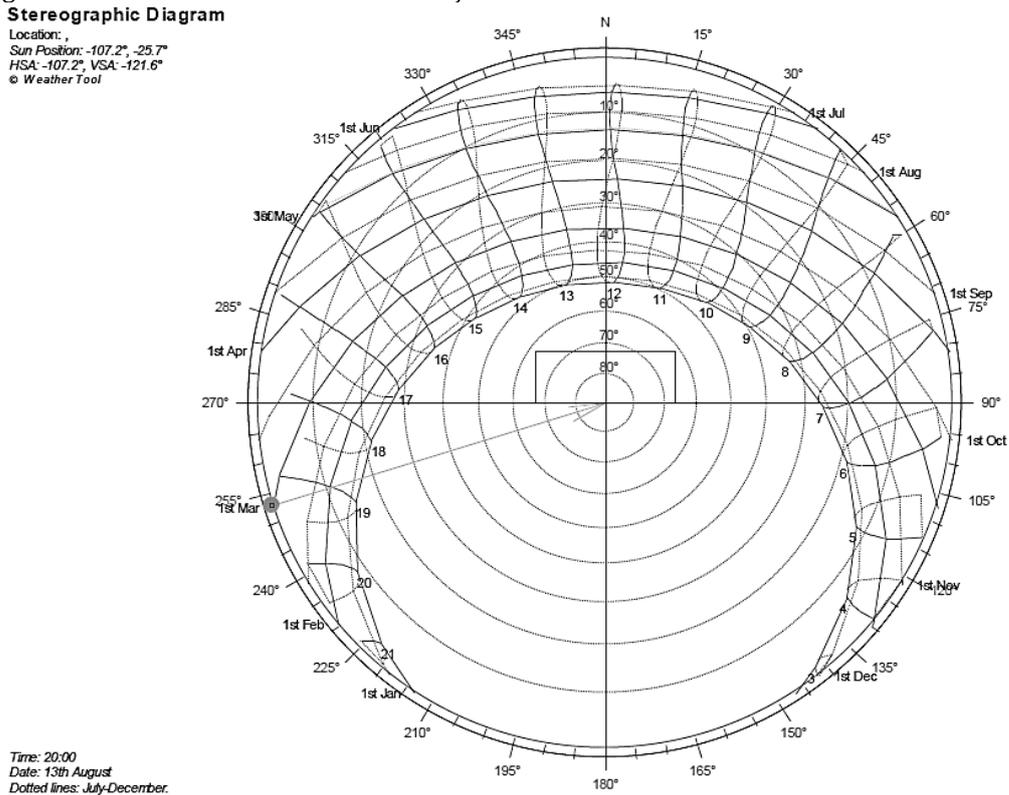
- O zoneamento acústico deve ser feito de forma a priorizar o agrupamento de atividades ruidosas, observando a adequada separação dos ambientes de descanso, de atividades científicas e de manutenção;
- A especificação de equipamentos como geradores, sistemas de condicionamento térmico, entre outros, deve considerar o nível de ruído produzido pelos mesmos em relação ao conforto e segurança dos usuários;
- Os ambientes de descanso devem ser posicionados distantes de fontes de ruído, e suas envoltórias devem receber tratamento para a preservação da privacidade acústica dos ocupantes;
- As canalizações que eventualmente passem pelos ambientes de descanso devem ser isoladas acusticamente;
- Os ambientes que possuem potencialmente maior chance de transmissão de ruídos, como ginásio, lavanderia, sala de estar/jantar, e demais ambientes utilizados para a realização de eventos, devem ser isolados acusticamente de modo a evitar tal transmissão para os demais ambientes; e
- Os ambientes destinados à vídeo e videoconferência devem ser tratados a fim de se evitar a reverberação do som ou demais fenômenos que causem redução da inteligibilidade da voz.

Para o alcance do conforto visual é necessário garantir níveis adequados de iluminação nos ambientes e sua correta distribuição, além de se evitar a ocorrência do ofuscamento. É importante também facilitar a entrada da luz natural visando os benefícios psicológicos e fisiológicos gerados pela luz solar (AMUNDADOTTIR et al., 2017), e pelo ganho gerado na economia energética.

Observa-se que na Antártica a insolação apresenta características distintas da maioria dos demais locais no mundo. Na Península Keller, por exemplo, enquanto no verão a

disponibilidade de sol dura aproximadamente 19 horas, o inverno conta com apenas 5 horas, conforme mostra a carta solar (fig. 17) da EACF. Essa diferença também ocorre em relação aos níveis de radiação solar ao longo do ano. Enquanto o verão apresenta altos índices, com seu maior pico no mês de dezembro, quando alcança aproximadamente 6,0 kWh/m², os níveis no inverno giram em torno de 0,38 kWh/m² em junho (INSTITUTO..., 2015).

Figura 17 - Carta solar na latitude da Estação Antártica Comandante Ferraz



Fonte: Instituto... (2015)

Baseada nesta realidade, a avaliação de conforto visual deve considerar os seguintes critérios (INSTITUTO..., 2015):

- Os sistemas de iluminação natural e artificial devem proporcionar conforto aos usuários para as tarefas previstas nos ambientes;
- Deve-se garantir o atendimento aos critérios mínimos tanto para iluminação natural quanto para iluminação artificial com base nas normas de conforto visual;
- Durante os períodos com maiores índices de radiação solar, deve-se dar preferência à iluminação natural;
- O projeto de iluminação artificial deve garantir baixo consumo energético e facilidade de manutenção; e

- Os altos níveis de insolação na Antártica podem produzir ofuscamento nos espaços internos sendo importante mostrar as estratégias e cuidados relacionados ao ofuscamento e considerar a distribuição e dimensionamento das aberturas; especificação de materiais de acabamento e layout interno, entre outros.

Por fim, a qualidade do ar representa um importante aspecto a ser resolvido no edifício, visto a grande quantidade de estudos que comprovaram que os níveis de poluentes internos podem ser até cinco vezes maiores do que ao ar livre, causando impactos na saúde mais graves do que a exposição em cidades industrializadas. Soma-se a isso as severas características ambientais do Continente, que determinam longos períodos de permanência dos usuários em ambientes fechados, e a necessidade de concepção de uma arquitetura enclausurada a fim de enfrentar as adversidades externas.

Um estudo desenvolvido na EACF, identificou que as principais fontes de poluição do ar interno eram derivadas de produtos de combustão gerados pelo trânsito de veículos, embarcações, e equipamentos como geradores e aquecedores; pela emissão de toxinas de materiais de construção; e por atividades humanas, como cocção e limpeza (PAGEL et al., 2012). Ou seja, os principais componentes que podem gerar algum tipo de poluição do ar no continente são causados, principalmente, devido à presença humana. Portanto, é necessário adotar soluções arquitetônicas capazes de prover a qualidade do ar interno através do controle da fonte e da renovação do mesmo, considerando também os aspectos relacionados à garantia do conforto térmico e a eficiência energética da edificação.

O Termo de Referência aborda as seguintes diretrizes para a qualidade do ar interno (INSTITUTO..., 2015):

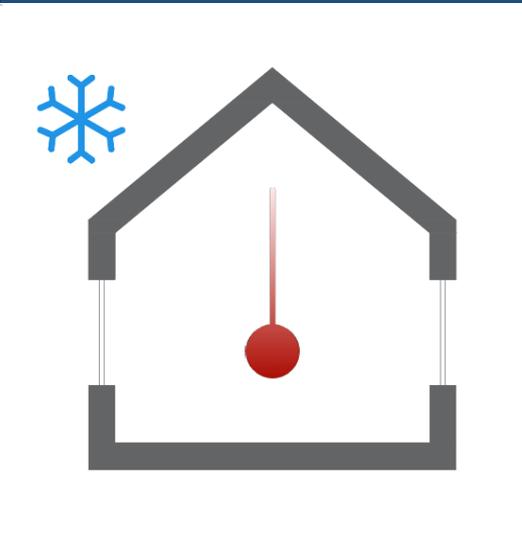
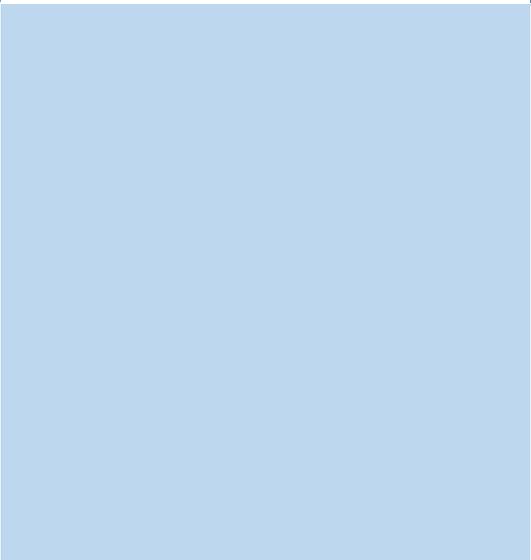
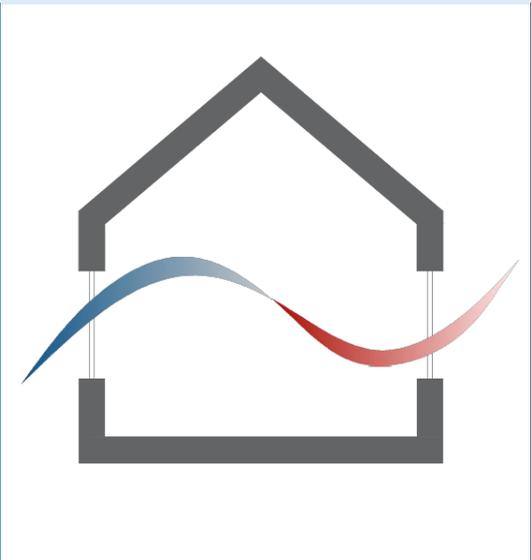
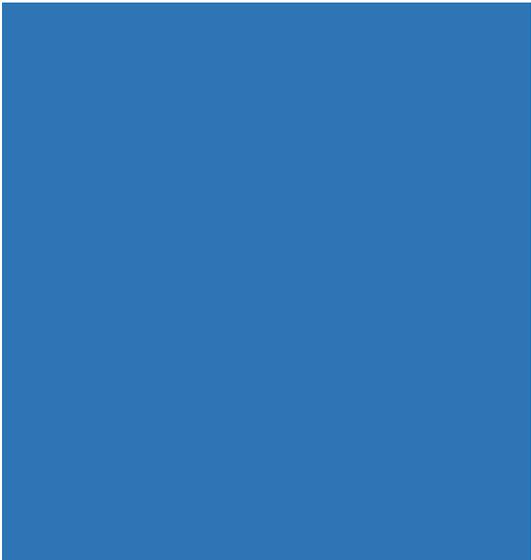
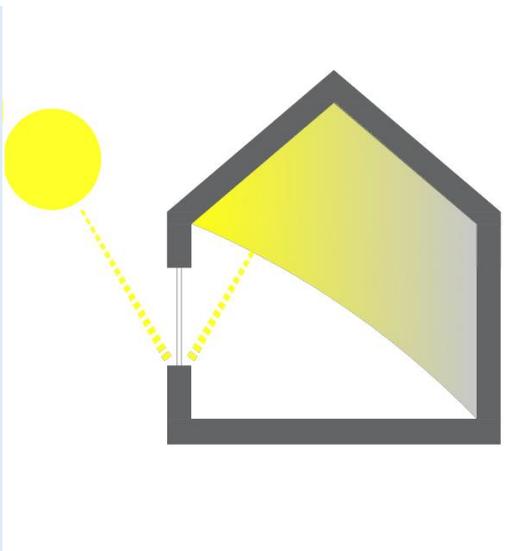
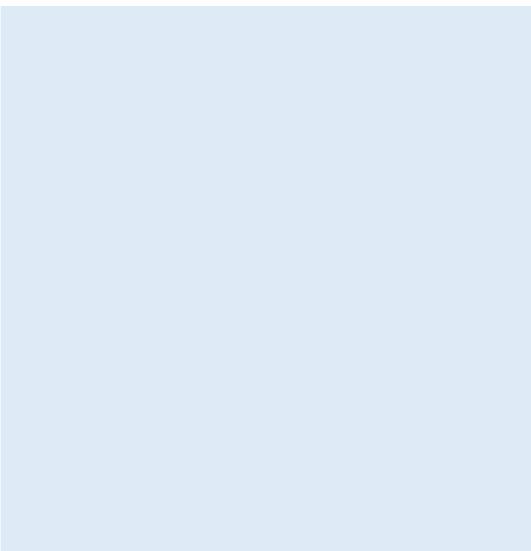
- Minimizar o uso de motores de combustão interna em veículos e equipamentos nas proximidades da estação, substituindo sempre que possível por tecnologias mais limpas;
- O *layout* construtivo deve ser desenvolvido de maneira a minimizar o tráfego de veículos no interior da Estação;
- Não colocar áreas que são potenciais fontes de emissão de poluição e trânsito de veículos – tais como garagem, carpintaria, paióis de gêneros e estocagens –, próximas às áreas sociais de maior permanência e exposição humana, como camarotes, sala de estar, biblioteca, etc.;

- As emissões de poluentes atmosféricos devem sempre ser controladas, utilizando a melhor tecnologia disponível (conceito "*Best Available Control Technology - BACT3*", determinado pela EPA, 2010);
- Selecionar materiais com baixos níveis de emissão de cloro, bromo, compostos orgânicos voláteis, fibras, materiais particulados e demais gases comprovadamente nocivos à saúde humana;
- Evitar ou minimizar a especificação de revestimentos – piso, parede e teto – e mobiliários que possuam adesivos ou colas para sua fixação e que possam emitir compostos orgânicos voláteis no ambiente ao longo da sua vida útil;
- Minimizar o uso de produtos derivados e os precursores de materiais como o PVC e outros plásticos, borrachas, e outros materiais que são produtos petroquímicos de difícil degradação (KEELER; BURKE, 2010);
- Evitar utilizar, de forma exposta, materiais fibrosos ou que possam emitir pequenas partículas nocivas ou não a saúde humana tais como, lãs de vidro, lãs de rocha, amiantos e fibras minerais;
- Evitar tintas a óleo e esmaltes sintéticos assim como tintas e vernizes que contêm metais, chumbo ou compostos de cromo. Utilizar tintas, solventes, laqueados e vernizes a base de água ou ecológicos que possuem um menor nível de emissão de poluentes no ar como compostos orgânicos voláteis;
- Recomenda-se a utilização de materiais que possuem certificações por testes de emissão e programas de avaliação baseados, por exemplo, nos Critérios de Avaliação de Produtos para Determinação de Impacto da Qualidade do Ar Interno da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (EPA, 2006);
- Privilegiar a especificação de materiais com boa durabilidade e menor exigência de limpeza, pois um material que necessita de tratamento ou de produtos de limpeza com frequência acaba contribuindo de forma indireta para a poluição do ar interno;
- Uso de materiais que minimizem o crescimento de fungos, bactérias e acúmulo de umidade. Evitar materiais muito porosos, tais como veludos e carpetes para revestimento e estofamento de mobiliário;
- Vedação eficiente externa da edificação visando minimizar a entrada, condensação e a infiltração de água no seu interior;

- Garantir o controle adequado da umidade segundo normas brasileira ANVISA – RE n.º 9/2003;
- Considerar no projeto a sequência da construção, de forma a minimizar o acúmulo de contaminantes durante a obra;
- Propor sistemas de ventilação natural ou artificial de forma a garantir a taxa de renovação mínima recomendada pela ANVISA RE n.º 9/2003 em ambientes climatizados e pela ASHRAE *Standard* 62-2001, Ventilação aceitável para Qualidade do ar Interno, incluindo um sistema de climatização que garanta a filtragem e limpeza do ar ambiente, caso necessário. Poderão ainda ser adotadas como parâmetro a NBR 16401-3(ABNT, 2008) no que se refere à qualidade do ar e as diretrizes para qualidade do ar interior da Organização Mundial da Saúde.
- Os sistemas de ventilação para a cozinha devem seguir a NBR 14518. Deverão ser instaladas, sobre a área de cocção, coifas metálicas com geometria apropriada ou sistema semelhante; e
- De forma geral, o projeto deve ser elaborado de maneira a garantir o cumprimento das normas e diretrizes citadas anteriormente, prevendo ainda meios de monitoramento do atendimento a estas que serão auditadas durante o funcionamento da edificação.

A análise das características arquitetônicas e técnicas construtivas permitiu identificar algumas soluções que já vem sendo adotadas nas edificações. Como exemplo, embora as estações apresentem variedade nas formas, todas adotaram uma estrutura elevada do solo, a setorização dos ambientes, e o emprego de material isolante na vedação externa.

Devido à dificuldade de obtenção de dados arquitetônicos mais completos, as diretrizes estabelecidas pelo Termo de Referência (INSTITUTO..., 2015) auxiliaram a compreensão das questões específicas ao continente que requerem atenção na etapa de projeto para a orientar a proposição de edifícios que atendam aos requisitos para o conforto, saúde e segurança dos usuários. As informações levantadas serviram como orientação para o desenvolvimento dos indicadores, visto os condicionantes de projeto para as novas edificações da EACF representarem necessidades semelhantes a outras situações no continente.



SUSTENTABILIDADE

3. SUSTENTABILIDADE

Proveniente do latim “sustentare”, sustentabilidade significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir (SICHE et al., 2007). Cada vez mais empregada nos diversos setores da sociedade, a palavra “sustentabilidade” pode ser vista em diversos termos, como: desenvolvimento sustentável, comunidades sustentáveis, indústrias sustentáveis, entre outros.

Apesar desta vasta possibilidade de definições, o termo desenvolvimento sustentável foi delimitado no Relatório de Brundtland em 1987, passando a ser adotado de forma mais consensual como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (WCED, 1987, p.43).

Essa mudança de posicionamento e o entendimento da necessidade de se repensar a forma como o homem interage com o meio ambiente ocorreu a partir do século XX, com importantes acontecimentos (fig. 18) marcando a evolução do ideal do desenvolvimento sustentável (MATEUS, 2009).

Figura 18 - Os eventos que marcaram a trajetória global da sustentabilidade

1968	Na Conferência intergovernamental para o uso racional e conservação da Biosfera, promovida pela UNESCO, surgem as primeiras discussões acerca do desenvolvimento ecologicamente sustentável.
1980	O relatório Global 2000, encomendado pelo presidente do E.U.A., Jimmy Carter, afirma pela primeira vez que a biodiversidade é fundamental para o funcionamento do ecossistema planetário.
1982	A Carta Mundial para a Natureza, das Nações Unidas, adota o princípio de que os ecossistemas e organismos devem ser geridos de modo a manter uma produtividade sustentável.
1984	A conferência internacional “Ambiente e Economia” promovida pela O.C.D.E. concluem que o ambiente e a economia são interdependentes. Nesta conferência foram lançadas as bases para o relatório “Nosso Futuro Comum”.
1985	Cientistas americanos e ingleses descobrem o buraco na camada de ozônio sobre a Antártica.
1987	Publicação do relatório “Nosso Futuro Comum” ou relatório de “Brundtland” pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que cria e define pela primeira vez o conceito “Desenvolvimento Sustentável”.
1992	Ocorre no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Eco-92. Dela resulta a Agenda 21, que estabelece um novo padrão de desenvolvimento ambiental. Também são assinadas a Convenção da Biodiversidade e a Convenção de Mudanças Climáticas.
1994	Charles Kibert define pela primeira vez o conceito de “construção sustentável”, como a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos”.

1996	A Assembleia Geral da ONU estabelece os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio.
2000	A norma ISO 14001 é adotada como padrão Internacional para a gestão ambiental de empresas.
2005	O Protocolo de Quioto entra em vigor, obrigando países desenvolvidos a reduzir a emissão de gases que provocam o efeito de estufa e estabelecendo o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para os países em desenvolvimento.
2006	Relatório da Nasa indica que a camada de ozônio está se recuperando, em parte devido às concentrações reduzidas de CFCs, eliminados no âmbito do Protocolo de Montreal. O Relatório Stern sobre a Economia das Mudanças Climáticas afirma que o custo da inação sobre mudanças climáticas será até 20 vezes maior do que medidas necessárias para resolver a questão neste momento.
2007	Protocolo de Montreal sobre substâncias que empobrecem a camada de ozônio. Os países concordam com um cronograma acelerado de eliminação de hidroclorofluorocarbonos (HCFCs).
2008	Pela primeira vez na história, mais de 50% da população do mundo vive em vilas e cidades. Alguns governos passam a investir uma parte dos seus poderes econômicos em ações ambientais, e a baixa emissão de carbono e o “crescimento verde” tornam-se novos objetivos para a economia do futuro. Os cientistas descobrem que os oceanos estão ficando mais ácidos a uma taxa mais rápida do que se pensava anteriormente. Pesquisas realizadas durante oito anos indicam graves consequências para os ecossistemas globais.
2009	Nações do G20 se reúnem para buscarem a eliminação gradual dos subsídios aos combustíveis fósseis, e buscar medidas que conduzam a um consumo sustentável, oferecendo um apoio orientado para as pessoas mais pobres. A Conferência de Copenhague não consegue chegar a um acordo sobre novos compromissos de redução de emissões de GEE para além de 2012 (o fim do prazo Protocolo de Quioto). Aumentos recordes de emissões de GEE resultam nas projeções mais pessimistas do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.
2010	O relatório final da Economia dos Ecossistemas e Biodiversidade exige maior reconhecimento da contribuição da natureza para a subsistência humana, a saúde, segurança e cultura por parte dos decisores.
2011	O resultado das negociações sobre mudança climática em Durban "é um passo em frente no estabelecimento de um acordo internacional para além de Quioto e um dos compromissos de mitigação de todos os principais emissores, incluindo países desenvolvidos e vários grandes países em desenvolvimento". O 12º Plano Quinquenal da China para o desenvolvimento econômico é baseado em metas de desenvolvimento sustentável, incluindo reduções substanciais na poluição de carbono e intensidades energéticas. O plano é apoiado por quase meio trilhão de dólares em despesas propostas para a proteção ambiental.
2012	Uma das primeiras metas dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio é alcançada antes do prazo de 2015: a percentagem de pessoas no mundo sem acesso à água potável é reduzida à metade. 40 anos depois de Estocolmo e 20 anos após a Cúpula da Terra, a comunidade global se reúne no Rio +20 em um esforço para encontrar um acordo sobre as economias do mundo através de uma série de medidas inteligentes, como a adoção de energia limpa, empregos decentes e a utilização mais sustentável e justa dos recursos.

Fonte: Elaborado a partir de IISD (2012)

3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Exemplares remanescentes da arquitetura comprovam que desde o princípio da civilização humana o homem já possuía o cuidado de construir seu abrigo em conformidade com a topografia, vegetação e com melhor adaptação ao calor e frio, a fim de obter melhores condições de conforto (SILVA, 2007). Entretanto, o conceito da construção sustentável é uma resposta recente à necessidade de redução dos impactos ambientais e de saúde decorrentes do setor da construção e edifícios (BALABAN; OLIVEIRA, 2016). De uma forma mais específica, ele busca minimizar os impactos ambientais, e reduzir e racionalizar o uso de recursos naturais (DING, 2008).

A sustentabilidade no ambiente construído ganhou destaque principalmente a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 e também conhecida como Cúpula da Terra. A conferência possuiu um papel primordial para a disseminação do desenvolvimento sustentável, consolidando uma agenda global para o meio ambiente. A Agenda 21 contribuiu para o estabelecimento dos princípios que basearam a sustentabilidade e a criação de estratégias locais e nacionais direcionadas à construção, além do desenvolvimento de indicadores como instrumento para tomada de decisões (MONTARROYOS, 2015). Assim, foi criado um processo para a identificação, comparação e classificação das opções passíveis de serem adotadas nas edificações, baseando-se em critérios e objetivos previamente estabelecidos (DING, 2008).

Embora o foco tenha se voltado primeiramente para as questões ambientais (incentivado pela necessidade de uma melhor forma de uso e obtenção de energia), alguns países destinaram suas ações às suas necessidades locais. Enquanto os países industrializados direcionaram suas agendas buscando recuperar as consequências do desenvolvimento acelerado em seu meio ambiente, os países desenvolvidos buscavam superar os problemas relacionados a pobreza e desigualdade social (SILVA, 2003).

Mateus (2009) afirma que por ser um conceito multidimensional, para ser considerada sustentável a construção deve atender às diferentes dimensões da sustentabilidade, ou seja, ambiental, social e econômica. Para tanto, diversos fatores devem ser atendidos desde a concepção do projeto ao desmonte do mesmo, considerando cada fase do ciclo de vida do edifício.

Para Young (1997), a sustentabilidade pode ser comparada com um banquinho de três pernas em que cada uma corresponde a alguma dimensão, e a ausência de apenas uma delas seria o suficiente para desequilibrar o sistema. Esse exemplo simples, embora antigo, ainda ilustra adequadamente a interdependência de uma medida sustentável, a qual deve combinar as ações individuais e coletivas para preservar o meio ambiente, desenvolver a economia e atender as demandas da sociedade.

Assim, dentro das questões que envolvem a sustentabilidade de edifícios, pode-se citar a lista de prioridades que Mateus (2009) descreve como a base de uma construção sustentável: economia de energia e água; aumento da durabilidade das edificações; planejamento da manutenção e conservação dos edifícios; uso de materiais eco eficientes; redução no uso dos recursos naturais; minimização de resíduos; economia; garantia de condições ideais de segurança durante a construção; e garantia da salubridade do edifício. Além deste trabalho, há uma série de pesquisas semelhantes que abordam o tema, mas que divergem quanto às suas prioridades.

Embora ainda não exista um consenso internacional que defina a metodologia para avaliação da construção sustentável, algumas organizações normativas têm promovido esforços para a sistematização do processo. Como exemplo, pode-se citar a Organização Internacional de Normalização (ISO), o Comitê Europeu de Normalização (CEN) e CEN/TC com o estabelecimento de métodos padronizados para a avaliação (MATEUS, 2009; ALYAMI; REZGUI, 2012).

A análise do desempenho de um edifício pode variar também segundo o interesse das diferentes partes envolvidas no processo. Cole (1999) exemplifica essa questão com o exemplo do construtor, que normalmente preocupa-se mais com os aspectos econômicos, em contrapartida com o usuário, que desejará um bom desempenho na qualidade do ar, conforto, e segurança, entre outros.

Conseqüentemente, o crescimento de edifícios que passaram a empregar os conceitos da sustentabilidade resultou na necessidade da introdução de sistemas de avaliação ou de certificação para analisar o desempenho dos edifícios e certificar as melhores práticas adotadas (BALABAN; OLIVEIRA, 2016).

3.2 FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS

As ferramentas de avaliação de sustentabilidade foram impulsionadas, principalmente, pela necessidade em comprovar o real desempenho dos edifícios que adotavam as estratégias da construção sustentável, e pela constatação de que sua adoção poderia incentivar a proposição de edifícios mais eficientes através da existência de certificações ou classificação de desempenho (SILVA, 2003; SILVA, 2008).

Essas ferramentas são um sistema de informações que auxiliam em importantes pontos de tomada de decisão na adoção de medidas ou ações que possibilitam uma construção mais sustentável, permitindo que sejam considerados os impactos causados a curto e longo prazo por tais ações. Em cada ponto de decisão existe uma solução ideal ao caso, eleita a partir de várias alternativas (KATES et al., 2005; KANG; LEE; KIM, 2016). Além disso, elas viabilizam mensurar quão sustentável uma edificação é, e as medidas que podem ser adotadas na edificação para a obtenção de um melhor desempenho final (FORSBERG; VONMALMBORG, 2004; MONTARROYOS, 2015).

Algumas funções atribuídas aos indicadores são o fornecimento de uma ampla avaliação das características do edifício através de um conjunto verificável de critérios e metas, e a viabilização de um método para avaliação objetiva do desempenho do edifício (COLE, 1999). Para Mateus (2009), o objetivo principal é a capacidade de reunir e comunicar informações do edifício durante suas diferentes fases. Dessa forma, a adoção de ferramentas permite uma mudança no processo construtivo, auxiliando os usuários reais, como arquitetos, construtores, setores da construção civil, entre outros (KANG; LEE; KIM, 2016).

De uma forma geral, as ferramentas possuem estruturas hierárquicas semelhantes, sendo subdivididas em categorias/áreas analisadas, que por sua vez são compostas por uma lista de indicadores e parâmetros (também chamados de marcas de referência ou *benchmark*) agrupados de acordo com o aspecto que abordam em relação ao edifício, permitindo orientar a alternativa que apresentará o desempenho esperado, além da análise das práticas sustentáveis empregadas.

Os primeiros estudos sobre indicadores ocorreram principalmente no Canadá e Europa a partir da década de 1980, tendo como foco principal as questões ambientais. Seu emprego como instrumento para a tomada de decisões ocorreu principalmente após a Conferência

das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992. Além da área da construção civil, eles também são utilizados em diversos campos, como em ciências sociais, políticas, biológicas, geociências, entre outros (BISSOLI, 2014).

Grande parte das ferramentas de avaliação empregam os indicadores como método de desenvolvimento devido a capacidade que eles possuem em avaliar e direcionar as medidas mais sustentáveis a serem adotadas nas edificações (MATEUS, 2009; MONTARROYOS, 2015), além de conseguirem concentrar, de forma dinâmica, uma vasta quantidade de informações. Através deles é possível orientar decisões, indicar tendências, e quantificar e analisar aspectos construtivos de alta complexidade.

Os indicadores permitem obter informações sobre fenômenos complexos através de formas simplificadas, garantindo maior facilidade de aplicação e compreensão dos objetivos tratados (ISO, 2011).

Eles devem medir aquilo a que se propõem com objetividade, serem específicos e sensíveis a possíveis alterações (ORGANIZACIÓN..., 1981). Os indicadores podem ser utilizados para diversos objetivos, como a definição de alvos a serem alcançados; analisar alterações de um edifício ao longo do tempo; indicar tendências; propor objetivos a serem alcançados; e, posteriormente, monitorar os resultados alcançados (BISSOLI, 2014).

Embora o desenvolvimento sustentável seja uma necessidade global, as ações e estratégias a serem abordadas na construção civil para o alcance desse desenvolvimento variam de região para região devido as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes entre elas. Dessa forma, seria incorreto utilizar um sistema com a padronização de indicadores e seus respectivos pesos, visto que isso significaria a desconsideração de tais diferenças. Para resolver essa questão, vários países desenvolveram suas próprias ferramentas, adaptando-as de acordo com sua realidade e necessidades. Entretanto, não existe atualmente um consenso quanto ao melhor método para orientar essa atribuição (DING, 2008; MATEUS, 2016).

Considerando a especificidade e diversidade de definições encontradas nos termos adotados, o quadro 1 apresenta o conceito adotado para as expressões utilizadas no decorrer da dissertação.

Quadro 1 - Definição dos principais termos relacionados com a sustentabilidade de edifícios

Termo	Definição	Fonte
DADOS	Os dados são a base de informações para os indicadores e índices.	Segnestam (2002)
FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO	Instrumento de avaliação que utiliza indicadores e/ou medidas de desempenho do edifício em concordância com as condições de uma localidade ou objeto. Como exemplo, pode-se citar as ferramentas BREEAM, CASBEE, LEED, SBTool.	Silva (2007)
ÍNDICE OU CATEGORIA	É o grupo de indicadores agregados ou parâmetros ponderados.	Segnestam (2002)
INDICADOR	Os indicadores são medidas qualitativas ou quantitativas que permitem obter informações sobre fenômenos complexos através de uma forma mais simplificada para compreensão e uso.	ISO (2011)
PARÂMETRO OU MARCA DE REFERÊNCIA	É uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação acerca de um fenômeno, ambiente ou área. Seu uso funciona como uma referência, permitindo que as melhores práticas disponíveis sejam comparadas.	Costa (2005) Mateus (2009)

Para a realização da pesquisa foram mantidas as ferramentas adotadas no trabalho desenvolvido por Montarroyos (2015), selecionadas devido ao reconhecimento e predominância em nível mundial que elas possuem; por serem flexíveis quanto as particularidades do local de aplicação; e por terem sido desenvolvidas também para aplicação durante a fase de concepção/projeto do edifício (ALYAMI; REZGUI, 2012). As ferramentas analisadas foram: BREEAM/ Reino Unido (BREAM, 2009); CASBEE/ Japão (CASBEE, 2014); LEED/ Estados Unidos (USGBC, 2014); e SBTool/ Consórcio Internacional (COLE; LARSSON, 2002) e, além destas as ferramentas AQUA/ Brasil (FCAV, 2014) e ASUS/ Brasil (ALVAREZ; SOUZA, 2011), ambas provenientes de adaptações ao contexto local aos quais se aplicam.

3.2.1 BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method

O *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) foi o primeiro método de avaliação proposto, lançado em 1990 na Inglaterra (MATEUS, 2011). Por seu pioneirismo ele se tornou um dos métodos mais reconhecidos, além de ter se tornado base para o desenvolvimento de outras diversas ferramentas (SILVA, 2008; ALYAMI; REZGUI, 2012).

Atualmente com mais de 530 mil edifícios avaliados em mais de 70 países, o BREEAM pode ser empregado em edifícios residenciais, comerciais, públicos e institucionais, e em novas edificações, reformas, edificações existentes e comunidades. Seu acesso, entretanto, é privado, sendo destinado a consultores especializados a classificação do edifício analisado (BREEAM, 2016).

O *BREEAM* tem como meta os seguintes aspectos (BREEAM, 2016):

- Minimizar os impactos causados no ambiente pelo ciclo de vida dos edifícios;
- Permitir o reconhecimento do edifício segundo seus benefícios ambientais;
- Fornecer uma etiquetagem confiável para edificações; e
- Estimular a demanda por edifícios, materiais e indústrias sustentáveis.

A ferramenta atende a 7 categorias de análise, sendo elas: uso do solo; energia; água; materiais e resíduos; saúde e conforto; poluição; e transporte, gestão e inovação.

O sistema de pontuação é feito através da análise do atendimento dos critérios de desempenho estabelecidos, sem a determinação explícita de pesos. Deste modo, o resultado é determinado através de um, entre cinco níveis disponíveis: aceitável, bom, muito bom, excelente e excepcional (BREEAM, 2016).

3.2.2 LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

Incentivado pela necessidade de um sistema desenvolvido especificamente para os Estados Unidos, o Conselho de Edificações Sustentáveis dos Estados Unidos (*US Green Building Council* - USGBC) lançou em 1998 o LEED, um sistema de classificação de construção verde direcionada ao mercado (USGBC, 2016).

Sendo alvo de frequentes melhorias desde sua implantação, o sistema encontra-se atualmente na versão “LEED v4” e com operação em mais de 160 países. É contemplada a

certificação de edifício novos e existentes, além de uma variada gama de edificações, como edifícios residenciais, comerciais, públicos, institucionais, interiores e comunidades. A nova versão passou a considerar o uso da água de forma mais abrangente, incluindo também novos créditos para o *smart grid* (USGBC, 2016).

De acesso privado, a ferramenta contempla 7 critérios de avaliação e 1 que funciona como pontuação extra, sendo eles: espaço sustentável; energia e atmosfera; uso eficiente de água; materiais e recursos; qualidade do ambiente interno; inovação e processos; e créditos de prioridade regional (USGBC, 2016).

O nível de certificação varia de acordo com os créditos atendidos, sendo estabelecido 40 como mínimo variando até 110 pontos. Por fim, o edifício pode ser certificado em um dos níveis disponíveis: *LEED™ Certified* (40-49 pontos); *Silver* (50-59 pontos); *Gold* (60-79 pontos); ou *Platinum* (acima de 80 pontos).

3.2.3 CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*

O CASBEE foi lançado em 2002 pelo *Japan Sustainability Building Consortium* (JSBC) após uma cooperação mútua entre o governo do Japão, a indústria e a comunidade científica (DING, 2008). Ele é um método para a avaliação e classificação do desempenho ambiental dos edifícios e do ambiente construído, subdividido em 15 versões que contemplam todas as fases do edifício, além de instituições, desenvolvimento urbano, efeitos das ilhas de calor, entre outros (CASBEE, 2016).

Seu objetivo é melhorar a qualidade de vida dos usuários e diminuir o consumo, os impactos do ciclo de vida e das cargas ambientais dos materiais. Os aspectos analisados para a certificação de edifícios se dividem em 7 categorias, sendo elas: ambiente interno; qualidade de serviço; sítio; energia; recursos; materiais; e impacto externo (CASBEE, 2016).

Seu sistema de pontuação é feito através do quociente da “Eficiência Ambiental da Edificação” (*Building Environmental Efficiency*), através da fórmula $BEE = Q/L$ que representa o valor da qualidade e desempenho ambiental do produto e serviço, pela unidade de carga ambiental. Os resultados são dados através de cinco níveis de desempenho: S, A, B+, B- e C (CASBEE, 2016).

3.2.4 AQUA – Alta Qualidade Ambiental

A ferramenta AQUA foi desenvolvida através de uma adaptação ao contexto brasileiro a partir do original francês *Haute Qualité Environmentale* (HQE). Lançada em 2008 em parceria com a Fundação Carlos Alberto Vanzolini, a ferramenta manteve a base conceitual francesa, adequando seu referencial técnico de acordo com o clima, cultura, e as regulamentações e normas técnicas brasileiras (SOUZA, 2008; FCAV, 2016).

A metodologia da ferramenta se baseia em duas formas de avaliação:

- O Sistema de Gestão do Empreendimento – SGE: permite a avaliação do sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor. Possibilita a definição do nível de qualidade ambiental a ser atingido pela edificação e o controle dos processos inerentes às fases de concepção e construção.
- A Qualidade Ambiental do Edifício – QAE: permite a avaliar o desempenho arquitetônico e técnico alcançados pelo edifício através de 14 categorias, sendo elas: relação do edifício com o seu entorno; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos; canteiro de obras de baixo impacto ambiental; gestão da energia; gestão da água; gestão de resíduos de uso e operação do edifício; manutenção – permanência do desempenho ambiental; conforto higrotérmico; conforto acústico; conforto visual; conforto olfativo; qualidade sanitária dos ambientes; qualidade sanitária do ar; e qualidade sanitária da água (SOUZA, 2008; FCAV, 2016).

A pontuação é distribuída conforme ao desempenho obtido nas subcategorias, sendo possível atingir 3 níveis: bom, superior e excelente.

3.2.5 ASUS – Avaliação de Sustentabilidade

A ferramenta ASUS foi elaborada a partir da identificação da necessidade de uma ferramenta que considerasse as particularidades brasileiras, mais especificamente o estado do Espírito Santo. Desenvolvida no meio acadêmico, ela foi inicialmente proposta como resultado de uma pesquisa individual de mestrado em 2008 (SOUZA, 2008), sendo posteriormente aprimorada por uma equipe multidisciplinar e lançada oficialmente em 2011 (ALVAREZ; SOUZA, 2011). O foco foi para a avaliação de escritórios na etapa de projeto, com sua metodologia baseada no sistema do SBTool (SOUZA, 2008; MONTARROYOS, 2015).

Com acesso livre, ela contempla 6 critérios de avaliação, sendo eles: planejamento do empreendimento; consumo de recursos; qualidade do ambiente; qualidade dos serviços; cargas ambientais; aspectos sociais, culturais e econômicos (ALVAREZ; SOUZA, 2011).

A pontuação ocorre segundo a escala de desempenho alcançado: -1 a 0 para desempenho abaixo do esperado; 0 a 1 para desempenho mínimo esperado; 1 a 2 para desempenho bom; 3 a 4 para desempenho superior e; 4 a 5 para prática de excelência.

3.2.6 SBTool – *Sustainable Building Tool*

O SBTool é uma ferramenta desenvolvida para classificar o desempenho de edifícios sustentáveis. Sua maior contribuição, entretanto, foi por ele ter sido o primeiro método a apresentar uma estrutura genérica e flexível, o que permitiu o uso de sua metodologia para o desenvolvimento de outras ferramentas através da adequação de seu sistema às características regionais do local a ser empregado (DING, 2008).

Originalmente financiado pelo governo do Canadá, o sistema foi desenvolvido a partir de 1996, sendo aprimorado desde então através de revisões feitas com o auxílio dos resultados de pesquisas e retorno dos seus usuários (SOUZA, 2008).

Ele pode ser utilizado em uma vasta gama de situações para auxiliar medidas mais sustentáveis, atendendo desde governos, à construtores e instituições de ensino, graças à sua capacidade de adaptação. Em consequência à possibilidade da alteração dos dados disponibilizados no sistema, é possível gerar uma ferramenta em consonância ao contexto estudado, permitindo o desenvolvimento de um sistema de classificação adaptado às particularidades locais (DING, 2008; SOUZA, 2008).

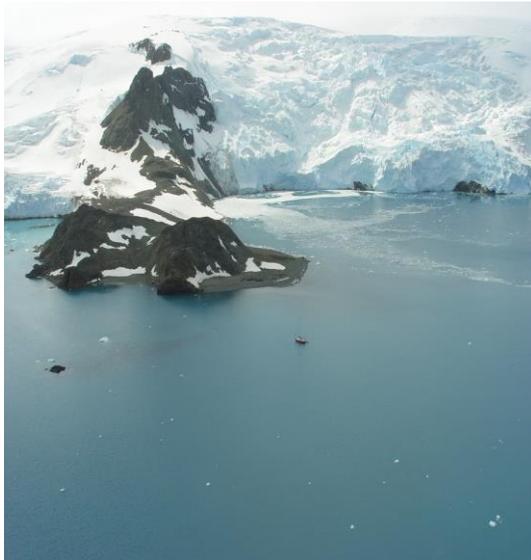
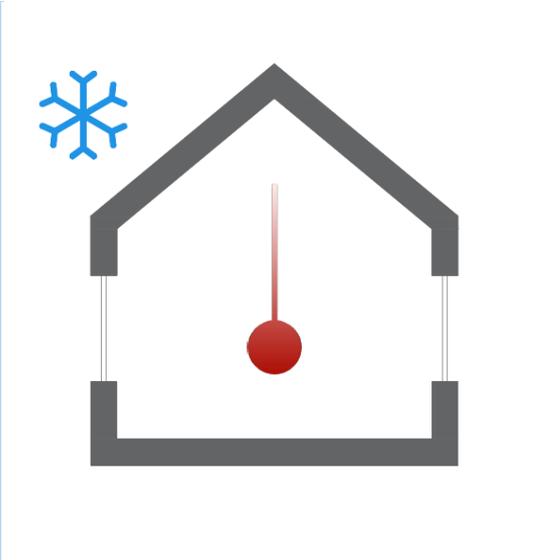
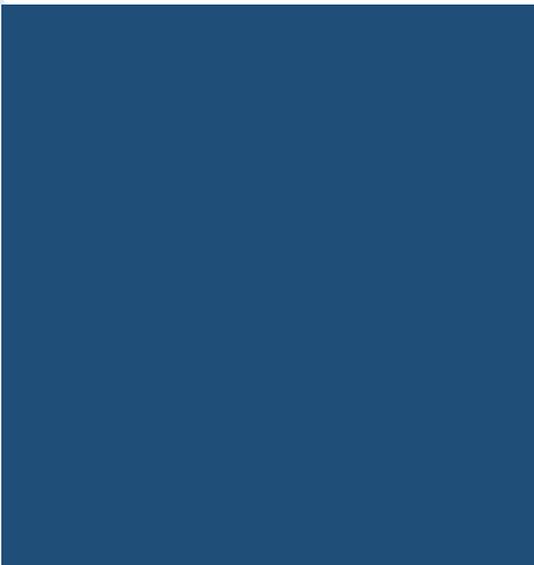
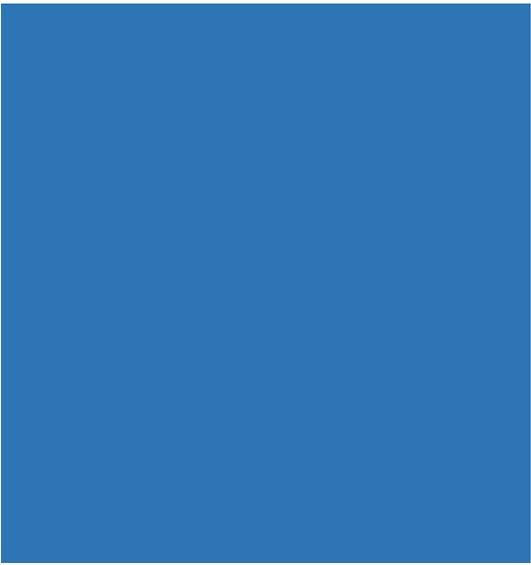
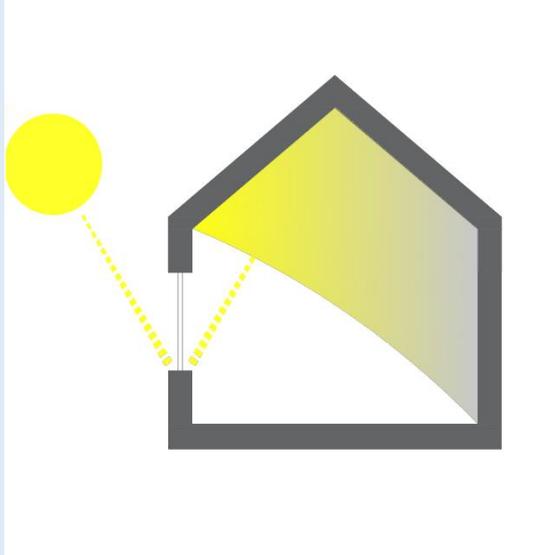
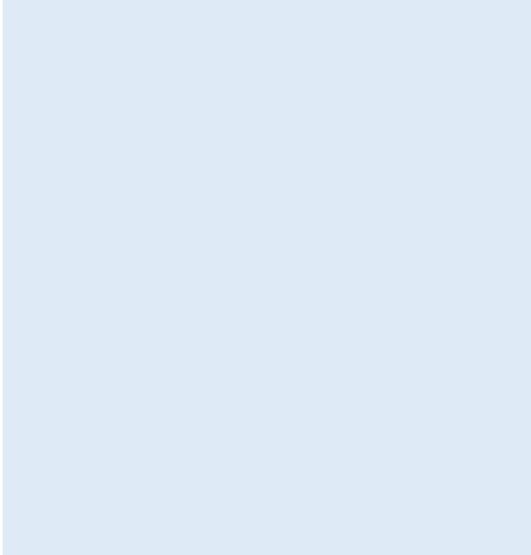
Com acesso livre, a ferramenta permite a certificação de edifícios novos, em uso ou existentes, contemplando 7 categorias de análise, sendo elas: seleção do terreno, planejamento e desenvolvimento; energia; consumo de recursos (água); consumo de recursos (materiais); qualidade do ambiente interno; cargas ambientais; gestão e qualidade dos serviços.

Sua estrutura é organizada em níveis hierárquicos que contém as áreas de avaliação, categorias e indicadores. A ponderação determina um peso para cada indicador e sua importância em relação aos outros, obtendo assim sua relevância no contexto geral da ferramenta (LARSSON, 2015).

Cada indicador analisado recebe uma pontuação: -1 Desempenho negativo; 0 Desempenho mínimo aceitável; +3 Boa prática; e +5 Prática de excelência. O desempenho do edifício é dado através do somatório dos pontos obtidos (LARSSON, 2015).

Através da análise das ferramentas, optou-se pela adoção da estrutura e método de ponderação utilizados pela SBTool. Tais métodos se mostraram adequados pois a SBTool caracteriza-se como um quadro de avaliação genérico que pode ser utilizado por terceiros para o desenvolvimento de sistemas de classificação adaptados a diferentes fatores regionais e tipos de edifícios (MATEUS; BRAGANÇA, 2011). Dessa forma, é possível realizar o ajuste da ferramenta inserindo *benchmarks* relevantes ao contexto local, característica inexistente em outros sistemas de classificação como *BREEAM*, *CASBEE* e *LEED*. Seu método foi proposto visando permitir aos usuários considerar diferentes necessidades e prioridades, adequando-se ao contexto ambiental, sociocultural, econômico e tecnológico de diferentes regiões (MATEUS; BRAGANÇA, 2011; LARSSON; BRAGANÇA, 2012). Para tal, a ferramenta permite excluir indicadores ou reduzir pesos pré-estabelecidos de acordo com a identificação das necessidades e fatores locais (LARSSON, 2015).

Além desse diferencial em relação às demais metodologias, a SBTool também apresenta outras características importantes, como: pode ser utilizada em todas as fases do ciclo de vida do edifício (pré-projeto, projeto, construção e operação); pode ser utilizada para avaliar edifícios residenciais, comerciais e/ou institucionais; permite avaliar desde um único edifício a projetos de grande porte, novos ou já existentes, ou ambos simultaneamente; possui módulos separados que permitem a análise individual do sítio e o edifício; e permite que o projetista especifique metas de desempenho para auto avaliação do projeto (LARSSON, 2015).



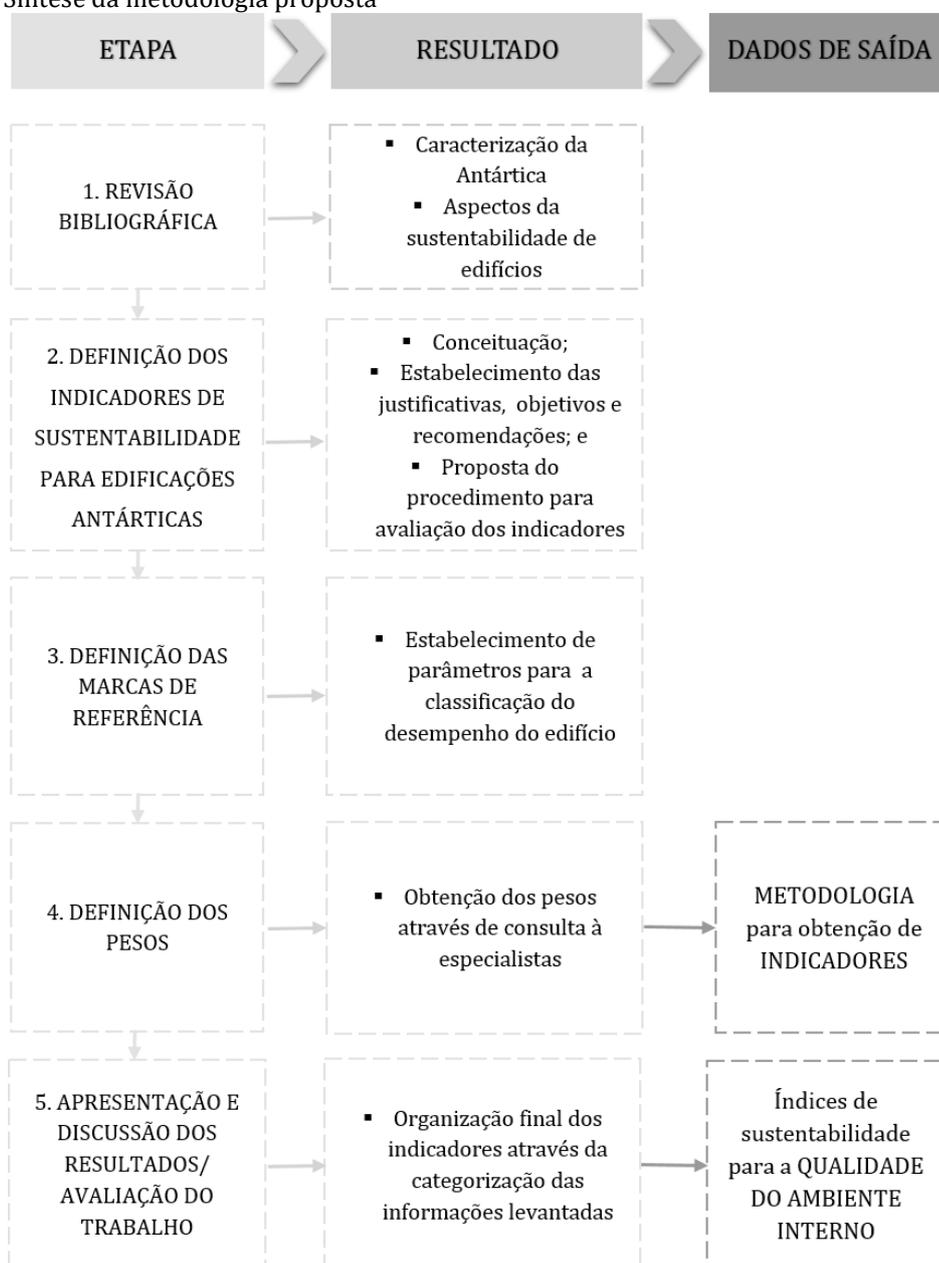
METODOLOGIA

4. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento dos indicadores para a qualidade do ambiente interno em edificações antárticas, foram elaborados a partir da análise das metodologias de ferramentas de avaliação internacionalmente reconhecidas, e de pesquisas científicas que trabalharam a adaptação de ferramentas já existentes para locais e condições específicas.

Para uma melhor compreensão do método, foi elaborado um fluxograma (fig. 19) que indica as etapas do trabalho, sendo cada etapa descrita a seguir:

Figura 19 - Síntese da metodologia proposta



4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo da revisão bibliográfica foi realizar um levantamento do estado da arte acerca dos temas abordados na pesquisa. Mediante a isto, a revisão foi feita através de livros, teses, dissertações e artigos científicos, além de documentações em sites disponibilizados pelas organizações responsáveis pelas ferramentas de avaliação, e pelos programas antárticos de diferentes países.

Para a organização dos dados, o levantamento foi dividido em 2 etapas, conforme detalhado a seguir:

1. A compreensão das características do continente que, de alguma forma, interferiam no objeto de estudo, tais como o histórico da ocupação humana; a importância econômica, política e estratégica; o meio ambiente e a sensibilidade do local. Foram abordados também os aspectos que se relacionam com a edificação, como os condicionantes projetuais, os fatores limitantes e potencialidades do local, além das técnicas construtivas e práticas projetuais adotadas no continente, com especial foco na EACF.
2. Entendimento dos conceitos relacionados à sustentabilidade com foco na concepção de edifícios sustentáveis. Após essa primeira aproximação com o tema, foi realizado o levantamento dos principais sistemas de avaliação de edifícios existentes, e da metodologia adotada para o desenvolvimento de cada ferramenta, visto a variedade de métodos que elas possuem entre si. Esse levantamento permitiu delinear os procedimentos metodológicos adotados para a obtenção do resultado esperado na pesquisa.

A pesquisa bibliográfica permitiu constatar que, embora haja um grande número de pesquisas sobre a sustentabilidade na construção civil e ferramentas de avaliação, praticamente não existem estudos que apliquem o tema a locais inóspitos, como o caso do continente antártico. Devido à necessidade de relacionar os assuntos para a proposição dos indicadores, foi de fundamental importância a compreensão dos temas estudados para o direcionamento e desenvolvimento da pesquisa.

4.2 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES

Após a etapa de revisão bibliográfica foi realizada a seleção dos indicadores para a qualidade do ambiente interno, que correspondessem às questões pertinentes ao continente antártico, conforme detalhado a seguir.

4.2.1 Seleção de indicadores para a qualidade do ambiente interno

O limite de avaliação dos indicadores foi definido para a etapa de planejamento e projeto com base em dois fatores: por estar em concordância com o trabalho desenvolvido por Montarroyos (2015); e porque o uso de um método de avaliação torna-se muito mais eficiente durante a fase de concepção do projeto, visto a possibilidade de se avaliar as decisões incorporadas e adequá-las ou modificá-las quando necessário (ALYAMI; REZGUI, 2012). Portanto, a proposição de uma ferramenta específica para esta etapa permite auxiliar futuros projetos desenvolvidos no continente, além de gerar uma base de dados como apoio para tomada de decisões e, eventualmente, para o posterior monitoramento do desempenho da edificação.

Como já citado, para o desenvolvimento dos indicadores específicos às características antárticas adotou-se, a princípio, os indicadores anteriormente propostos por Montarroyos (2015). Entretanto, a etapa de revisão bibliográfica permitiu o aprofundamento das questões específicas ao continente, bem como dos indicadores estabelecidos por ferramentas de avaliação já consolidadas.

Dessa forma, os indicadores foram listados e analisados segundo critérios adaptados da metodologia utilizada por Souza (2008), com o objetivo de verificar o nível de adequabilidade dos mesmos, conforme as seguintes considerações:

1. Critério adequado ao contexto antártico quanto ao conteúdo e indicador;
2. Critério adequado ao contexto antártico quanto ao conteúdo, mas não quanto ao indicador – estudo da possibilidade de adaptação;
3. Critério não relevante ao contexto antártico; ou
4. Critério relevante ao contexto antártico, porém, com carência ou ausência de dados disponíveis para validar a avaliação.

A realização desta análise permitiu chegar à proposição final dos indicadores para a qualidade do ambiente interno. A partir do estabelecimento dessa lista, a etapa seguinte configurou-se no desenvolvimento de cada indicador.

4.2.2 Desenvolvimento do indicador

Os indicadores devem ser descritos quanto sua definição, o potencial impacto causado, requisitos de dados, e disponibilidade de fontes (ISO, 2011). Assim, para o desenvolvimento do trabalho, os indicadores selecionados foram trabalhados individualmente, sendo estabelecido:

- Conceituação dos indicadores: aborda a definição dos assuntos a serem trabalhados no indicador;
- Objetivo: refere-se ao resultado que se espera obter com o atendimento do mesmo;
- Procedimento de avaliação: descreve a metodologia a ser seguida para a verificação do atendimento do indicador;
- Marcas de referências: define o que deve ser atendido para o cumprimento do atendimento integral, parcial ou não atendimento do indicador; e
- Pesos: indica a relevância do atendimento do indicador específico dentro do contexto geral dos demais indicadores.

4.2.3 Definição das marcas de referência

Segundo Costa (2012) as marcas de referência (ou *benchmarks*) permitem classificar o desempenho do edifício através de parâmetros pré-definidos, existindo a possibilidade de seu estabelecimento através de duas formas, ou seja, por parâmetros quantitativos ou qualitativos. Os critérios quantitativos compreendem, por exemplo, o uso de energia, consumo de água, as emissões de compostos orgânicos voláteis, entre outros. Já os qualitativos incluem impacto sobre o valor ecológico do sítio, partido arquitetônico que potencializa a conservação do calor, entre outros.

Em situações cotidianas, os valores variam de acordo com o local para qual ele se insere, sendo necessária à coleta de dados das práticas típicas da região e aquelas consideradas de excelência. Sabe-se, porém, que sua definição apresenta algumas dificuldades em razão da necessidade de dispor de uma grande quantidade de informações e dados tratados, devendo eles ainda serem estatisticamente representativos (SOUZA, 2008).

Assim, para o desenvolvimento do trabalho foram adotadas ambas as formas, de acordo com a disponibilidade de informação encontrada e o melhor meio para a comunicação dos indicadores. As marcas de referência de cada indicador foram definidas através de dados coletados em periódicos, normas técnicas e legislações a fim de obter o desempenho mínimo (ou padrão), o desempenho esperado e o desempenho máximo da prática, conforme descrito no quadro 2. Essa estrutura, bem como a atribuição da pontuação ao desempenho associado, foram adotadas a partir da metodologia da SBTool.

Quadro 2. Nível de desempenho padrão das marcas de referência

Pontuação	Desempenho associado
-1	Prática negativa. Não atende ao desempenho mínimo esperado
0	Desempenho mínimo. Corresponde às normas, à legislação ou à prática convencional
+3	Desempenho bom
+5	Prática de excelência

4.2.4 Atribuição dos pesos

Embora a ponderação de importância dos critérios – aqui denominado “pesos” – possua um alto grau de complexidade para seu desenvolvimento, ela funciona como a base das ferramentas de avaliação, uma vez que irá determinar o efetivo desempenho alcançado pelo edifício avaliado (SILVA, 2003; KANG; LEE; KING, 2002). Entretanto, ainda não existe a concordância em uma abordagem ou método específico para orientar a atribuição de pesos, havendo o consenso, apenas, que isto deve ser feito de forma clara a fim de se evitar subjetividade no processo (COLE, 1999).

Sabe-se da impossibilidade da reaplicação direta de pesos pré-estabelecidos em diferentes territórios, pois a ponderação deve considerar na análise do desempenho do edifício as particularidades de cada região em termos geográficos, culturais e econômicos (ALYAMI; RESGUIZ, 2012).

Como citado anteriormente, as ferramentas analisadas apresentaram diferentes metodologias para a definição do peso de seus indicadores. Portanto, para o desenvolvimento da pesquisa adotou-se o método utilizado pela SBTool, por apresentar uma base metodológica sólida e capaz de ser adequar a diferentes regiões (SOUZA, 2008).

O método do SBTool faz a concessão de seus pontos através de um algoritmo que atribui automaticamente um peso com base na relevância das principais categorias de impacto

(fig. 20), considerando ainda a intensidade, a duração e a extensão dos efeitos do mesmo (SBTOOL, 2015).

Figura 20. Painel de avaliação utilizado na metodologia de ponderação do SBTool Genérico

EFEITO LOCAL (El) 1 A 5 PONTOS	EXTENSÃO DO EFEITO EM POTENCIAL (Ep) 1 A 5 PONTOS	DURAÇÃO DO EFEITO EM POTENCIAL (Ed) 1 A 5 PONTOS	INTENSIDADE DO EFEITO EM POTENCIAL (Ei) 1 A 3 PONTOS	SISTEMA PRIMÁRIO DIRETAMENTE AFETADO (Es) 1 A 5 PONTOS
(1) Muito menos	(1) Edifício	(1) 1 a 3 anos	(1) menor	(1) Funcionalidade/facilidade de manutenção
(2) Menos	(2) Sítio	(2) 3 a 10 anos	(2) Moderado	(1) Custo e economia
(3) OK	(3) Vizinhança	(3) 10 a 30 anos	(3) Maior	(2) Bem-estar, segurança e produtividade dos indivíduos
(4) Mais	(4) Regional	(4) 30 a 75 anos		(2) Questões culturais e sociais
(5) Muito mais	(5) Global	(5) >75 anos		(3) Recursos da Terra
				(3) Recursos materiais não renováveis
				(3) Recursos hídricos não renováveis
				(4) Recursos energéticos não renováveis
				(3) Ecossistemas
				(4) Atmosfera local e regional
				(5) Clima Global

Fonte: Traduzido de Larsson (2015)

Nesse mesmo sentido, pode-se citar as recomendações estabelecidas no art. 8º do Protocolo de Madri, que visam delimitar as atividades desenvolvidas na área do Tratado da Antártica (MINISTÉRIO..., 2015). Essas diretrizes têm como objetivo evitar que as ações humanas acarretem em prejuízos para o clima, ar e água; alterações no meio ambiente atmosférico, terrestre, glacial e marinho; impactos prejudiciais à manutenção e reprodução das espécies e populações animais e vegetais; e degradação ou sério risco de degradação de áreas com importância histórica, biológica, científica, estética ou natural (SECRETARIAT..., 1991).

Para tal, o Protocolo estabelece que as atividades no continente devem considerar a duração, intensidade e as potenciais áreas do ecossistema que receberão algum tipo de impacto, sendo necessário identificar a influência de cada atividade na qualidade do ar, do solo, da água, no clima, e em espécies locais. Mediante a isso, esse possível impacto é definido como: inferior a um impacto menor ou transitório; impacto menor ou transitório;

ou superior a um impacto menor ou transitório, conforme quadro 3 (SECRETARIAT..., 1991; MONTARROYOS, 2018).

Quadro 3. Pontuação do grau de Impacto

PONTUAÇÃO	GRADUAÇÃO DE IMPACTO (G.I)	DEFINIÇÃO
1	Inferior a um impacto menor ou transitório	Impacto de menor duração, no qual sua execução ou repetição não acarreta em mudanças da configuração natural, não sendo necessárias medidas mitigadoras, reparos ou avaliações.
2	Impacto menor ou transitório	Impacto de curta duração que não altera a configuração natural do ambiente. Nesse, pode haver medidas mitigadoras, mas não há exigências de medidas de recuperação e/ou avaliação.
3	Superior a um impacto menor ou transitório	Impacto de curta ou longa duração que altere a configuração natural do ambiente e/ou viole os acordos internacionais. Conseqüentemente, há a exigência de medidas de recuperação, avaliação e/ou reparo.

Fonte: Adaptado de Montarroyos (2018)

Dessa forma, os procedimentos metodológicos para a ponderação dos indicadores da pesquisa foram subdivididos em três etapas.

Primeiramente foram consultados especialistas de cada área de conhecimento, que avaliaram os indicadores relativos à sua área com base no modelo de avaliação proposto pela ferramenta SBTool. Como resultado, foi definido para cada indicador seu fator de impacto (Fk).

O fator de impacto, por sua vez, é o produto dos pesos atribuídos de acordo com cada área de análise.

Assim, o Fk é definido por:

$$F_{kix} = E_l \cdot E_p \cdot E_d \cdot E_i \cdot E_s \quad (1)$$

Conhecido o Fk, obtém-se o peso parcial (P_{pix}), calculado pela fórmula proposta pela metodologia utilizada no Protocollo ITACA UNI/PdR13:2015 (ENTE ITALIANO DE NORMAZONE, 2015).

$$P_{pix} = \frac{F_{kix}}{\sum_{nk=1} F_{kix}}$$

(2)

Onde:

P_{pix} = peso parcial do indicador x

F_{kix} = fator de impacto ponderado do indicador x

n = número total de indicadores

Conhecido o peso parcial, as diretrizes de impacto definidas pelo Protocolo de Madri são aplicadas através da multiplicação do P_{pix} pelo grau de impacto (G.I) a qual ele é atribuído. Embora o Protocolo aborde os impactos ambientais, a importância e o interesse de preservação do ambiente antártico tornam necessária a consideração dos impactos ao meio, mesmo em indicadores sociais. Mediante a isto, de forma análoga à fórmula proposta pelo Protocolo ITACA UNI/PdR13:2015, o peso final do indicador é definido então pela seguinte fórmula:

$$P_{ix} = P_{pix} \cdot \frac{G.I.}{\sum_{n=1} G.I.} \quad (3)$$

Onde:

P_{pix} = peso parcial do indicador x

P_{ix} = peso final do indicador x

G.I. = grau de impacto

n = número total de indicadores

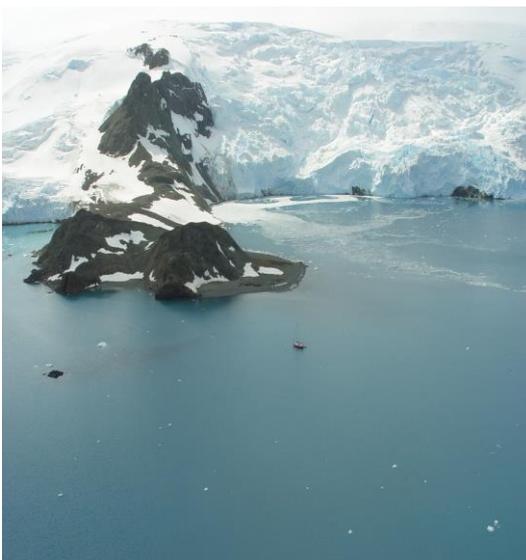
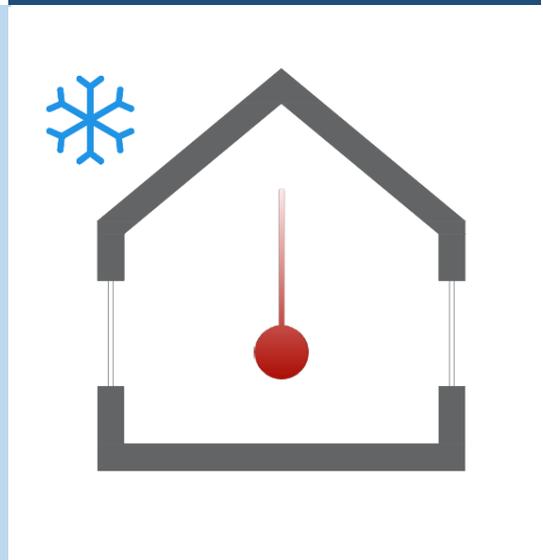
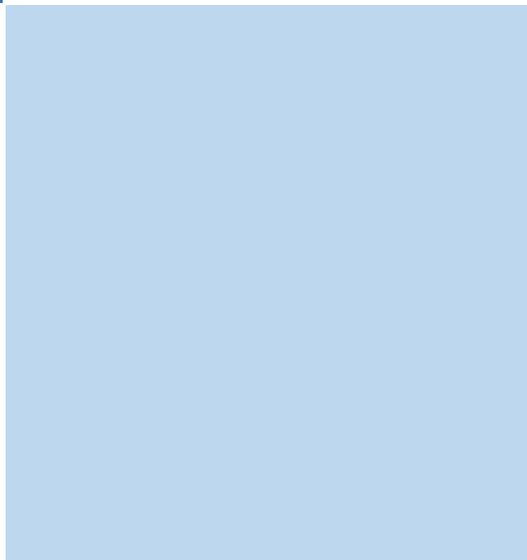
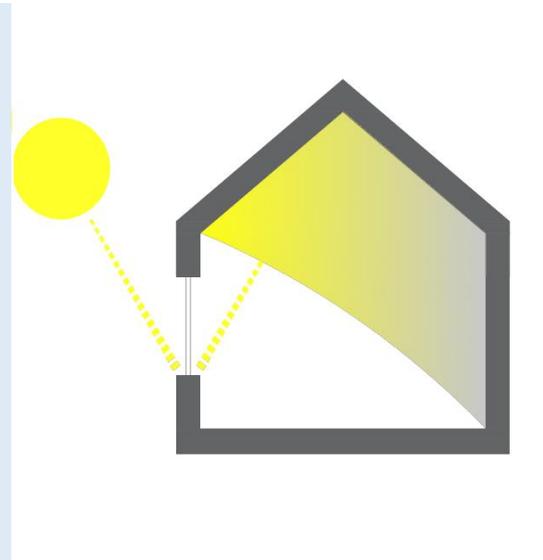
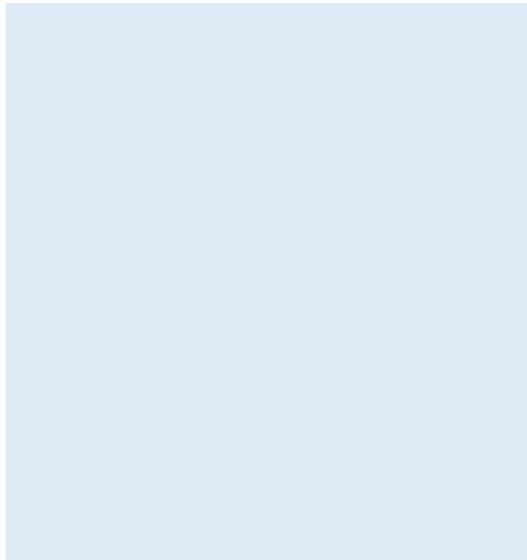
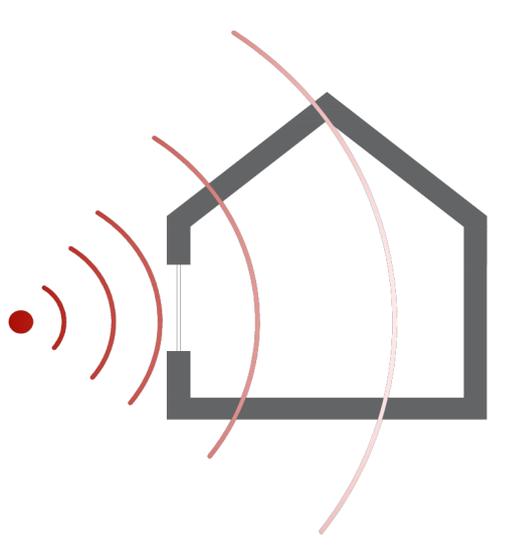
Dessa forma, a aplicação do método proposto pelo Protocolo ITACA e a adaptação da fórmula utilizada, permitiu a obtenção de um peso final para cada indicador.

4.3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta etapa compreendeu a discussão de cada indicador, sendo levantadas as informações relevantes para sua organização final. A apresentação dos resultados foi distribuída em subcapítulos dispostos no Apêndice A, agrupando-se os indicadores de acordo com a categoria as quais eles pertenciam, sendo elas: A. Qualidade do Ar Interior; B. Conforto Visual; C, Conforto Térmico; D. Isolamento Acústico; E. Emissões Eletromagnéticas.

4.4 AVALIAÇÃO DO TRABALHO

Nesta etapa foram feitas as avaliações dos resultados, verificando o cumprimento dos objetivos propostos no trabalho, e a identificação de possíveis aprimoramentos, bem como linhas de continuidade do mesmo.



RESULTADOS E
DISCUSSÕES

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A qualidade do ambiente interno é um aspecto considerado em todas as ferramentas de avaliação analisadas, sendo nesta pesquisa sistematizados em relação à qualidade do ar, conforto visual, acústico e térmico. Destaca-se que tais aspectos contribuem para a sustentabilidade do edifício considerando ainda que a temperatura, iluminação, ruído ou ventilação inadequados podem ocasionar diversos impactos no conforto e segurança do usuário, além do ambiente natural.

As situações as quais o ser humano está sujeito quando no ambiente interno são uma preocupação ainda mais acentuada na Antártica devido às severas condições ambientais características do continente. Tais condições obrigam o homem a passar a maior parte do tempo dentro do edifício, desta forma, as edificações representam o local de trabalho, lazer e descanso dos usuários. Dessa forma, as características do ambiente interno possuem implicações potencializadas a curto e/ou longo prazo para a saúde, desempenho e bem-estar geral do indivíduo.

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado o levantamento das informações pertinentes à compreensão dos critérios considerados para a avaliação da qualidade do ambiente interno, sendo os resultados organizados através de subcapítulos referentes a cada assunto, cujo conteúdo do apêndice A complementa as informações necessárias e pertinentes para a proposta de indicadores de avaliação.

5.1 QUALIDADE DO AR

Os aspectos inerentes à qualidade do ar e que podem ser considerados num sistema de avaliação de sustentabilidade, conforme a seguir explicitado são: quantidade de renovações do ar por unidade de tempo, utilização de sistemas de filtragem do ar interior, nível de concentração de CO₂, nível de concentração de compostos orgânicos voláteis, nível de concentração de fungos no ar, e temperatura e umidade do ar

5.1.1 Quantidade de renovações do ar por unidade de tempo

A renovação do ar interno exerce um importante papel para a garantia da qualidade do ambiente e das condições adequadas para o conforto do usuário, visto que em espaços fechados a presença excessiva de poluentes químicos e biológicos pode acarretar

prejuízos na saúde e no desempenho do usuário (SCHIRMER; SZYMANSKI; GAUER, 2009). Sua principal função é assegurar o controle dos níveis de contaminantes, umidade e a temperatura do ambiente (ASHRAE, 2013). Mesmo em locais urbanizados, em que não há necessidade de ter ambientes tão pouco ventilados como na Antártica, o ar interior pode chegar a um nível de contaminação até cinco vezes mais alto que o ar livre (PAGEL, 2015). Embora ainda não existam estudos sistemáticos sobre o tema, pode-se afirmar que devido à preservação ambiental da Antártica essa diferença entre os ambientes interno/externo é potencialmente maior no continente, ou seja, há uma tendência de os ambientes internos serem muito mais contaminados do que o ambiente externo, principalmente quando se trata de edificações com ambientes confinados.

O processo de renovação do ar pode ocorrer através de ventilação natural – por meio de aberturas – ou mecânica, onde o fluxo de ar que entra ou sai do edifício é realizado através de equipamentos (SOUZA, 2008; SCHIRMER; SZYMANSKI; GAUER, 2009). Entretanto, devido às baixas temperaturas do local, sabe-se que para a manutenção do conforto térmico a renovação do ar é feita, principalmente, através de sistemas mecânicos.

Um sistema de ventilação projetado corretamente permite a assepsia do ambiente e o conforto do usuário devido à combinação de processos que resultam na entrada de ar externo, e na retirada do ar interno carregado de poluentes, garantindo a qualidade do ar desejável (SOUZA, 2008). Assim, na ausência de um critério específico para a condição antártica, os ambientes ventilados artificialmente devem atender, minimamente, às recomendações estabelecidas pela *ANSI/ASHRAE 62.1 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (ASHRAE, 2013).

5.1.2 Utilização de sistemas de filtragem do ar interior

Existem três métodos fundamentais para o controle da poluição do ar interior: o controle da fonte, a ventilação (natural e artificial), e a filtragem de partículas. Embora o controle da fonte e a ventilação sejam as estratégias normalmente mais utilizadas, a filtragem desempenha um importante papel quando há a impossibilidade de aplicação de alguma dessas estratégias, ou quando é necessária a remoção de contaminantes de forma mais eficaz (ASHRAE, 2009; OSHA et al., 2011).

A filtragem do ar pode funcionar como um substituto local para a ventilação, auxiliando no controle de contaminantes e garantindo a manutenção do conforto térmico, além de

evitar a contaminação cruzada entre o ar que entra no ambiente e o que retorna ao exterior (TOWNSEND, 2007).

Embora existam leis e normas de regulamentação que buscam assegurar a qualidade do ar interno, essas normativas são destinadas a indústrias específicas, não havendo, portanto, uma lei que regule a maioria dos demais ambientes (VEECK, 2008). Entretanto, devido ao importante papel que a filtragem desempenha nos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC - *Heating, Ventilation and Air Conditioning* no original em inglês), a ASHRAE desenvolveu o método para teste da eficiência do filtro na norma ASHRAE 52.2 - *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size* (2012). A norma define a eficiência mínima para filtros e outras informações sobre o desempenho geral, como por exemplo, a resistência do filtro ao fluxo de ar (TOWNSEND, 2007).

A curva de eficiência composta abrange bandas de três micrómetros, indicando a eficiência mínima do filtro para partículas de 0,3 a 1, 1; 0 a 3,0; e 3,0 a 10 μm . Da eficiência média deriva a designação do Valor de Relatório de Eficiência Mínima (MERV - *Minimum Efficiency Reporting Value*, no original em inglês), que devido à sua simplicidade e facilidade de compreensão, passou a ser utilizado para a seleção de filtros. Quanto mais alto o nível de MERV, melhor é a eficiência do filtro e sua capacidade de filtragem de partículas menores (tabela 1). Deve-se ressaltar, entretanto, que em casos de aplicações mais críticas e diante a necessidade de uso de MERV mais alto, torna-se necessária a análise da curva de eficiência composta para garantir o atendimento de eficiências mínimas e precisas (ASHRAE, 2009).

Assim, o MERV passou a ser aplicado em outras diretrizes e padrões internacionais, como no sistema de classificação LEED, em que alguns dos créditos disponíveis são para uso mínimo de filtros MERV 8 durante a construção, e filtros MERV 13 durante a fase de operação do edifício (TOWNSEND, 2007; VEECK, 2008).

Tabela 1 - Comparação de tipos de filtro MERV (continua)

Nível MERV	Tipo de filtro	%		
		0.3-1 μm	1-3 μm	3-10 μm
1	N/A	Não se aplicam a norma ASHRAE 52.2 devido à baixa eficiência obtida		
2	N/A			
3	N/A			
4	N/A	painéis eletrostáticos		
5	N/A	20-35		

6	N/A	Filtros plissados, filtros de cartucho		36-50
7	25-30%	e painéis descartáveis de ligação		50>70
8	30-35%	sintética com densidade múltipla		>70
9	35-40%	Filtros plissados com material	>50	>85
10	50-55%	aprimorado, filtros de saco de fibra	50-65	>85
11	60-65%	de vidro ou material sintético e	65-85	>85
12	70-75%	filtros de caixa rígida	>80	>90
13	80-85%	Filtros de saco, filtros de caixa	>75	>90
14	90-95%	rígida, mini filtros de cartucho	75-85	>90
15	>95%		85-95	>90
16	98%		>95	>95
As classes seguintes são determinadas por uma metodologia diferente da norma ASHRAE 52.2 (ASHRAE, 2007)				
-	N/A	Filtros HEPA/ULPA são avaliados		99.97% IEST Tipo A
-	N/A	através da "IEST Recommended		99.99% IEST Tipo C
-	N/A	Practice CC001.3". Os tipos A a D		99.999% IEST Tipo D
-	N/A	produzem eficiências a 0,3 µm e o		>99.999% IEST Tipo F
		tipo F a 0,1 µm.		

Fonte: Traduzido de ASHRAE (2009)

- Seleção e especificação de filtros:

A tabela 2 contém uma orientação geral para seleção de filtros. Ela indica o problema a ser solucionado, a faixa de MERV indicada para tal (com nível de eficiência obtido mínimo a ótimo) e o resultado esperado de acordo com o filtro selecionado.

Tabela 2. Guia geral de seleção baseado na eficiência (continua)

Estratégia	Situação	Recomendação/Faixa de solução	Resultado
A2.1	Manter o sistema de condicionamento de ar limpo	MERV 8-13	Mantém a eficiência de troca de calor e o desempenho do sistema; reduz as perdas de energia; reduz os custos de limpeza e manutenção; diminui a propensão de crescimento de fungos, reduzindo a retenção de nutrientes e umidade no ambiente
A2.2	Manter o ambiente condicionado limpo	MERV 8-13	Redução de poeira e dos custos de limpeza
A2.3	Controle de partículas patogênicas	MERV 14-16	Reduz a exposição dos ocupantes a patógenos no ar; diminui efeitos negativos para a saúde; diminui o absentismo e custos de produtividade relacionados
A2.4	Ar exterior excessivamente poluído	MERV 11-14 ou gás ME	Garante a aceitabilidade quando o ar exterior não está em conformidade; reduz a exposição dos ocupantes a fontes externas de partículas, odores e irritantes; diminui o risco de contaminação cruzada dos exaustores dos edifícios; reduz os produtos indesejáveis da reação química entre o ozônio e os produtos químicos internos

A2.5	Controle de contaminantes de interesse específico	MERV 13-16 ou HE-HEGA	Reduz o risco de derramamentos acidentais ou incidentes criminais de contaminação em partículas ou fase gasosa que sejam prejudiciais aos processos, produtos, pessoas ou suas atividades relacionadas
A2.6	Aumentar as taxas de ventilação do ar exterior utilizando a norma ASHRAE 62.1	MERV 11-13 ou ME-HE	Pode reduzir a carga latente excessiva do ar exterior em determinadas regiões; reduz a carga contaminante do ar exterior poluído; pode resultar em reduzida capacidade AVAC e custos de capital relacionados, consumo de energia e custos operacionais

Fonte: Traduzido de ASHRAE (2009)

Apesar da classificação MERV desempenhar um importante papel na seleção do filtro, existem outras questões que devem ser consideradas nesse processo de decisão, como a queda de pressão, taxas de fluxo, capacidade de retenção de partículas e seu ciclo de vida. Além disso, os filtros ainda possuem outras variáveis, como a metodologia de armação, mecanismo de vedação, dimensão, área de superfície e capacidade de carga.

Dentre esses fatores, a queda de pressão, normalmente, é o que possui maior importância devido ao grande impacto que ela representa no consumo de energia e consequente custo do ciclo de vida operacional do sistema devendo, portanto, conduzir a seleção do filtro. É importante ressaltar a necessidade de uma análise e seleção adequada pois em filtros MERV mais elevados a eficiência aumenta desproporcionalmente em relação a queda de pressão (ASHRAE, 2009).

Dentre as estratégias citadas na tabela 2, cabe ainda ressaltar:

- Estratégia A2.1 e A2.2 (MERV 8-13)

Embora o emprego de filtros MERV 6 atenda a exigência mínima de filtragem segundo a norma ANSI/ASHRAE 62.1 (2013), Burroughs (2004) conclui que apesar dele representar uma melhoria em relação aos primeiros filtros de fibra de vidro, os sistemas de filtragem com eficiência MERV 6 são ineficazes mediante partículas finas que se acumulam na via do sistema de distribuição e seus componentes, como bobinas e condutores. Esse acúmulo de partículas resulta em retenção de odor, umidade e nutrientes, favorecendo o crescimento microbiano no sistema de distribuição e tratamento do ar, além de aumentar a presença de *VOC* (*Volatile Organic Compound*, no original em inglês) no ambiente.

Segundo Burroughs (2004), o nível MERV 13 apresenta o melhor desempenho para essas situações, pois ele apresenta um bom equilíbrio entre eficiência, capacidade, queda de pressão e custos iniciais e operacionais. Caso haja limitação de espaço, os filtros com nível MERV 8-12 também fornecem uma melhora efetiva com pequenos aumentos no custo e queda de pressão se comparados com o MERV 6.

- Estratégia A2.3 (MERV 14-16)

O controle de partículas patogênicas requer um nível de eficiência superior a MERV 13 devido a estas serem caracteristicamente partículas pequenas (0,3 a 1 μm) e possuírem maior risco de exposição. Geralmente, o nível MERV 14 atende suficientemente bem, entretanto, pode-se empregar até o MERV 16. Os níveis MERV 15 e 16 possuem eficiência muito grande nas faixas de partículas menores, mas resultam maiores custos iniciais, operacionais e maior queda de pressão.

A escolha do nível ideal dependerá do tamanho da partícula, da toxicidade, concentração e limites estabelecidos para o contaminante. Entretanto, a opção pelos níveis mais altos normalmente ocorre quando é requerida uma alta redução de contaminantes, de acordo com a situação e os riscos envolvidos, como em hospitais. Nesses casos, deve-se dar importância ainda maior aos sistemas de vedação para que o resultado da eficiência do MERV não seja comprometido (ASHRAE, 2009).

- Estratégia A2.4 e A2.6 (Filtros de fase gasosa)

Os filtros de fase gasosa combinam a função de sorção e filtração de partículas. Por possuir tecido em sua composição, a capacidade de filtragem desse tipo de filtro está normalmente entre MERV 6-12.

Deste modo, o processo de decisão do filtro a ser utilizado deve considerar três fatores, sendo eles (SCHLOSS, 2007):

1. Definição de requisitos:

O primeiro passo no processo de decisão deve ser quantificar o tipo, o tamanho da partícula e nível de concentração do contaminante. O tamanho é importante pois influencia na capacidade de remoção de partículas do filtro, que varia de acordo com o contaminante alvo. Deve-se considerar também que a remoção de partículas ocorre de forma diferente da remoção de odores e vapores.

2. Seleção do filtro de ar:

Tendo conhecimento dos requisitos a serem atendidos, a seleção do filtro deve considerar sua eficiência, resistência ao fluxo de ar e capacidade de retenção de partícula.

A eficiência deve medir a capacidade do filtro para remover partículas do ar. A resistência ao fluxo de ar deve analisar se o diferencial da pressão inicial de ar limpo e a pressão de ar final seguem o estabelecido no projeto para que o sistema funcione adequadamente. Por fim, a capacidade de retenção é importante para determinar a vida útil do filtro, considerando desde sua limpeza até substituição.

3. Custo do ciclo de vida:

O custo de ciclo de vida deve considerar três momentos: O custo inicial, de reposição e custos operacionais.

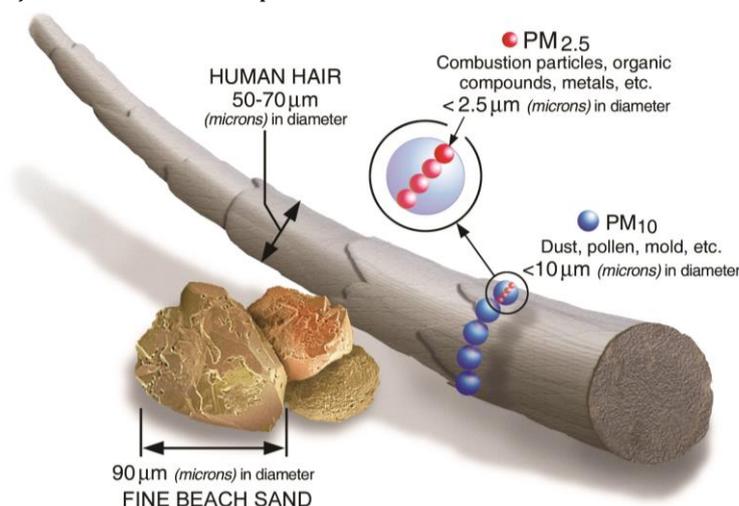
O custo inicial se refere ao valor investido no sistema de filtragem. O custo de reposição engloba a necessidade de substituição dos filtros de mídia quando a queda de pressão de projeto, ou a capacidade de retenção de poeira atingem seu máximo.

O emprego de filtros também exerce um importante papel para a retenção de material particulado (MP). Igualmente conhecido como aerossol, ele consiste em uma mistura heterogênea de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, com variação constante de tamanho e composição química, e facilmente aerotransportadas. Englobam um extenso grupo de substâncias químicas como sulfatos, nitratos, carbono elementar e orgânico, compostos orgânicos e biológicos, e metais (WHO, 2006; BRANCO, 2014).

A exposição ao MP tem sido relacionada a diversos problemas de saúde (ROHR; WYZGA, 2012), como doenças cardíacas e respiratórias (MIDDLETON et al., 2008; BROOK et al., 2010), aumento das taxas de mortalidade e internações hospitalares, além de outros efeitos nocivos à saúde a longo prazo (PASCAL et al., 2014).

O comportamento das partículas na atmosfera e sua capacidade de penetração em diferentes regiões do sistema respiratório depende, principalmente, do diâmetro da mesma (ARHAMI et al., 2010; KELLY; FUSSELL, 2012). Tal característica também é o principal fator para a classificação dos aerossóis (fig. 21), criando uma divisão entre partículas “finas” com diâmetros menores de $2,5 \mu\text{m}$ - ou $\text{MP}_{2,5}$, e partículas “grossas” com diâmetros maiores do que $2,5 \mu\text{m}$ - ou MP_{10} (MASSEY, 2012).

Figura 21 - Comparações de tamanho das partículas



Fonte: USEPA (2015)

As partículas finas ($PM_{2.5}$) representam o maior número de partículas em suspensão, mas um baixo percentual no volume total de partículas devido sua pequena dimensão (KELLY; FUSSELL, 2012; PAGEL, 2015), sendo as principais responsáveis por problemas cardiovasculares e respiratórios (KIM; KABIR; KABIR, 2015). Por seu reduzido tamanho, elas podem ficar suspensas no ar por meses, além de serem transportáveis por centenas de quilômetros (JOHANSSON; NORMAN; GIDHAGEN, 2007), enquanto as PM_{10} ou dimensões superiores se depositam mais rapidamente no solo devido ao seu peso (KELLY; FUSSELL, 2012).

As partículas grossas incluem as formas mais visíveis de MP, como poeira de estradas e construções, mofo, pólen, entre outros. As PM_{10} se depositam principalmente nos brônquios, enquanto partículas maiores não ultrapassam as vias aéreas superiores (KELLY; FUSSELL, 2012; PAGEL, 2015).

O MP é proveniente de uma ampla gama de fontes, originárias tanto do ambiente externo como interno. A emissão no ar pode ocorrer de forma natural (como Al, Ca, Si, Fe, Ti, etc.) ou antropogênica (V, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, etc.), com diferentes propriedades físicas, químicas e níveis de toxicidade (SZIGETI, 2014).

O domínio, a concentração e a composição dos MP variam conforme a geografia e condições atmosféricas da região, embora o transporte de partículas a longo alcance seja um desafio para reduzir a concentração dos poluentes atmosféricos, visto que eles podem ser provenientes de diferentes locais. Como exemplo, pode-se citar alguns estudos que

comprovaram que a poeira e fumaça provenientes da África afetavam a poluição do ar no Mediterrâneo e Oriente Médio (KELLY; FUSSELL, 2012).

No ambiente interno as fontes são variáveis segundo as atividades desenvolvidas e por possíveis infiltrações externas através da ventilação (SZIGETI, 2014). Atividades como cozinhar, fumar, uso de produtos de limpeza e a ressuspensão de poeira sedimentada são fontes de MP_{2,5}, enquanto partículas ultrafinas também são emitidas, por exemplo, durante o uso de impressoras a laser e fotocopiadoras (DESTAILLATS et al., 2008). Ambientes enclausurados, com poucas aberturas e conseqüente baixa ventilação natural também resultam em uma maior concentração de partículas (CANHA, 2014). Quando consideradas as diferentes estações do ano há uma concordância entre estudos realizados, tendo sido observado maiores efeitos na saúde, principalmente por aqueles provocados por MP₁₀, nos dias mais quentes (PASCAL, 2014).

Em análises comparativas do nível de concentração interno/externo é comum que os ambientes internos excedam os níveis do exterior, o que demonstra o impacto das atividades humanas no ambiente. A compreensão e identificação da fonte, comportamento e propriedades das partículas presentes no ar é essencial para a o correto controle das emissões, pois mesmo níveis baixos de contaminantes podem ter efeitos negativos sobre a saúde dos ocupantes do edifício, principalmente em longos períodos de permanência (HASSANVAND, 2014).

5.1.3 Nível de concentração de CO₂

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor, não inflamável e inodoro, produzido pela combustão de combustíveis fósseis e subproduto de processos metabólicos. Em condições normais, as concentrações de CO₂ na atmosfera oscilam entre 300 a 500 ppm, variando conforme tempo e localização. Embora ele não apresente altos riscos para a saúde humana, em grandes concentrações o CO₂ pode causar tontura, dor de cabeça e fadiga (ASHRAE, 2009; OSHA et al., 2011).

No ambiente interno esses níveis normalmente são mais altos devido ao metabolismo humano e ao uso de aparelhos que emitem dióxido de carbono em ambientes mal ventilados (OSHA et al., 2011). Um único ambiente pode ainda apresentar diferentes níveis de concentração segundo a proximidade da fonte, o tipo de sistema de ventilação presente e o movimento do ar interno (MAHYUDDIN; AWBI, 2012).

Embora a ventilação possua uma grande importância para a garantia do conforto e saúde dos usuários do edifício (RACKES; WARING, 2014), medir a taxa de ventilação real é dispendioso e complexo (HUSSIN, M.; ISMAIL, M. R.; AHMAD, 2014). Deste modo, a análise da concentração de CO₂ tornou-se um método frequentemente utilizado para analisar a qualidade do ar interno e a eficiência da ventilação no edifício com base na taxa de ocupantes no mesmo. Entretanto, para seu correto emprego é necessário considerar fatores como o padrão de ocupação, fontes de emissão, sistema construtivo e de ventilação, instrumentos, localização e método da amostragem de ar (ASHRAE, 2009).

A qualidade do ar interior pode ser melhorada através do aumento da taxa de ventilação, porém, isso resultaria em um impacto direto no aumento do consumo de energia para o aquecimento do edifício. Como solução, edifícios modernos equipados com ventilação mecânica passaram a adotar o sistema de controle de ventilação por demanda (DVC - *Demand Controlled Ventilation* no original em inglês), responsável por alterar o fluxo de ventilação conforme o número de ocupantes (KRAWCZYK et al., 2016).

Devido ao baixo custo de sensores e equipamentos associados, esse método tornou-se bastante popular. Seu funcionamento baseia-se na consideração de que no estado estacionário, o nível de concentração de CO₂ tanto no interior quanto no exterior, é inversamente proporcional à taxa de fluxo de ar por pessoa (ASHRAE, 2009). Sendo a ocupação humana uma importante fonte de emissão de CO₂ (HUSSIN, M.; ISMAIL, M. R.; AHMAD, 2014), quanto maior a densidade ocupacional do edifício, maior a concentração do gás.

A norma ASTM D6245-07, *Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation* (2007) fornece orientações sobre como usar as concentrações de CO₂ para avaliar a QAI e a ventilação, embora ela não trate sobre o uso do CO₂ para a determinação da entrada de ar exterior. Já a norma ASHRAE 62.1 (2013) indica a taxa de geração de CO₂ de um adulto sedentário, entretanto, para o cálculo correto do nível de concentração, é importante considerar as variáveis que possuem influência direta nessa emissão, como a estrutura corporal, idade e nível de preparo físico e atividade desenvolvida (ASHRAE, 2009; SZCZUREK et al., 2016).

Um sistema DCV baseado em CO₂ deve considerar ainda (ASHRAE, 2009):

- A relação entre a taxa de fluxo de ar por pessoa e a concentração de CO₂, sendo que o Apêndice A da norma ASHRAE 62.1 (2007) fornece equações e recomendações para o método de ventilação baseado em CO₂;
- A precisão dos sensores de CO₂, disponíveis com base em princípios fotométricos infravermelhos, devendo-se observar a calibração adequada, a manutenção e tempos de atraso inerentes aos sensores;
- O atraso entre a ocupação e o tempo de latência do sensor;
- A localização e quantidade ideal de sensores de modo que o sistema reflita as concentrações médias do local a fim de aumentar a certeza do nível de CO₂ no espaço; e
- A certificação dos fabricantes de que os equipamentos não possuam diferença entre o resultado da mediação e o valor real superior a 50ppm.

É importante ressaltar que apenas a baixa concentração de CO₂ não garante efetivamente a QAI, pois podem ocorrer alguns problemas de saúde e sintomas mesmo em locais que apresentam um nível baixo de concentração de CO₂, mas possuem altos níveis de outros contaminantes. Portanto, é necessária a identificação de outras possíveis fontes para auxiliar o bom desempenho da QAI (HUSSIN, M.; ISMAIL, M. R.; AHMAD, 2014).

5.1.4 Nível de concentração de compostos orgânicos voláteis

Compostos Orgânicos Voláteis (VOC – *Volatile Organic Compounds* no original em inglês) são gases emitidos por compostos formados por carbono, com exceção do monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o ácido carbônico (H₃CO₂), carbonetos metálicos (C⁻) e carbonatos (CO₃⁻²), com ponto de ebulição inicial inferior ou igual a 250°C em pressão atmosférica padrão de 101,3 kPa¹ (USEPA, 2016).

Segundo a WHO (2006), os VOCs podem ser subdivididos entre três categorias, de acordo com a volatilidade e consequente facilidade de emissão:

Tabela 3. Categorização dos compostos orgânicos voláteis (continua)

DESCRIÇÃO	ABREVIACÃO	PONTO DE EBULIÇÃO (° C)	EX. DE COMPOSTOS
-----------	------------	-------------------------	------------------

¹ 101,3 kPa = 1 atm., a pressão normal ao nível do mar (USEPA, 2016).

COMPOSTOS ORGÂNICOS MUITO VOLÁTEIS (GASOSOS)	<i>VVOC (Very Volatile Organic Compounds</i> no original em inglês)	<0 a 50-100	Propano, butano, cloreto de metilo
COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS	<i>VOC (Volatile Organic Compounds</i> no original em inglês)	50-100 a 240-260	Formaldeído, d-Limoneno, tolueno, acetona, etanol (álcool etílico) 2-propanol (álcool isopropílico), hexanal.
COMPOSTOS ORGÂNICOS SEMI-VOLÁTEIS	<i>SVOC (Semi-volatile organic compounds</i> no original em inglês)	240-260 a 380-400	Pesticidas (DDT, clordano, plastificantes (ftalatos), retardadores de fogo (PCB, PBB)

Fonte: Adaptado de WHO (2006) e USEPA (2016).

Existe uma série de fontes de emissão de VOCs no ambiente, como materiais de construção, mobiliário, têxteis, tapetes, produtos de limpeza, tintas, adesivos, solventes, entre outros. Além disso, atividades cotidianas também são responsáveis por aumentar essa emissão, como por exemplo, o cozimento, o uso de equipamentos eletrônicos e materiais de escritório. Tal exposição é capaz de agravar condições crônicas de saúde como rinite e asma, além de acarretar outros problemas não só de curto, mas também a longo prazo, como o câncer (USEPA, 2016).

O risco real que essa exposição representa na saúde sofre influência de alguns fatores como o tipo de poluente a que se está exposto, sua concentração, a duração e o método de exposição (se por inalação, ingestão ou absorção dérmica), além das características da edificação, como a capacidade de renovação do ar e características ambientais, como os níveis de umidade e temperatura do ambiente. Quanto mais elevada a temperatura e umidade, maior a liberação de contaminantes (ASHRAE, 2009; USEPA, 2016).

Inicialmente a avaliação do impacto das emissões para prever efeitos na saúde ou conforto eram feitas com base na taxa de emissão total dos compostos orgânicos voláteis (TVOC). Entretanto, segundo a ASHRAE (2007), os efeitos causados pelos VOCs são altamente variáveis. Da mesma forma, a detecção e quantificação dos compostos dependem diretamente da metodologia empregada, não existindo um consenso de um único meio para medir igualmente todos os VOCs, havendo métodos mais adequados para um composto e menos adequado para outros. Assim, recomenda-se o estabelecimento de níveis de concentração específicos para cada composto orgânico (ASHRAE, 2007).

As diretrizes e padrões da qualidade do ar interno para contaminantes específicos ainda são escassos, existindo uma maior regulamentação apenas para edifícios industriais. Entretanto, recentemente a ASHRAE publicou a norma 189.1 (2014), voltada para os denominados “edifícios verdes” ou *Green Building*, em que dentre os milhares de compostos existentes, foi feita a seleção daqueles mais relevantes para a QAI, e a atribuição de valores máximos de concentração aceitáveis.

Além das emissões de *VVOCs*, *VOCs*, *SVOCs* e partículas provenientes principalmente de materiais de construção, no ambiente interno ocorre uma série de reações químicas que geram produtos secundários, sendo assim, é importante considerar, além da escolha do material, também nos meios de limitar as emissões precursoras (ASHRAE, 2009).

A forma mais eficaz de reduzir o impacto das emissões de materiais é através do emprego de estratégias de seleção que garantam o controle da fonte, ou seja, a redução de materiais de alta emissão. Para uma efetiva especificação de materiais de construção, acabamentos e mobiliários mais adequados, é necessária uma compreensão básica das questões relacionadas à rotulagem de emissões.

Para tal, existem algumas estratégias que podem ser seguidas para uma seleção adequada, tais como as recomendadas pela ASHRAE (2009):

- Revisar a composição do material e estabelecer os níveis adequados como condição de aceitação para o projeto (na ausência de dados de um produto que não seja possível a substituição, limitar o emprego de materiais já conhecidos como maiores emissores, como produtos à base de madeira composta, revestimentos, tintas à base de óleo, selantes e adesivos);
- Evitar o emprego de materiais porosos para facilitar a limpeza e manutenção, e reduzir a dissipação; e
- Selecionar materiais duráveis, de baixa manutenção e de superfície preferencialmente lavável.

Espera-se que o emprego dessas estratégias reduza o nível de concentração no ambiente, melhorando, conseqüentemente, a qualidade do ar interno.

5.1.5 Nível de concentração de fungos no ar

Compreender as condições que afetam a presença de fungos no ar é importante para a avaliação dos riscos à saúde humana e para a elaboração de estratégias para o controle dessa exposição. A avaliação da presença microbiana no ambiente interno teve início a partir da década de 1950 devido a ocorrência de infecções secundárias em pacientes internados em hospitais (HEALTH CANADA, 2016). Esses contaminantes caracterizam-se como um material particulado de origem biológica, englobando fungos, bactérias, vírus, ácaros e outras partículas com tamanho entre 0,01 a 100 μ m, conhecidos também como bioaerossóis (BARDANA, 2003; PAGEL, 2015).

A contaminação do ar interior por micro-organismos ocorre por diversas circunstâncias, como alta umidade, baixa ventilação, problemas no sistema de refrigeração e mau isolamento do edifício. A exposição à maioria dos fungos pode causar reações alérgicas e doenças infecciosas, além de produzir ruídos e odores desagradáveis, e danificar a estrutura do edifício (ASHRAE, 2009; CRAWFORD, 2015).

Algumas espécies são toxigênicas e produzem microtoxinas capazes de se acumularem em esporos inaláveis por seres humanos. Uma quantidade de fungos significativa no ambiente pode ainda gerar Compostos Orgânicos Voláteis Microbiológicos (COVM). Diversos problemas de saúde e queixas dos usuários característicos da Síndrome do Edifício Doente apresentaram relação com a presença desses contaminantes, qualificando-os como possíveis bioindicadores da qualidade do ar interno. Apesar disso, ainda não existe um consenso sobre o limite aceitável de fungos (CABRAL, 2010; PAGEL, 2015).

A natureza dos fungos varia conforme a localização geográfica, estação, temperatura, umidade, taxa de troca de ar e o comportamento dos ocupantes (CRAWFORD, 2015; SHARPE, 2015). Os fatores que possuem maior impacto em seu crescimento são a disponibilidade de água (umidade), nutrientes, oxigênio, luz e temperatura, sendo a faixa de 18°C a 32°C ideal para o crescimento da maior parte das colônias. Entretanto, essa faixa pode variar desde -6°C até 60°C (BARDANA, 2003; KHAN; KARUPPAYIL, 2012; PAGEL, 2015).

Com mais de 80 gêneros de fungos associados a doenças respiratórias, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus* e *Fusarium* são os alergênicos mais comuns. Em edifícios não

industriais a presença de humanos é a fonte mais impactante no ambiente, produzindo fungos por atividades cotidianas que resultam em partículas biológicas no ar, como falar, espirrar, tossir, andar e lavar o vaso sanitário. Poeira, plantas, animais de estimação, alimentos e materiais como madeira, têxteis, tapetes e móveis, também podem liberar no ar esporos de *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Scopulariopsis* (KALOGERAKIS et al., 2005).

Há uma série de teorias sobre os mecanismos utilizados pelos fungos que possibilitam sua sobrevivência mesmo em condições desfavoráveis como o clima polar (DUNCAN et al., 2010). Alguns autores citam possíveis processos de adaptação fisiológica, como aumento da resistência ao frio através da produção de poliols (ROBINSON, 2001), alterações na membrana celular (ONOFRI et al., 1994), secreção de proteínas anticongelantes (SNIDER et al., 2000), e adaptação bioquímica (FENICE et al., 1998), entre outros.

Além dessas adaptações, algumas outras características morfológicas que garantem a sobrevivência dos fungos são a possível reativação de esporos produzidos no inverno durante a primavera/verão, e a recolonização de material fúngico produzido fora da Antártica (MARSHALL, 1998; DUNCAN et al., 2010).

Duncan e outros (2010) monitoraram o ar interno e externo de três cabanas antárticas erguidas na denominada “Era Histórica”, nos verões de 2006, 2008 e 2009, e no inverno de 2007. Os resultados indicaram que, ao contrário do que se esperava, o material fúngico presente no ar das cabanas era significativo tanto no inverno quanto no verão, comprovando a viabilidade e capacidade da adaptação de alguns fungos ao clima extremo.

Apesar da concentração interna ser influenciada pelo ambiente externo, a maioria dos estudos já realizados indicaram que os níveis fúngicos internos foram superiores aos externos. Tal fato é ainda mais notável quando portas e janelas ficam predominantemente fechadas, evidenciando a influência das fontes internas. Assim, visto que a distribuição de gêneros e os níveis de concentração de fungos variam de acordo com a localização geográfica e os aspectos climáticos e sazonais, a análise do ar interior especificamente na região de interesse fornece informações importantes para a garantia da qualidade do ambiente interno (KALOGERAKIS et al., 2005).

Segundo Khan e Karuppaiyl (2012), a maneira mais eficaz para reduzir as concentrações de fungos em um edifício é eliminando as condições que favorecem seu crescimento e

estabelecimento. Isso pode ser feito através do controle da umidade do ambiente, seleção de materiais de construção, acabamentos, mobiliários e técnicas de construção para redução das fontes dentro do edifício e que garantam uma vedação eficiente, e a garantia do fornecimento adequado das taxas de ventilação e limpeza dos sistemas de refrigeração.

Para o alcance de um edifício com boa qualidade do ar interior, torna-se mais fácil a eliminação de fontes de poluentes ainda na fase de projeto, devido às limitações existentes de estabelecer esse controle em uma construção já existente.

Algumas medidas que podem ser tomadas para a execução de um edifício com crescimento fúngico mínimo, de acordo com a ASHRAE (2009) são:

- Remover as fontes de água e umidade no edifício, evitar o acúmulo de água estagnada nos componentes mecânicos dos sistemas HVAC, manter a umidade relativa dos ambientes em menos de 60%, e reparar qualquer tipo de vazamento interno e externo;
- Remover substratos contaminados com fungos e descartar os materiais orgânicos porosos;
- Em sistemas HVAC, utilizar vapor para umidificação ao invés de água recirculada, com uso de filtros para evitar a entrada de micro-organismos no sistema de tratamento de ar, bem como sua correta manutenção para limpeza e substituição;
- e
- Reduzir o risco de contaminação entre ambientes através do correto isolamento de áreas mais propensas ao aparecimento de fungos.

5.1.6 Temperatura e umidade do ar

Embora a Antártica seja rodeada por mares e possua vários lagos, o baixo índice de precipitação anual caracteriza o continente como uma área quase desértica (CHILD, 1998). Em algumas regiões chove menos de 3cm por ano, o que representa um índice pluviométrico inferior ao do Deserto do Saara, por exemplo (SIMÕES, 2014). Conseqüentemente, o continente apresenta um baixo índice de umidade absoluta (ALVAREZ, 1995), com exceção das áreas litorâneas, ilhas e parte da Península Antártica, onde o índice de umidade é relativamente mais equilibrado (MONTARROYOS, 2015).

De acordo com a norma ANSI/ASHRAE 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (2013), a temperatura do ar é definida como aquela que rodeia o ocupante, e a

umidade pode ser definida como absoluta ou relativa. A umidade absoluta é o valor real da quantidade de vapor de água presente em um ambiente, sendo utilizada para indicar a capacidade que o ar possui em reter água na forma de vapor. Se atingido o limite, o vapor de água passa para o estado líquido. Conseqüentemente, a temperatura tem influência direta na umidade, visto que quanto mais quente o ambiente, maior a capacidade do ar em reter água. Já a umidade relativa (HR) é a razão entre a pressão do vapor de água presente no ar e a pressão de vapor saturado em uma mesma temperatura e pressão atmosférica (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2011). Ou seja, 50% HR significa que o ar contém 50% da sua capacidade de retenção de umidade. Com o arrefecimento do ar, sua capacidade de retenção de umidade diminui (ASHRAE, 2009).

A maioria dos estudos que investigam os efeitos da umidade no ambiente normalmente abordam a alta umidade e locais com altas temperaturas, pois a alta umidade reduz a evaporação do suor levando ao desconforto e estresse térmico (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2011). Além disso, condições úmidas favorecem o crescimento de bactérias, bolores, e o aparecimento de ácaros, causando danos ao edifício e a saúde dos usuários (ASHRAE, 2009). Entretanto, um ambiente seco também representa outros sintomas de desconforto e riscos de saúde visto que este fator promove a sobrevivência e transmissão de infecções virais respiratórias, principalmente em locais com taxas de ventilação insuficientes (FANG; CLAUSEN; FANGER, 1998; MÄKINEN et al., 2014).

Segundo Reinikainen e Jaakkola (2003), a temperatura e umidade afetam o equilíbrio térmico do corpo humano e dos órgãos respiratórios, pois o ar frio e seco pode desencadear infecções devido à redução da ação dos cílios, responsáveis por ajudar na remoção dos contaminantes das vias aéreas antes de serem absorvidos na mucosa respiratória (NGUYEN; SCHWARTZ; DOCKERY, 2014). Alguns estudos também comprovaram que a temperatura do ar influencia a presença de sintomas do SED, na redução do desempenho humano, e na satisfação do usuário com a qualidade do ar (GIANNOPOULOU et al., 2014),

Em um estudo que analisou a relação entre temperatura interna e externa, temperatura aparente, umidade relativa e umidade absoluta, em Massachusetts, EUA, chegou-se à conclusão que a umidade absoluta era o fator que mais impactava na saúde dos ocupantes (NGUYEN; SCHWARTZ; DOCKERY, 2014). Assim, é indiscutível a necessidade de buscar

mecanismos de controle de umidade e temperatura como estratégia para a obtenção de condições adequadas da qualidade do ar interior.

Os valores apresentados na tabela 4 foram estabelecidos por diferentes instituições, considerado um ambiente de trabalho com atividades e vestimentas usuais.

Tabela 4. Limites estabelecidos para a temperatura interna do ar

PAÍS	TEMPERATURA INTERNA DO AR (°C)	UMIDADE (%)
BRASIL	INVERNO	35-65
ÁUSTRIA	19-25	40-70
BÉLGICA	20-30	40-70
REPÚBLICA CHECA	20-28	60-80
FINLÂNDIA	20-24	-
FRANÇA	19-26	30-70
ALEMANHA	>20	55-80
ESPANHA	21-25	40-60
JAPÃO	-	40-70

Fonte: Adaptado de Anvisa (2003), Tsutsumi (2007) e Holopainen et al. (2014)

O controle da umidade interna também é importante para a obtenção de conforto térmico dos usuários, para evitar a condensação em superfícies onde a temperatura está abaixo do ponto de orvalho² do ar circundante, e para evitar ambientes úmidos. Na edificação, as áreas mais propensas à umidade e à condensação são as superfícies frias e os ambientes que delimitam o interior/exterior, devido ao resfriamento do envelope do edifício e a possibilidade de infiltração de ar. Assim, para a obtenção da umidade interna propícia, é importante considerar a pressurização adequada do edifício e o limite de condensação de vapor de água no interior (ASHRAE, 2009).

Em climas frios, o ar extremamente seco pode afetar a saúde humana e o conforto, tornando necessário, eventualmente, o uso de umidificadores. Contudo, a utilização de um sistema para umidificação apresenta alguns riscos, como a ocorrência de uma demanda maior que a necessária, ocasionando o problema inverso, e a emissão de contaminantes a partir do próprio sistema de umidificação. Assim, recomenda-se o atendimento dos requisitos da norma ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2007), além do cálculo da carga de umidade do ambiente e a manutenção adequada do sistema (ASHRAE, 2009).

² O ponto de orvalho representa a temperatura na qual a capacidade de retenção de água em vapor chega a 100% (ASHRAE, 2009).

Outros cuidados que devem ser adotados, além do estabelecimento da carga de umidade correta para o ambiente, é o tipo de sensor a ser utilizado, onde localizá-los e quais outras informações devem ser monitoradas, como por exemplo a identificação dos fatores propícios à condensação no ambiente (ASHRAE, 2009).

5.2 CONFORTO VISUAL

Os aspectos relacionados ao conforto visual podem ser estabelecidos através dos seguintes parâmetros de avaliação conforme a seguir detalhados: quantidade e uniformidade da luz natural no ambiente interno, quantidade e uniformidade da luz artificial no ambiente interno, e integração visual do ambiente interno ao externo.

5.2.1 Quantidade e uniformidade da luz natural no ambiente interno

A luz natural que incide no interior dos edifícios consiste em luz procedente diretamente do sol, da luz difundida da abóboda celeste, e da luz refletida no entorno. Sua magnitude e distribuição dependem de vários fatores, como a disponibilidade de luz segundo às condições atmosféricas locais, obstruções externas, dimensões e características das aberturas e envidraçados, orientação solar, dimensão e geometria do ambiente, e da refletividade das superfícies internas (ISO, 2003).

Devido à sua posição geográfica, a Antártica apresenta características particulares quanto à entrada de luz natural no ambiente interno, pois a trajetória solar no continente resulta tanto em longos períodos de sol próximo ao solstício de verão, como em curtos períodos no inverno, traduzindo situações extremas e opostas a serem solucionadas (MONTARROYOS, 2015). Além disso, na área litorânea, existe a diferença na reflexão recebida através da refletância originada do solo, que é caracteristicamente rochoso e escuro durante o verão, e predominantemente coberto por neve e claro durante o inverno.

Há um extenso número de estudos sobre a necessidade humana quanto a incidência solar, seja no que diz respeito aos aspectos fisiológicos como, também, psicológicos, tais como a produção de alguns hormônios e a sincronização do ciclo circadiano (KONIS, 2017). Assim, um nível regular de luz solar acarreta em uma série de benefícios além das questões visuais, pois níveis adequados podem melhorar a vigilância, o desempenho, o sono e o humor humano (AMUNDADOTTIR et al., 2017). A otimização do uso da luz natural também é de grande interesse do ponto de vista econômico e ambiental, visto os

impactos e custos gerados no emprego da energia elétrica (SOUZA, 2008), somados aos fatores complicadores da logística de acesso ao continente para o reabastecimento de combustível.

Assim, o projeto deve buscar desde a etapa de concepção do edifício, um desempenho visual satisfatório que forneça o conforto e a segurança do usuário, através de uma avaliação completa do espaço e da atividade a ser desenvolvida, com o alcance dos níveis lumínicos mínimos estabelecidos por norma (NASROLLAHI; SHOKRI, 2016).

Segundo Yannas e Corbella (2003), existem algumas estratégias que podem ser adotadas para a melhoria da iluminação natural no ambiente, tais como:

- Conhecimento das propriedades térmicas e lumínicas dos materiais empregados;
- Distribuição dos ambientes em compatibilidade com a melhor orientação;
- Estudo da localização, forma e dimensões das aberturas;
- Estudo da geometria e cores das superfícies internas;
- Uso de elementos para controlar a entrada da luz e da radiação direta; e
- Dispositivos que permitam o controle do usuário sobre o sistema de iluminação.

Entretanto, além de se beneficiar das vantagens da luz solar disponível, a edificação deve reduzir as desvantagens advindas da luz excessiva. Existem diversas normativas que indicam valores de iluminância e a distribuição necessárias segundo a atividade a ser desenvolvida (ISO, 2003), como a norma ISO 8995-1: *Lighting of Indoor Work Places* (2002) e a norma EN 12464-1: *Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: indoor work places* (2002).

Deste modo, a iluminação deve atender aos aspectos quantitativos e qualitativos requisitados pelo ambiente a fim de obter condições visuais satisfatórias, e o desenvolvimento de atividades com conforto e facilidade. Para tal, alguns parâmetros devem ser atendidos (ISO, 2003), sendo destacados neste trabalho a iluminância, e o índice de uniformidade no ambiente.

A iluminância é a quantidade de luz que incide sobre a superfície, ou seja, a razão entre o fluxo luminoso (lm) e a área que recebe essa iluminação (ALRUBAIH et al., 2013). Os níveis de iluminância (lux) e sua distribuição na área de trabalho e entorno imediato definem como uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual, a velocidade de adaptação e o conforto necessários para tal (ISO, 2003).

Já o índice de uniformidade (U) é a relação entre o valor mínimo e médio de iluminância, que expressa a distribuição das iluminâncias (E) na área de trabalho, que deve ser iluminada o mais uniformemente possível. A uniformidade dos valores de iluminância indica a qualidade do espaço iluminado. Índices mais próximos de 1 (um) indicam níveis de iluminância mais estáveis, contrastes mais amenos e ambientes mais confortáveis (ISO, 2003; GALATIOTO; BECCALI, 2016).

Analisar apenas o nível de iluminância média não é suficiente para avaliar a qualidade da iluminação no espaço, pois o mesmo pode apresentar uma iluminância média adequada, porém com baixo nível de uniformidade, permitindo que o ambiente tenha regiões com iluminação insuficiente ou excessiva (IEA, 2000). Por sua vez, o excesso de iluminação deve ser evitado para que não ocorra o fenômeno do ofuscamento ou grandes contrastes, prevenindo assim o desconforto e o cansaço visual (YANNAS; CORBELLA, 2003; IAB, 2012).

Um método preditivo normalmente utilizado para avaliar a qualidade da luz solar no ambiente é o Fator de Luz Diurna (FLD), também conhecido como *Daylight Factor*. O FLD expressa em porcentual a proporção de iluminância externa sob a iluminância interna da edificação (ALRUBAIH et al., 2013). A partir do porcentual obtido, é possível verificar o atendimento dos níveis de iluminação estabelecidos pelas normas.

Embora o FLD seja bastante utilizado, Nabil e Mardaljevic (2006) propuseram uma abordagem distinta para a avaliação da luz do dia nos edifícios, chamado de *Useful Daylight Illuminances* (UDI). Ao contrário da abordagem convencional do FLD, o método da UDI realiza uma análise anual, com base nas condições climáticas e solares locais, e considera as variáveis existentes no clima, fazendo com que os resultados obtidos sejam mais realistas.

Além disso, ao invés de considerar apenas um valor único, a UDI analisa a iluminância dentro do edifício a partir de um intervalo alcançado, resultando em dois pontos positivos: primeiramente, porque o FLD não considera útil as iluminâncias que estão abaixo de 500 lux, entretanto, do ponto de vista do usuário, iluminâncias inferiores demonstraram um bom atendimento das necessidades visuais; e em segundo lugar, porque a UDI também analisa os altos níveis de iluminância que ultrapassam os padrões

estabelecidos por norma e causam desconforto aos usuários (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Assim, a definição dos limites de intervalo da UDI foi elaborada a partir de dados em estudos de campo sobre o comportamento dos usuários, sendo determinado que o intervalo definido como útil abrange a faixa entre 100 – 2000 lux. Deste modo, a UDI avalia os níveis de iluminância de acordo com três intervalos (NABIL; MARDALJEVIC, 2006):

- <100 lux: abaixo do intervalo útil;
- 100-2000 lux: faixa útil; e
- >2000 lux: acima da faixa útil.

A faixa entre 100 a 500 lux, entretanto, pode apresentar a necessidade de complementação da luz artificial.

5.2.2 Quantidade e uniformidade da luz artificial no ambiente interno

Os níveis de iluminância adequados para o conforto visual podem ser atingidos através da incidência de luz natural, luz artificial ou pela combinação de ambas. Sabe-se, porém, que devido aos efeitos na saúde, no conforto e na economia de energia, o uso de luz natural é preferível sempre que possível. Entretanto, a disponibilidade da luz solar depende de muitos fatores, como a quantidade de horas de luz disponível durante as diferentes estações, a latitude do edifício, e o horário e autonomia durante o período de ocupação, entre outros (CEN, 2006). Na EACF, por exemplo, simulações computacionais demonstraram que a complementação da iluminação artificial se fazia necessária durante as 24h do dia durante o período de inverno (TOMÉ et al., 2016). Assim, a iluminação artificial torna-se uma importante complementação da luz natural.

Semelhantemente a luz natural, a qualidade da iluminação artificial no edifício também pode ser avaliada pela UDI, como discutido no item 5.2.1. Entretanto, uma importante questão específica inerente à iluminação artificial que deve ser considerada no projeto luminotécnico é o controle da luz. Dentre uma vasta gama de opções de sensores e motores já bem empregados na arquitetura, o controle da iluminação deve permitir a adaptação da iluminação conforme a atividade desenvolvida e a preferência do usuário. Além de auxiliar a satisfação pessoal com a quantidade de luz disponível, dispositivos de iluminação evitam o desperdício de energia, tornando o sistema mais eficiente do ponto de vista energético (SADEGHI et al., 2016).

Outra questão a ser resolvida, refere-se ao fato de que luminárias são potenciais fontes de ofuscamento direto. O ofuscamento ocorre quando existe uma perturbação, desconforto ou até perda da visibilidade momentânea devido a uma variação muito grande da iluminação, e/ou quando o processo de adaptação dos olhos acontece a uma velocidade muito rápida. Para resolver esse problema, o projeto luminotécnico deve adotar luminárias que utilizam elementos de redução do ofuscamento, como coberturas transparentes ou foscas, aletas e outros (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Assim, a análise da quantidade de luminárias, bem como sua potência e distribuição, deve estar atrelada às necessidades de projeto de forma a atender aos aspectos visuais, econômicos e estéticos do local.

5.2.3 Integração visual do ambiente interno ao externo

As aberturas desempenham um importante papel além de permitirem a entrada da luz natural no edifício, pois também são responsáveis por criar uma conexão visual com o ambiente externo, contribuindo para o conforto psicológico e visual do usuário (NASROLLAHI; SHOKRI, 2016). O acesso direto ou indireto às janelas permite a visualização da paisagem exterior, proporcionando ao ocupante a noção de mudanças climáticas e cronológicas. Em contrapartida, os ambientes sem aberturas adequadas, principalmente os de longa permanência, podem causar desconforto e claustrofobia (IEA, 2000).

Objetos no campo de visão exercem reações até mesmo de forma subconsciente no cérebro, fazendo com que o contato visual com paisagens, principalmente as naturais, sejam favoráveis para o bem-estar individual e social (SOUZA, 2008; GRINDE; PATIL, 2009; COE, 2017).

Existem diversos benefícios psicológicos gerados através do contato com a natureza, como a redução do estresse, aumento da atenção (HARTIG et al., 2003), e a redução de emoções negativas como a tristeza e o medo (WHITE et al., 2013). Além dos benefícios emocionais, também foram encontrados ganhos físicos, pois a redução do estresse impacta na diminuição de vários problemas de saúde recorrentes, como doenças cardiovasculares e transtornos de ansiedade e depressão. Algumas pesquisas realizadas em hospitais, por exemplo, concluíram que a presença de janelas reduzia o nível de dor e

acelerava a recuperação cirúrgica (VELARDE; FRY; TVEIT, 2007; GRINDE; PATIL, 2009; WHITE et al., 2013).

Segundo Velarde, Fry e Tveit (2007), grande parte da satisfação obtida através da relação com a natureza não requer o contato direto com a mesma, sendo suficiente apenas sua visualização (VELARDE; FRY; TVEIT, 2007). Assim, mediante ao clima extremo do Continente Antártico e a conseqüente permanência em ambientes fechados, essa possibilidade de conexão com o meio externo torna-se fundamental.

5.3 CONFORTO TÉRMICO

A obtenção de conforto térmico para edificações antárticas pode ser alcançada através das seguintes principais estratégias, conforme a seguir detalhado: partido arquitetônico que potencializa a conservação do calor, proposição de técnica construtiva e materiais que otimizem o isolamento térmico, e conforto térmico proporcionado por sistemas de climatização

5.3.1 Partido arquitetônico que potencializa a conservação do calor

A definição do partido arquitetônico é algo complexo que engloba diversos fatores, como conhecimentos técnicos, científicos e artísticos, sendo que este último, muitas vezes e de forma inadequada, tem se mostrado bastante superior aos outros no decorrer do processo (MACIEL, 2006). A adequação da arquitetura ao clima local significa construir espaços que garantam condições de conforto, amenizando sensações indesejadas vivenciadas em climas muito rígidos, como o excesso de frio, calor ou vento. Essa abordagem é conhecida como arquitetura bioclimática (FROTA, 1995; MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015; USGBC, 2017).

A arquitetura bioclimática considera as especificidades do clima local, aplicando-as nas decisões de projeto e tecnologias disponíveis a fim de solucionar os problemas resultantes do ganho e/ou perda de calor entre o edifício e o meio externo. Assim, são alcançados benefícios não só no conforto, mas também na conservação da energia (MACIEL, 2006; MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Entretanto, embora a integração dos conceitos bioclimáticos tenha se mostrado vantajosa, ainda existe pouca influência efetiva nas escolhas dos arquitetos, principalmente nos

estágios iniciais, em que há uma possibilidade ainda maior de se alcançar bons resultados no edifício devido a facilidade de alterações no projeto. Assim, além dos aspectos formais é necessário a implementação de uma estratégia ambiental através da definição de diretrizes que auxiliem o processo da tomada de decisão, e de critérios básicos que funcionem como ponto de partida (MACIEL, 2006).

Segundo Castro (2005), durante a fase inicial de concepção deve-se considerar as condições ambientais que impactarão no desempenho do edifício (CASTRO, 2005; MACIEL, 2006; FRIESS; RAKHSHAN, 2017), tais como:

- Posição geográfica do terreno (altitude, latitude, longitude, topografia);
- Orientação do terreno e interferências do entorno;
- Direção e velocidade dos ventos;
- Condições climáticas, incidência da radiação solar; e
- Sombreamentos exteriores ao envelope.

Dentre as variáveis climáticas, as que mais interferem no desempenho térmico da edificação são o sentido dos ventos e índices pluviométricos, a oscilação anual e diária da temperatura e umidade relativa, a quantidade de radiação solar incidente, e o grau de nebulosidade do céu (FROTA, 1995; GALLO, 1998; FRIESS; RAKHSHAN, 2017).

Em um clima frio, a radiação solar pode contribuir de duas maneiras: primeiramente, pela radiação que entra no ambiente através das aberturas, em que parte é absorvida pelas superfícies internas e outra parte se converte em energia térmica (essa energia eleva a temperatura das superfícies que a absorveram, resultando no aumento da temperatura do ar que está em contato com elas); em segundo lugar, através da energia que é absorvida pela superfície das paredes externas e se converte em calor, transmitido por condução para o ambiente interno através da envoltória (YANNAS; CORBELLA, 2003).

Assim, para maximizar o ganho de calor através da radiação solar, é necessária a compreensão da trajetória solar local, garantindo a melhor implantação do edifício em relação ao sol (YANNAS; CORBELLA, 2003; FRIESS; RAKHSHAN, 2017). Como exemplo, pode-se citar a estação belga Princess Elisabeth, inaugurada em 2009, em que o arranjo e disposição do edifício permitiram a entrada de radiação solar suficiente para diminuir a necessidade de uso de equipamentos mecânicos para o aquecimento dos ambientes durante o verão (TIN et al., 2010).

Entre os aspectos importantes para a garantia das condições de habitabilidade em climas frios, pode-se destacar também a retenção do calor no ambiente interno. Outros problemas comuns a serem enfrentados no Continente Antártico são os fortes ventos e o acúmulo de neve nos edifícios. O movimento do ar torna-se um fator negativo em baixas temperaturas pois aumentam a sensação de frio e contribuem para o acúmulo de neve em determinados locais (GALLO, 1998). Essas necessidades influenciam a volumetria do edifício e a distribuição do volume de forma ideal, visando a proteção das superfícies expostas ao ambiente externo e a minimização da perda de calor (FRIESS; RAKHSHAN, 2017). Para tal, formas compactas e escalonadas tem se mostrado mais eficientes, bem como, em casos extremos, formatos semiesféricos (COCH, 1998).

Por fim, a avaliação do desempenho das propostas projetuais tornou-se possível graças ao avanço tecnológico e ao uso de modelos digitais. Nesses modelos podem ser informadas as hipóteses do projeto, resultando em dados que indicam as predições de desempenho da edificação. Para identificar a ferramenta mais adequada, é importante observar os dados de entrada requeridos (que dependerão da quantidade de informações disponíveis no momento), o método de cálculo, as questões abordadas para a análise da eficiência, e o formato da saída dos resultados (MACIEL, 2006).

Embora ainda haja a necessidade de aperfeiçoamento em alguns aspectos (MACIEL, 2006), acredita-se que a análise do desempenho do edifício através de simulação computacional pode auxiliar na proposição de edifícios que apresentem uma performance cada vez melhor, possibilitando assim as melhores condições de conforto térmico necessárias diante o inóspito ambiente antártico.

5.3.2 Proposição de técnica construtiva e materiais que otimizem o isolamento térmico

Um edifício com bom isolamento térmico é o meio mais eficiente para obter condições satisfatórias de conforto, baixos custos operacionais e a redução do consumo de energia (KORJENIC, 2011). O sistema mecânico de arrefecimento e aquecimento do edifício é responsável pelos maiores impactos no meio ambiente, pois demanda um significativo consumo energético. A quantidade de energia necessária para aquecer e/ou resfriar um edifício depende, principalmente, da qualidade do tratamento térmico que sua envoltória recebe, bem como sua espessura e o tipo de material de construção utilizados. Esses

fatores serão responsáveis por retardar a transferência de calor através da estrutura do edifício, determinando o desempenho térmico do mesmo e, conseqüentemente, o conforto no espaço ocupado (AL-HOMOUD, 2005).

Além dos benefícios no conforto do usuário, ambientais e econômicos (pela redução do consumo de energia) que o isolamento térmico permite, ele ainda apresenta outros aspectos positivos, como redução da dependência de sistemas mecânicos; redução no custo inicial para os sistemas HVAC; melhoria no isolamento acústico entre ambientes; controle das mudanças de temperaturas, ajudando a preservar a integridade da estrutura da edificação e, conseqüentemente, a vida útil da mesma; e pode ajudar a retardar o calor e prevenir a migração de chamas em caso de incêndio (AL-HOMOUD, 2005).

O envelope da edificação merece destaque no projeto pois ele é responsável por absorver grande parte da radiação e influenciar a carga térmica no interior do edifício (SOUZA, 2008). Somado a isso, há uma busca contínua por novos materiais considerados ecologicamente corretos e que proporcionem melhorias na proteção da envoltória (PAPADOULOS, 2005; KORJENIC, 2011).

Como uma forma de alcançar uma maior resistência, existe a prática de se utilizar materiais de isolamento tradicionais, em espessuras cada vez maiores. Entretanto, Jelle (2011) cita uma série de razões por esse método não ser desejável, como as limitações referentes à área disponível, o volume a ser transportado, as restrições arquitetônicas e econômicas, entre outras, totalmente pertinentes quando o sítio de implantação da edificação é a Antártica.

Uma espessura maior não significa necessariamente um isolamento melhor, pois o custo do incremento adicional de isolamento deve se equilibrar no retorno da economia de energia gerado pelo mesmo. O mesmo isolamento também pode apresentar uma eficácia diferente para distintas edificações, sendo determinado com maior eficiência através de uma análise do ciclo de vida, considerando por exemplo (JELLE, 2011):

- O tipo de construção, função, tamanho e forma;
- O componente do edifício a ser isolado (parede, telhado, janela, etc.);
- As condições climáticas locais no local de construção;
- O tipo de isolamento utilizado;
- O custo do isolamento (material e custos de instalação);

- Tipo e eficiência do sistema HVAC utilizado;
- O tipo e o custo da energia utilizada (o valor da energia economizada); e
- O custo de manutenção.

Sabe-se, entretanto, que alguns materiais podem requerer uma espessura maior devido à necessidade de compensar a sedimentação ao longo do tempo, ou para obter a resistência térmica nominal sobre diferentes temperaturas. Assim, para a proposição de uma envoltória com boas características isolantes, a estratégia adotada deve ser o emprego de materiais com a menor condutividade térmica possível (quadro 4), pois a baixa condutividade térmica possibilita o emprego de envelopes relativamente finos, mas com uma alta resistência térmica e um baixo valor de transmitância térmica (JELLE, 2011).

Quadro 4 - Conceituação dos termos abordados no isolamento térmico

TERMO	DEFINIÇÃO
Isolamento térmico	Material ou uma combinação de materiais que retardam a taxa de fluxo de calor por condução, convecção e radiação. Retarda o fluxo de calor dentro ou fora da edificação devido à sua alta resistência térmica.
Condutividade térmica (λ)	Quantifica a capacidade dos materiais de conduzir calor. Materiais com alta condutividade térmica conduzem calor de forma mais rápida do que aqueles com baixa condutividade. Assim, materiais com alta condutividade são utilizados como dissipadores de calor, e os de baixa condutividade como isolantes térmicos.
Transmitância térmica (U)	Capacidade de transmissão de calor do material em uma unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, induzida pela diferença de temperatura de dois ambientes.

Fonte: Brasil (2010) e Jelle (2011)

O crescimento e desenvolvimento de tecnologias para materiais isolantes acompanhou também o aumento nas exigências quanto aos valores mínimos estabelecidos por órgãos governamentais de países onde o isolamento térmico é necessário, como mostra a tabela 5.

Tabela 5 - Limites estabelecidos para transmitância térmica dos materiais (continua)

PAÍS	TELHADOS (W/m ² K)	PAREDES EXTERNAS (W/m ² K)	PISO (W/m ² K)	JANELAS (W/m ² K)
Áustria	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	1,0-1,5
Bélgica	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,6	1,5-2,5
França	0,2-0,3	0,4-0,5	0,3-0,4	1,5-2,5
Alemanha	0,2-0,3	0,5-0,6	0,4-0,5	1,0-1,5
Reino Unido	0,1-0,2	0,2-0,4	0,2-0,3	1,5-2,5
Itália	0,3-0,4	0,4-0,5	0,4-0,5	2,5-3,5
Noruega	0,1-0,2	0,2-0,3	0,1-0,2	1,0-1,5
Portugal	0,6-0,6	0,6-0,6	0,6-0,6	2,0-3,0

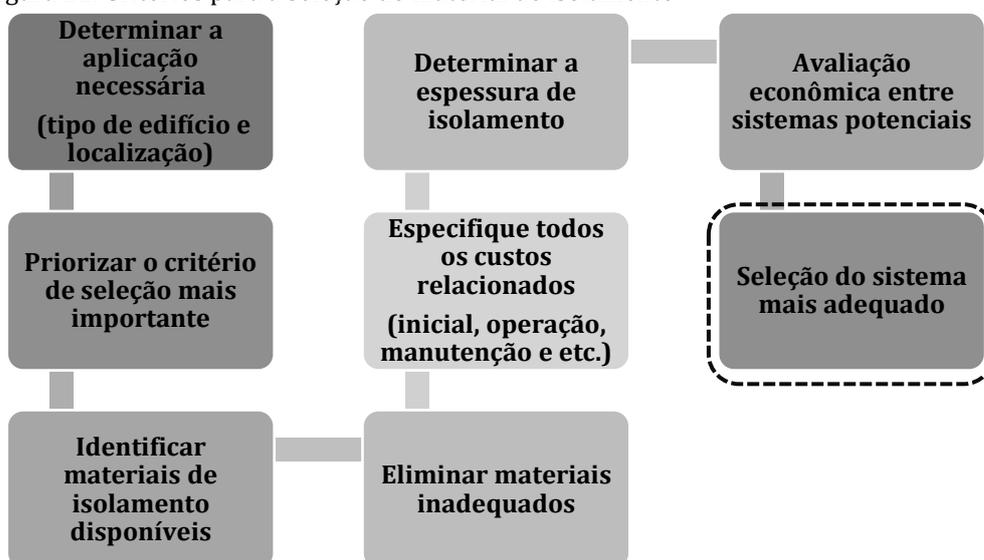
Espanha	0,6-0,6	0,6-0,6	0,6-0,6	2,5-3,5
Suécia	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	1,0-1,5
Suíça	0,3-0,4	0,3-0,4	0,6-0,6	1,0-1,5

Fonte: Adaptado de Papadoulos (2005)

Assim, há uma extensa lista de parâmetros que devem ser considerados para a seleção do isolamento térmico além de sua condutividade e transmitância térmica, como sua durabilidade, custo, resistência à compressão, absorção e transmissão de vapor de água, resistência ao fogo e facilidade de aplicação.

Jelle (2011) propõe alguns critérios para a seleção do material isolante adequado, conforme apresentado na figura 22:

Figura 22. Critérios para a seleção do material de isolamento



Fonte: Traduzido de Jelle (2011)

Jelle (2011) também faz uma extensa revisão dos materiais de última geração, além de discutir sobre possíveis materiais a serem utilizados no futuro do isolamento térmico. Nesse estudo, o autor conclui que não há um material ou solução de isolamento que satisfaça todos os requisitos em relação às propriedades mais importantes, sendo necessário, portanto, escolher o mais adequado mediante as possibilidades disponíveis e o objetivo do isolamento.

5.3.3 Conforto térmico proporcionado por sistemas de climatização

Os sistemas de climatização do edifício devem considerar não só as características que garantam a qualidade do ar interno, mas também os critérios para o estabelecimento do

conforto térmico (SARBU; SEBARCHIEVICI, 2013). Além disso, a definição do clima interior é importante para o bom desempenho do edifício seja por questões de conforto, seja por seu impacto no consumo de energia.

As normativas internacionais, como ASHRAE e ISO, definem que as faixas de temperatura no ambiente devem garantir a satisfação térmica para pelo menos 80% dos usuários (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010). Na concepção do edifício, os padrões de conforto são necessários para auxiliar os projetistas a fornecerem um ambiente em que os usuários se sentirão termicamente confortáveis. Essa condição é chamada de neutralidade térmica, que representa o ponto em que o indivíduo não prefira um ambiente nem mais quente, nem mais frio (ZHANG; ZHAO, 2008).

O conforto térmico e a satisfação com o ambiente, entretanto, são condições subjetivas pois dependem de variáveis como a taxa metabólica e a atividade do usuário, a resistência do vestuário, e características psicológicas que podem afetar como o indivíduo se sente no ambiente, como a capacidade de aclimação e adaptação, entre outros (GAITANI; MIHALAKAKOU; SANTAMOURIS, 2007; TALEGHANI et al., 2013; HOLOPAINEN et al., 2014). Os parâmetros físicos que possuem influência são a temperatura do ar interior (t_i), temperatura radiante média (t_r) da fronteira com superfícies; umidade relativa do ar (ϕ_i); pressão parcial de vapor de água (p_a); e velocidade do ar (v_i). Assim, não existe um padrão absoluto para o conforto térmico, pois além dos aspectos mencionados, ele depende, ainda, de ações comportamentais como alterar roupas, atividade desenvolvida ou mesmo a localização momentânea (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010).

As normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010) são amplamente utilizadas e internacionalmente aceitas para o cálculo do conforto térmico. Ambas utilizam o método de Fanger (1972) para prever a sensação térmica geral e o grau de desconforto através dos índices PVM (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). O índice PMV prediz a sensação térmica que vai de frio (-3) a quente (+3), elaborada por Fanger através de dados coletados durante uma pesquisa com um grande número de participantes. Os dados obtidos geraram um modelo matemático da relação entre todos os fatores ambientais e fisiológicos considerados. Através do resultado foi proposta uma escala de sensação térmica, adotada para o desenvolvimento das normas citadas. Já o índice PPD prevê a porcentagem de pessoas que provavelmente ficarão insatisfeitas com o ambiente (CASTILLA, 2011).

Normalmente o conforto ocorre quando a temperatura corporal é mantida dentro de uma faixa estreita – em torno de 37°C (ASHRAE, 2010) –, com baixa umidade da pele e há um mínimo esforço fisiológico para a regulação da temperatura (SARBU; SEBARCHIEVICI, 2013). Além disso, a norma ISO 7730 (2005) recomenda que o PMV deve ser mantido entre intervalos de $\pm 0,5$ para um bom padrão de conforto (EKICI, 2013; HOLOPAINEN et al., 2014).

Entretanto, visto a extensão e heterogeneidade do corpo humano, o desconforto térmico em alguma parte acaba por resultar no desconforto do todo (MARTINS, 2016). Segundo a ISO 7730 (2005) e a ASHRAE 55 (2010), os fatores mais comuns para o desconforto local são: assimetria da temperatura radiante (superfícies, como paredes ou teto, quentes ou frias); diferença vertical da temperatura do ar anormal entre cabeça e tornozelos; pisos frios ou quentes; e correntes de ar, que causam resfriamento local e é o problema considerado mais recorrente (ISO, 2005; ASHRAE, 2010; MARTINS, 2016). Assim, além do cuidado para evitar tais situações, o sistema de aquecimento adotado deve garantir não só a temperatura adequada, como também, a menor oscilação possível.

5.4 ACÚSTICA

Os aspectos relacionados ao conforto acústico estão intrinsecamente relacionados à transmissão sonora entre ambientes e à adoção de medidas de atenuação dos ruídos oriundos de equipamentos para o interior dos ambientes sociais e privativos, conforme a seguir detalhado.

5.4.1 Transmissão sonora entre ambientes

O som que causa incomodo é chamado de ruído, que pode ser interno ao próprio ambiente, ou decorrente de atividades externas à edificação (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012). As principais fontes internas são a conversação, passos, aparelhos eletrodomésticos e instalações, como condicionadores de ar, canalizações, geradores, entre outros (SIMÕES, 2011). Na Antártica, as fontes externas, em geral, não representam um problema para o conforto acústico – com exceção, por exemplo, dos ruídos gerados nas ventanias –, entretanto, para a garantia da preservação ambiental, deve-se evitar a transmissão sonora do interior do edifício sobre a fauna local sensível a ruídos.

No homem, a exposição excessiva a níveis altos pode causar a perda parcial ou total da audição, problemas gastrointestinais e cardiovasculares devido as sucessivas contrações musculares, problemas respiratórios e hormonais, e o mais recorrente, distúrbios no sistema nervoso (YANNAS; CORBELLA, 2003; CARVALHO, 2006).

O controle do ruído pode ser exercido diretamente na fonte produtora do som, de forma a anulá-lo ou diminuí-lo, sobre o caminho de propagação, ou no receptor (YANNAS; CORBELLA, 2003). O método de tratamento para a redução do som por propagação depende do tipo de ruído considerado, pois as fontes de ruído podem se propagar de forma aérea, ou por vibrações de sólidos ou impacto. A partir da identificação das fontes de propagação, é possível alcançar a qualidade acústica através do emprego do material isolante mais adequado para cada caso. Assim, é importante compreender a diferença entre os materiais isolantes e os absorventes (CARVALHO, 2006).

Quando uma onda sonora atinge um obstáculo (como uma parede, por exemplo), ocorrem três situações: parte da onda é transmitida através do material, outra parte é absorvida pelo obstáculo e o restante é refletido para o ambiente. Se o material dificultar a transmissão sonora de um ambiente para o outro, refletindo a maioria da energia sonora incidente, ele é caracterizado como um bom isolante acústico. Se esse material possuir a característica de reter grande parte dessa onda sonora, transformando-a em energia térmica, ele é caracterizado como um bom absorvente (CARVALHO, 2006). Essa capacidade do material é indicada pelo coeficiente de absorção, que representa a relação entre a energia incidente e a energia sonora absorvida (YANNAS; CORBELLA, 2003). Dessa forma, o conhecimento desses fatores e o objetivo do isolamento são fundamentais para a escolha do material adequado.

Por fim, os elementos mais prejudiciais ao isolamento acústico em um edifício são as aberturas, portas e janelas, pois pequenas frestas são capazes de provocar reduções drásticas no isolamento sonoro (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012).

Assim, alguns métodos construtivos podem ser utilizados em situações que requerem um isolamento mais eficiente, tais como:

- Em paredes: aumento da massa da superfície (reduz as vibrações), emprego de paredes duplas com inserção de material absorvente no interior, e emprego de

conexões flexíveis com os demais elementos construtivos (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012); e

- Em esquadrias: eliminação de juntas rígidas, uso de materiais resilientes para auxiliar no amortecimento das vibrações e na vedação de pequenas frestas, e quando possível optar por esquadrias de abertura em giro, uma vez que as aberturas de correr necessitam de pequenas frestas (CARVALHO, 2006; SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012).

Além da correta utilização dos materiais no tratamento das superfícies, deve-se otimizar o posicionamento dos ambientes tanto na sua distribuição horizontal quanto vertical, garantindo o melhor zoneamento acústico no edifício de acordo com as atividades desenvolvidas (CARVALHO, 2006; SOUZA, 2008).

5.4.2 Medidas de atenuação dos ruídos oriundos de equipamentos para o interior dos ambientes sociais e privativos

O ruído como vibração é um impacto transmitido diretamente sobre a estrutura, e que conseqüentemente causa a vibração do ar. Ela ocorre enquanto há movimento e fricção, normalmente produzidos pela movimentação de maquinários como condicionadores de ar e bombas hidráulicas, entre outros (SOUZA, 2008; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012). Excluindo-se o contato direto do maquinário com paredes, os elementos construtivos mais vulneráveis à vibração são o piso e o teto (CARVALHO, 2006).

Os ruídos são provenientes de peças das máquinas que, por serem suscetíveis a esforços cíclicos, acabam gerando deformações em frequências audíveis. Sem o controle adequado, essa vibração pode ser transmitida pela estrutura que está em contato com o equipamento, criando um som que se propaga por todo o edifício (BISTAFA, 2006; SOUZA, 2008).

Assim, ao projetar as áreas técnicas o amortecimento das vibrações deve ser feito o mais próximo possível da fonte de ruído (SIMÕES, 2011) através da utilização de lajes flutuantes, da descontinuidade da estrutura, ou do emprego de junções resilientes que garantam o isolamento da fonte. Este mesmo princípio deve ser adotado na instalação de tubulações e dutos devido aos ruídos gerados nas conexões entre estes e a estrutura. Dessa forma, para minimizar a transmissão dos ruídos gerados essas conexões devem ser

flexíveis e os desvios das tubulações atenuados através de curvas mais suaves (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012).

Para o isolamento dos ruídos aéreos o método normalmente mais utilizado é o enclausuramento através da construção de superfícies com materiais absorventes ao redor da máquina, semelhantemente ao tratamento recebido em pisos, paredes e tetos. Entretanto, é necessário garantir a ventilação adequada do ambiente, permitindo o resfriamento dos motores de acordo com a dissipação da carga térmica gerada. O método indicado para esses casos é o emprego de equipamentos atenuadores de ruído, que são equipamentos capazes de conciliar o isolamento acústico de um ambiente com sua ventilação natural (CARVALHO, 2006; SIMÕES, 2011).

Por fim, sempre que possível o posicionamento do maquinário deve ser feito em áreas mais afastadas dos locais de permanência prolongada, considerando tanto a distribuição horizontal quanto vertical dos ambientes, garantindo assim que as demais áreas não sejam prejudicadas.

5.5 EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS

Uma preocupação atual relacionada ao conforto e segurança dos usuários de ambientes internos, especialmente quando caracteristicamente confinados, refere-se às emissões eletromagnéticas, cujo controle pode ser feito através dos níveis de exposição, conforme a seguir explanado.

5.5.1 Controle dos níveis de exposição a campos eletromagnéticos

Embora os campos eletromagnéticos sejam invisíveis a olhos humanos, sabe-se que eles estão presentes em todos os ambientes devido à grande quantidade de fontes de emissão. Enquanto os campos elétricos são gerados pelo acúmulo de cargas elétricas, os campos magnéticos são criados a partir do movimento dessas cargas. Quanto maior a corrente, maior a força do campo. Essa força, entretanto, diminui rapidamente conforme aumenta a distância da fonte de emissão (WHO et al., 2007; WHO, 2017).

A intensidade do campo elétrico usualmente é expressa em volts por metro (V/m), enquanto o campo magnético é medido em amperes por metro (A/m) ou pela densidade de fluxo (tesla, T), sendo este último o mais adotado em estudos científicos (EMF, 2017).

As principais fontes de emissão eletromagnética são divididas em três grupos: os campos de frequência extremamente baixa (ELF - *Extremely Low Frequency* no original em inglês) com frequência de até 300Hz, campos de frequência intermediária (FI - *Intermediate Frequency Fields* no original em inglês) com frequências de 300 Hz a 10 MHz, e campos de radiofrequência (RF - *Radiation Fields* no original em inglês), com frequência entre 10 MHz a 300 GHz (EUROPEAN..., 2005).

A ocorrência de campos eletromagnéticos dentro de edifícios é causada, principalmente, pela distribuição de eletricidade e por aparelhos eletrodomésticos, ambos formadores de campos de frequência extremamente baixa. Entre os aparelhos há uma grande variedade na força de campo gerada, inclusive em objetos de mesma função, mas com fabricantes diferentes. Alguns exemplos das principais fontes RF são micro-ondas, computadores, redes sem fio (Wi-Fi) e celulares (WHO, 2017).

Nos últimos 30 anos, os efeitos no homem causados pela exposição aos campos eletromagnéticos receberam bastante atenção da comunidade científica. Apesar de haver uma clara influência dessa exposição no corpo humano, os níveis emitidos por aparelhos domésticos demonstraram ser muito baixos para causarem impactos negativos na saúde. Com base nesses resultados, instituições governamentais e órgãos normativos, como a Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP), determinaram limites de exposição como uma medida de precaução a possíveis efeitos ainda não descobertos (WHO, 2017).

Segundo Sage e Carpenter (2009) e Sage (2012) entretanto, essas diretrizes são obsoletas para a tecnologia sem fio, pois elas foram estabelecidas apenas com base nos efeitos do aquecimento térmico do corpo humano como resultado a altas exposições. Além disso, de acordo com Grellier, Ravazzani e Cardis (2014) foram comprovadas a ocorrência de efeitos adversos à saúde em níveis muito mais baixos de EFL e RF do que os estipulados pelas normas vigentes. As novas tecnologias sem fio e outros sistemas de comunicação e transmissão de dados demonstraram afetar o organismo humano de forma que os antigos limites de segurança estabelecidos não garantem a proteção adequada (SAGE; CARPENTER, 2009).

Alguns efeitos relacionados a exposição a curto prazo são a interrupção do sono, perturbação hormonal, comprometimento da função cognitiva e da capacidade de concentração, entre outros. Já os efeitos a longo prazo indicam provocar estresse

fisiológico, alteração na imunidade, comprometimento da fertilidade, doenças neurológicas e câncer, entre outros. As exposições a RF também demonstraram efeito na membrana celular, no metabolismo, e no sistema nervoso central, resultando em prejuízos em diversas funções cerebrais (HARDELL; SAGE, 2008).

Assim, embora esta seja uma área com algumas incertezas científicas e médicas, é importante adotar ações preventivas para reduzir doenças e eventuais danos futuros. Com base na pesquisa realizada, foram adotados os limites segundo estabelecido por Hardell e Sage (2008).

- Limite de exposição ELF para construções novas: 0,1 μ T; e
- Limite de exposição RF para construções novas: 0,614 V/m.

É importante garantir que essas diretrizes sejam regularmente revistas e atualizadas, visando a adequação das mesmas ao constante avanço tecnológico (HARDELL; SAGE, 2008).

5.6 PONDERAÇÃO DE RELEVÂNCIA

A definição de relevância ou pesos de cada indicador seguiu a metodologia descrita no capítulo 4. Assim, os especialistas consultados atribuíram cinco pesos para cada indicador, a partir da análise do efeito local; extensão do efeito em potencial; duração do efeito em potencial; intensidade do efeito em potencial; e sistema primário diretamente afetado. Essa atribuição foi feita pessoalmente, permitindo a fundamentação do indicador ao especialista, principalmente quanto ao objetivo de seu atendimento. A partir dessa compreensão, cada item de análise também foi esclarecido.

Após essa etapa, os pesos atribuídos foram ponderados, obtendo-se o fator de impacto (Fk) do indicador. A partir da fundamentação realizada nos itens anteriores do capítulo 5, foi possível avaliar de forma individual o grau de impacto (G.I) que cada indicador possui com base na descrição atribuída pelo Protocolo de Madri (SECRETARIAT..., 1991). Após a normatização dos resultados, obteve-se o peso final do indicador. A normatização foi adotada pois ela permite que, somando-se todos os pesos de uma mesma categoria, o valor total seja 1. O processo está representado nas tabelas 6 a 10 a seguir apresentadas.

A subcategoria qualidade do ar interno contém 6 indicadores. Conforme o processo anteriormente descrito, os pesos atribuídos para cada um estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Resultado dos pesos dos indicadores da QAI

QUALIDADE DO AR INTERNO	INDICADOR	El	Ep	Ed	Ei	Es	Fkix	PESO PARCIAL	Pix
	1	5	1	4	3	4	240	0,230769231	0,23
	2	4	3	5	3	4	720	0,692307692	0,67
	3	4	1	1	3	2	24	0,023076923	0,025
	4	4	1	1	3	2	24	0,023076923	0,05
	5	4	1	1	3	2	24	0,023076923	0,05
	6	2	1	1	2	2	8	0,007692308	0,01

Onde:

El = Efeito Local

Ep = Extensão do Efeito em Potencial

Ed = Duração do Efeito em Potencial

Ei = Intensidade do Efeito em Potencial

Es = Sistema Primário Diretamente Afetado

Fkix = Fator de impacto ponderado do indicador x

Pix = Peso do indicador x

Na subcategoria, o indicador com maior peso foi o número 2, “Utilização de sistemas de filtragem do ar interior”, seguido pelo indicador número 1, “Quantidade de renovações do ar por unidade de tempo”. Ambos receberam pontuações muito acima dos demais indicadores, que em ordem de pontuação obtida, são: número 3, “Nível de concentração de CO₂”; número 4 e 5, “Nível de concentração de compostos orgânicos voláteis” e “Nível de concentração de fungos no ar”, com a mesma pontuação; e, por fim, número 6, “Temperatura e umidade do ar”.

Acredita-se que essa diferença tenha ocorrido por dois fatores: 1. Porque a questão ambiental representa o fator de maior impacto na ponderação, mesmo em indicadores pertencentes à dimensão social. Assim, a possibilidade de contaminação do ar antártico por partículas introduzidas a partir da presença humana no continente apresenta uma preocupação superior aos demais indicadores; 2. Porque um sistema eficiente de renovação do ar interno amenizaria os problemas causados por níveis de concentração demasiadamente elevados dos poluentes analisados nos demais indicadores.

A subcategoria para análise do conforto visual possui 3 indicadores, sendo os resultados da ponderação descritos na tabela 7:

Tabela 7 - Resultado dos pesos dos indicadores de Conforto Visual (continua)

CONF ORTO	INDICADOR	El	Ep	Ed	Ei	Es	Fkix	PESO PARCIAL	Pix
	1	3	1	1	2	2	12	0,166666667	0,20

	2	4	1	1	3	3	36	0,5	0,60
	3	3	1	4	1	2	24	0,333333333	0,20

Onde:

El = Efeito Local

Ep = Extensão do Efeito em Potencial

Ed = Duração do Efeito em Potencial

Ei = Intensidade do Efeito em Potencial

Es = Sistema Primário Diretamente Afetado

Fkix = Fator de impacto ponderado do indicador x

Pix = Peso do indicador x

Na subcategoria, o indicador com maior peso foi o número 2, “Quantidade e uniformidade da luz artificial no ambiente interno”, seguido pelos indicadores 1 e 3, que receberam os mesmos pesos: “Quantidade e uniformidade da luz natural no ambiente interno”, e “Integração visual do ambiente interno ao externo”.

Embora a importância da luz natural seja reconhecida tanto para o conforto, quanto para a economia de energia, sabe-se que devido às condições geográficas do continente, a complementação da luz solar com luz artificial faz-se imprescindível. Assim, esse fator justifica o resultado obtido na ponderação.

Semelhantemente, a subcategoria para análise do conforto térmico também possui 3 indicadores, sendo os resultados da ponderação descritos na tabela 8:

Tabela 8 - Resultado dos pesos dos indicadores de Conforto Térmico

CONFORTO TÉRMICO	INDICADOR	El	Ep	Ed	Ei	Es	Fkix	PESO PARCIAL	Pix
	1	4	1	4	3	2	96	0,4	0,4
	2	3	1	4	2	4	96	0,4	0,4
	3	3	1	4	2	2	48	0,2	0,2

Onde:

El = Efeito Local

Ep = Extensão do Efeito em Potencial

Ed = Duração do Efeito em Potencial

Ei = Intensidade do Efeito em Potencial

Es = Sistema Primário Diretamente Afetado

Fkix = Fator de impacto ponderado do indicador x

Pix = Peso do indicador x

Dentre a subcategoria, os indicadores 1 e 2, respectivamente “Partido arquitetônico que potencializa a conservação do calor” e “Proposição de técnica construtiva e materiais que otimizem o isolamento térmico”, obtiveram o mesmo peso. Já o indicador 3, “Conforto térmico proporcionado por sistemas de climatização” recebeu a menor pontuação.

Acredita-se que o valor superior dos indicadores 1 e 2 tenha ocorrido devido ao impacto que um isolamento térmico ineficiente pode causar no sistema de climatização. Sabe-se que na Antártica a principal fonte de energia é o combustível fóssil, o que representa uma ameaça a proteção do ambiente pelos riscos causados por vazamentos e emissões, além dessa não ser uma fonte de energia renovável. Dessa forma, um sistema de climatização sobrecarregado resultaria em um consumo maior de energia, com os possíveis impactos negativos no meio ambiente resultantes disso.

A análise do conforto acústico foi feita através de 2 indicadores, sendo os resultados da ponderação descritos na tabela 9:

Tabela 9 - Resultado dos pesos dos indicadores de Isolamento Acústico

ISOLAMENTO ACÚSTICO	INDICADOR	El	Ep	Ed	Ei	Es	Fkix	PESO PARCIAL	Pix
	1	5	1	4	1	2	40	0,357142857	0,22
	2	1	3	4	2	3	72	0,642857143	0,78

Onde:

El = Efeito Local

Ep = Extensão do Efeito em Potencial

Ed = Duração do Efeito em Potencial

Ei = Intensidade do Efeito em Potencial

Es = Sistema Primário Diretamente Afetado

Fkix = Fator de impacto ponderado do indicador x

Pix = Peso do indicador x

Entre os indicadores, o número 2, “Medidas de atenuação dos ruídos oriundos de equipamentos para o interior dos ambientes sociais e privativos” obteve peso superior ao número 1, “Transmissão sonora entre ambientes”. Credita-se a isso, o fato de que dentre as marcas de referência do indicador 2 seja analisado também a transmissão sonora a ambientes externos. Embora não se tenha conhecimento de pesquisas específicas na área, existe a preocupação de que possíveis ruídos causados nas edificações afetem a fauna local, semelhante ao que ocorre, por exemplo, com os ruídos produzidos por embarcações no ambiente marinho.

Por fim, apresenta-se a subcategoria para análise dos níveis de emissão eletromagnética, sendo o resultado da ponderação descrito na tabela 10:

Tabela 10 - Resultado dos pesos do indicador de Emissão Eletromagnética

EMISSIONES	INDICADOR	El	Ep	Ed	Ei	Es	Fkix	PESO PARCIAL	Pix
		1	1	1	4	1	2	8	1

Onde:

El = Efeito Local

Ep = Extensão do Efeito em Potencial

Ed = Duração do Efeito em Potencial

Ei = Intensidade do Efeito em Potencial

Es = Sistema Primário Diretamente Afetado

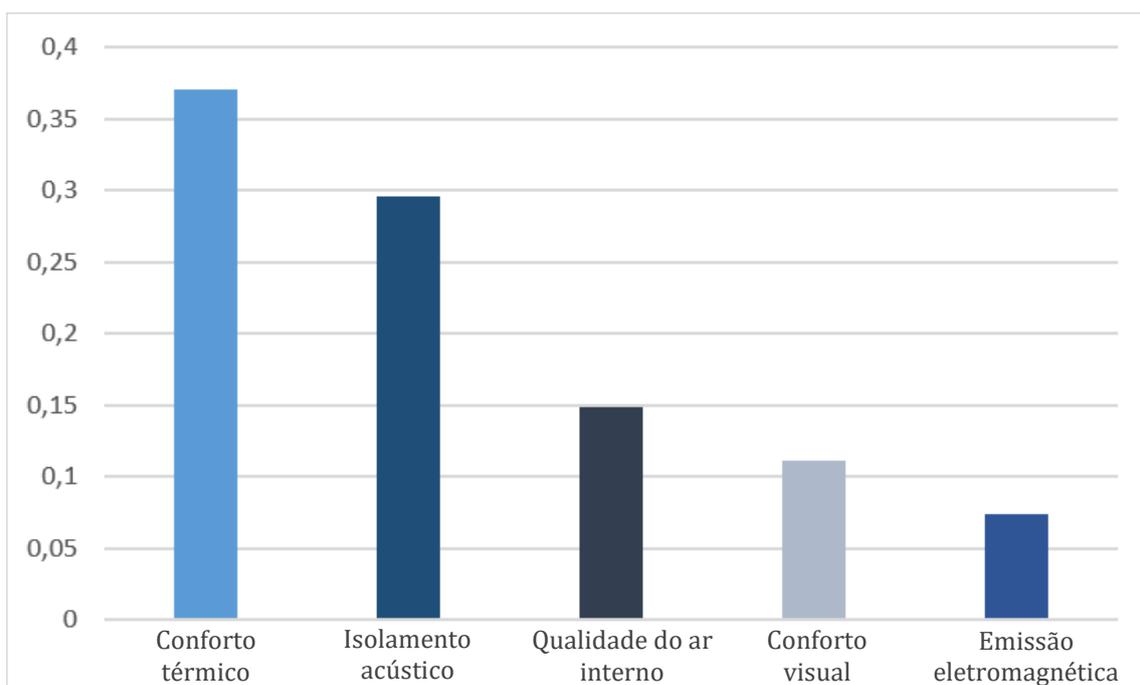
Fkix = Fator de impacto ponderado do indicador x

Pix = Peso do indicador x

Devido a subcategoria conter apenas um indicador, o mesmo obteve pontuação máxima. Sabe-se, entretanto, que os problemas causados pela emissão eletromagnética não se configuram como questões de maior relevância à serem mensurados no continente. Diante disso, acredita-se que em trabalhos futuros esse indicador deve ser reavaliado, identificando alguma forma para ajustar a sua importância em relação aos demais.

Para a definição de relevância entre categorias, foi adotado o mesmo processo metodológico de obtenção dos pesos realizado para os indicadores, ou seja, correlacionando a importância da categoria em relação ao provável impacto no ambiente. Os resultados obtidos seguem sintetizados no gráfico da figura 23.

Figura 23. Gráfico com a representação dos pesos obtidos nas 5 subcategorias



Observa-se que a categoria de maior relevância – como era esperado – foi “Conforto térmico”, seguido de “Isolamento acústico”, “Qualidade do ar interno”, “Conforto visual”, e com menor importância, “Emissão eletromagnética”.

5.7 OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Os resultados da pesquisa foram sumarizados na forma de indicadores, e explicitados nos itens A, B, C, D e E, dispostos a seguir. Observa-se que para cada indicador foi realizada uma breve conceituação; a definição do objetivo no processo de avaliação; a justificativa para a sua proposição: as recomendações, diretrizes e possíveis estratégias inerentes ao tema, voltadas principalmente considerando sua utilização como diretriz na etapa de projeto; a fonte de obtenção dos dados ou informações para o processo de avaliação; os procedimentos recomendados para a avaliação; e, por fim, as marcas de referência para o estabelecimento do nível de desempenho.

A estruturação do resultado foi baseada na organização de outras ferramentas, como a ASUS (ALVAREZ, C.E. de; SOUZA, 2011), LEED (USGBC, 2017), e SBTool (LARSSON, 2015), e buscam organizar os indicadores de forma a que possam ser futuramente complementados nas demais dimensões de análise, visando o estabelecimento de uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade para edificações antárticas.

A. QUALIDADE DO AR INTERNO



A. QUALIDADE DO AR INTERNO

A1. QUANTIDADE DE RENOVAÇÕES DO AR POR UNIDADE DE TEMPO

CONCEITUAÇÃO

A renovação do ar interior possui um importante papel na garantia da qualidade do ambiente e das condições adequadas para o conforto do usuário, visto que em espaços fechados a presença excessiva de poluentes químicos e biológicos podem acarretar em prejuízos na saúde e na produtividade dos ocupantes do edifício (SCHIRMER; SZYMANSKI; GAUER, 2009). Sua principal função é assegurar o controle dos níveis de contaminantes, de umidade, e da temperatura do ambiente (ASHRAE, 2013). Para tal, esse processo pode ocorrer através de ventilação natural - por meio de aberturas - ou por ventilação mecânica - onde o fluxo de ar que entra ou sai do edifício é realizado através de equipamentos (SOUZA, 2008; SCHIRMER; SZYMANSKI; GAUER, 2009).

OBJETIVO

Estabelecer a taxa de ventilação mínima para a renovação do ar em ambientes internos.

JUSTIFICATIVA

Um sistema de ventilação projetado corretamente permite a assepsia do ambiente e o conforto do usuário devido à combinação de processos que resultam na entrada de ar externo, e na retirada do ar interno carregado de poluentes, garantindo assim a qualidade do ar desejável.

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Ambientes ventilados artificialmente devem atender as recomendações estabelecidas pela ANSI/ASHRAE 62. 1 - *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (ASHRAE, 2013); e
- A disposição de ambientes com diferentes usos deverá ser realizada considerando as distâncias mínimas necessárias a partir de fontes potencialmente contaminantes, segundo o estabelecido por norma.

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico
- Projeto de climatização e conforto

- Detalhamento das esquadrias

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise dos projetos
- Cálculos para a certificação do alcance da taxa de renovação do ar adequada

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Atendimento dos requisitos estabelecidos para as taxas de ventilação mínimas segundo a ANSI/ASHRAE 62.1 (2013) ou norma semelhante ou de maior rigor.

Nível +3: Atendimento aos requisitos estabelecidos para o nível 0, acrescido de um método para gestão e verificação durante a fase operacional do edifício quanto a eficiência do sistema empregado.

Nível +5: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível +3, permitindo a entrada de ar natural sob controle do usuário.

A2. UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FILTRAGEM DO AR INTERIOR

CONCEITUAÇÃO

Embora o controle da fonte e a ventilação sejam as estratégias mais comumente utilizadas para a qualidade do ar interno, a filtragem desempenha um importante papel quando há a impossibilidade de aplicação de alguma dessas estratégias, ou quando existe a necessidade de uma remoção de contaminantes mais eficaz (ASHRAE, 2009). Como um método substituto ou complementar à ventilação, ela auxilia no controle de contaminantes e garante a manutenção do conforto térmico, além de evitar a contaminação cruzada entre o ar que entra no ambiente e o que retorna ao exterior (TOWNSEND, 2007).

OBJETIVO

Reduzir a concentração de contaminantes no ambiente através da remoção de partículas presentes no ar.

JUSTIFICATIVA

A seleção adequada do filtro de ar é capaz de diminuir a concentração de partículas no espaço interno, resultando na redução da exposição do usuário a contaminantes prejudiciais à saúde humana. Além disso, os filtros também são capazes de remover partículas emitidas por produtos e evitar a contaminação cruzada entre ambientes (TOWNSEND, 2007).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- O processo de decisão do filtro a ser utilizado deve considerar as características do contaminante alvo, as características do filtro empregado e o custo operacional;
- Além da limpeza do ar externo que entra no ambiente, o ar expirado também deve ser filtrado para evitar a contaminação cruzada durante a captação de ar novo;
- Para garantir a eficácia do sistema deve-se evitar que o ar não filtrado retorne ao edifício através de possíveis falhas na vedação e/ou diferenças de pressão interna/externa;
- O ciclo de vida e a queda de pressão são os fatores que mais influenciam no custo do sistema de filtragem. Assim, na escolha do sistema adequado é importante considerar: a diferença de queda de pressão inicial e final; o uso de materiais de alta qualidade e

resistentes à umidade; a aplicação da correta velocidade do ar; e, quando possível, fazer opção pelo filtro com maior área de superfície possível - pois aumenta a capacidade de retenção de partículas e reduz o custo com manutenção (ASHRAE, 2009);

- O monitoramento da progressão da queda de pressão (que não deve ser maior que o dobro da queda de pressão inicial) através do uso de manômetro permite analisar o desempenho e o momento ideal da troca do filtro (ASHRAE, 2009);
- Deve-se evitar o uso de pré-filtro mais econômico para proteção de filtros finais de maior eficiência e custo de aquisição, pois a demanda de energia adicional do pré-filtro anula essa possível economia. Para comprovar a eficácia da prática, é necessária uma análise do aumento de consumo energético e o real tempo de vida no filtro final; e
- Garantir o isolamento adequado do edifício para evitar a infiltração de ar externo, bem como a contaminação cruzada entre ambientes potencialmente tóxicos.

FONTES DE DADOS

- Projeto de climatização

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise do projeto de climatização e verificação quanto ao atendimento dos requisitos estabelecidos pela norma ANSI/ASHRAE 52.2 (2012) quanto à adequação dos filtros selecionados

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Atendimento do valor mínimo de relatório de eficiência (MERV) igual ou superior a 13, de acordo com a norma ANSI/ASHRAE 52.2 (2012).

Nível +3: Atendimento do nível 0, além da especificação de materiais com boa durabilidade, baixa exigência de limpeza, e com baixos níveis de emissão de cloro, bromo, compostos orgânicos voláteis, fibras, materiais particulados e demais gases comprovadamente nocivos à saúde humana.

Nível +5: Atendimento do nível +3, acrescido da elaboração de um manual para orientação quanto à periodicidade e práticas adequadas para a manutenção, limpeza e troca dos filtros durante a fase de uso do edifício.

A3. NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE CO₂

CONCEITUAÇÃO

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor, não inflamável e inodoro, produzido pela combustão de combustíveis fósseis e subproduto de processos metabólicos. Em condições normais, as concentrações de CO₂ na atmosfera oscilam entre 300 a 500 ppm (partes por milhão), variando conforme tempo e localização (ASHRAE, 2009).

No ambiente interno esses níveis normalmente são mais altos devido ao metabolismo humano e ao uso de aparelhos que são fontes de CO₂ em ambientes mal ventilados (OSHA et al., 2011). O mesmo ambiente pode ainda apresentar diferentes níveis de concentração segundo a proximidade da fonte, o tipo de sistema de ventilação presente e o movimento do ar interno (MAHYUDDIN E AWBI, 2012).

OBJETIVO

Reduzir os níveis de concentração de contaminantes no ambiente através do controle de CO₂.

JUSTIFICATIVA

Embora o CO₂ não apresente altos riscos para a saúde humana, em grandes concentrações ele pode causar tontura, dor de cabeça e fadiga (OSHA et al., 2011).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Atender aos requisitos mínimos para a renovação do ar estabelecidos pela norma ANSI/ASHRAE 62.1 (2013);
- Para a avaliação da QAI e da eficácia do sistema de ventilação através da concentração de CO₂, deve-se seguir as orientações estabelecidas pela norma ASTM D6245: *Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation* (2007); e
- O local escolhido para amostragem da concentração de CO₂ é de primordial importância pois deve assegurar que o valor obtido não seja erroneamente influenciado por fontes muito próximas ou pelo sistema de ventilação. Assim, antes da análise é importante conhecer as fontes de emissão do gás e o fluxo de ar interno (MAHYUDDIN E AWBI, 2012).

O sistema DCV baseado em CO₂ deve considerar ainda (ASHRAE, 2009):

- A relação entre a taxa de fluxo de ar por pessoa e a concentração de CO₂. O Apêndice A da norma ASHRAE 62.1 (2007) fornece equações e recomendações para o método de ventilação baseado em CO₂;
- A precisão dos sensores de CO₂, disponíveis com base em princípios fotométricos infravermelhos. Deve-se observar a calibração adequada, a manutenção e tempos de atraso inerentes aos sensores;
- O atraso entre a ocupação e o tempo de latência do sensor; e
- A localização e quantidade ideal de sensores de modo que o sistema reflita as concentrações médias do local a fim de aumentar a certeza do nível de CO₂ no espaço;
- E a certificação dos fabricantes de que os equipamentos não possuam diferença entre o resultado da mediação e o valor real superior a 50ppm.

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico
- Projeto de climatização

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise dos projetos

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: As áreas do edifício sujeitas a padrões de alta ocupação, imprevisíveis, ou variáveis, devem possuir sistema de controle de ventilação por demanda (DCV).

Nível +3: Atendimento aos requisitos estabelecidos para o nível 0, acrescido de um manual de gestão para usuário, orientando ações que devem ser tomadas ou evitadas para a redução dos níveis de concentração interna de CO₂.

Nível +5: Atendimento aos requisitos estabelecidos para o nível +3, além da complementação do monitoramento contínuo das concentrações de CO₂ através da consideração de outras variáveis que influenciam a quantidade de emissão proveniente dos materiais, como temperatura e umidade relativa.

A4. NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

CONCEITUAÇÃO

Compostos Orgânicos Voláteis (VOC – *Volatile Organic Compounds* no original em inglês) são gases emitidos por compostos formados por carbono, com exceção do monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o ácido carbônico (H₃CO₂), carbonetos metálicos (C⁻) e carbonatos (CO₃⁻²), com ponto de ebulição inicial inferior ou igual a 250°C em pressão atmosférica padrão de 101,3 kPa³ (USEPA, 2016).

Segundo a WHO (2006) os VOCs podem ser categorizados segundo a volatilidade e consequente facilidade de emissão, sendo subdividido-os em três categorias: compostos orgânicos muito voláteis (VVOC - *Very Volatile Organic Compounds* no original em inglês) que abrangem os compostos com ponto de ebulição de <0 a 50-100 °C; compostos orgânicos voláteis (VOC) que abrangem os compostos com ponto de ebulição de 50-100°C a 240-260°C; e compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC - *Semi-volatile organic compounds* no original em inglês) que abrangem os compostos com ponto de ebulição de 240-260°C a 380-400°C.

OBJETIVO

Reduzir a concentração de contaminantes químicos no ambiente através da adoção de estratégias para a melhoria da qualidade do ar interior.

JUSTIFICATIVA

O nível de concentração de VOC é um aspecto importante para a qualidade do ar interior devido sua grande presença na atmosfera e aos prejuízos causados na saúde humana (AMODIO et al., 2014).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Atender aos requisitos mínimos para a renovação do ar estabelecidos pela norma ANSI/ASHRAE 62.1 (2013);
- Deve-se controlar as fontes de emissão química através da seleção adequada de materiais, acabamentos e mobiliários com baixa emissão. Quando o uso de algum

³ 101,3 kPa = 1 atm., a pressão normal ao nível do mar (USEPA, 2016).

material de alta emissividade não puder ser evitado, deve-se adotar estratégias para minimizar tal impacto, como uso de barreiras de emissão, condicionamento de material, ocupação atrasada, entre outros; e

- Minimizar os impactos causados pelo processo de limpeza e manutenção do edifício através da adoção de materiais e acabamentos de fácil limpeza, além de garantir o armazenamento, manuseio e uso adequado dos produtos de limpeza.

FONTES DE DADOS

- Testes laboratoriais
- Projeto arquitetônico
- Projeto de climatização

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise dos métodos de medição e resultados obtidos
- Análise das estratégias estabelecidas para o controle das fontes contaminantes e minimização do impacto causados pelas emissões

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Para a especificação de revestimentos - piso, parede e teto – e mobiliários, deve-se optar pelo emprego de materiais que possuam certificação por testes de emissão e satisfaçam os requisitos técnicos de regulamentações, como os limites canadenses de concentração de VOC para revestimentos arquitetônicos (CEPA, 2017), ou o regulamento de controle de poluição do ar de Hong Kong (EPD..., 2017), ou normativa de maior rigor.

Nível +3: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0, além de evitar a utilização de adesivos ou colas para fixação de revestimentos, laminados e similares; reduzir o uso de tintas a óleo e esmaltes sintéticos, assim como tintas e vernizes que contenham metais, chumbo ou compostos de cromo. Utilizar tintas, solventes, laqueados e vernizes a base de água ou ecológicos que possuam um menor nível de emissão de poluentes no ar como compostos orgânicos voláteis; além do emprego de materiais com boa durabilidade e menor exigência de limpeza.

Nível +5: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 3, acrescido de um manual para usuário, identificando os cuidados a serem tomados para a redução das emissões provenientes de atividades diárias.

A5. NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE FUNGOS NO AR

CONCEITUAÇÃO

A contaminação do ar interior por micro-organismos ocorre por diferentes fatores, como alta umidade, baixa ventilação, problemas no sistema de refrigeração e mau isolamento do edifício. A exposição a maioria dos fungos pode causar reações alérgicas e doenças infecciosas, além de produzir ruídos e odores desagradáveis, além de danificar a estrutura do edifício (ASHRAE, 2009; CRAWFORD, 2015).

Esses contaminantes caracterizam-se como um material particulado de origem biológica, englobando fungos, bactérias, vírus, ácaros e outras partículas com tamanho entre 0,01 a 100µm, conhecidos também como bioaerossóis (BARDANA, 2003; PAGEL, 2015).

OBJETIVO

Reduzir fontes de emissão e locais propensos ao desenvolvimento e propagação de fungos, favorecendo níveis de concentração seguros para a saúde humana.

JUSTIFICATIVA

Algumas espécies de fungos são toxigênicas e produzem microtoxinas capazes de se acumularem em esporos inaláveis por seres humanos. Uma quantidade significativa de fungos no ambiente pode ainda gerar Compostos Orgânicos Voláteis Microbiológicos (COVM). Diversos problemas de saúde e queixas dos usuários característicos da Síndrome do Edifício Doente (SED) apresentaram relação com a presença desses contaminantes no local de análise (CABRAL, 2010; PAGEL, 2015).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

Algumas medidas que podem ser tomadas na fase de projeto para a execução de um edifício com crescimento fúngico mínimo são (ASHRAE, 2009):

- Remoção das fontes de água e umidade no edifício; evitar o acúmulo de água estagnada nos componentes mecânicos dos sistemas HVAC; manter a umidade relativa dos ambientes em menos de 60%; e reparar qualquer tipo de vazamento interno e externo; e
- Remoção de substratos contaminados com fungos e descarte adequado de materiais orgânicos porosos.

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico
- Projeto de climatização

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise dos projetos

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Adotar medidas que reduzam as condições de crescimento e estabelecimento fúngico através dos sistemas HVAC: garantir que os componentes mecânicos não acumulem água estagnada; e utilizar vapor para umidificação ao invés de água recirculada, com uso de filtros para evitar a entrada de micro-organismos no sistema de tratamento de ar.

Nível +3: Atendimento do nível 0, além de reduzir o risco de contaminação cruzada através do distanciamento de áreas mais propensas ao aparecimento de fungos dos demais ambientes do edifício.

Nível +5: Atendimento do nível +3, além do emprego de materiais para revestimento e para estofamento de mobiliário de baixa porosidade, e não propensos ao crescimento de fungos, bactérias e acúmulo de umidade.

A6. TEMPERATURA E UMIDADE DO AR

CONCEITUAÇÃO

De acordo a norma ANSI/ASHRAE 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (2013), a temperatura do ar é definida como aquela que rodeia o ocupante, e a umidade pode ser definida como absoluta ou relativa. A umidade absoluta é o valor real da quantidade de vapor de água presente em um ambiente, indicando a capacidade que o ar possui em reter água na forma de vapor. Se atingindo o limite, o vapor de água passa para o estado líquido. Assim, a temperatura tem influência direta na umidade, visto que quanto mais quente o ambiente, maior a capacidade do ar em reter água. Já a umidade relativa (HR) é razão entre a pressão do vapor de água presente no ar e a pressão de vapor saturado em uma mesma temperatura e pressão atmosférica (LAMBERTS; XAVIER; GOULART, 2011). Ou seja, 50% HR significa que o ar contém 50% da sua capacidade de retenção de umidade. Assim, com o arrefecimento do ar, sua capacidade de retenção de umidade diminui (ASHRAE, 2009).

OBJETIVO

Proporcionar temperatura e umidade do ar desejáveis para que a qualidade do ar interno seja adequada ao conforto térmico e saúde dos usuários.

JUSTIFICATIVA

A temperatura e umidade afetam o equilíbrio térmico do corpo humano e dos órgãos respiratórios (REINIKAINEN; JAAKKOLA, 2003). Alguns estudos também comprovaram que a temperatura do ar influencia a presença de sintomas do SED, na redução do desempenho, e na satisfação do usuário com a qualidade do ar (GIANNOPOULOU et al., 2014),

Um ambiente seco também representa outros sintomas de desconforto e riscos de saúde visto que este fator promove a sobrevivência e transmissão de infecções virais respiratórias, principalmente em locais com taxas de ventilação insuficientes (FANG; CLAUSEN; FANGER, 1998; MÄKINEN et al., 2014). Já condições úmidas favorecem o crescimento de bactérias, bolores, e aparecimento de ácaros, causando danos ao edifício e a saúde dos usuários (ASHRAE, 2009).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Estudos demonstraram que o ar é percebido como aceitável quando ele é fresco e seco, portanto, é benéfico manter tanto a umidade quanto a temperatura tão baixas quanto possíveis, desde que mantidos as condições de conforto térmico e umidade mínimas (FANG et al., 2004);
- Considerar a influência da umidade e temperatura nos requisitos de ventilação pode otimizar a utilização de energia, pois a necessidade da mesma pode ser reduzida diminuindo a temperatura do ar ou a umidade. Assim, é possível empregar um nível de ventilação otimizado para atender aos requisitos mínimos de saúde, atingindo um consumo mínimo de energia para o sistema de refrigeração (FANG; CLAUSEN; FANGER, 1998);
- Em climas frios, as condições externas podem absorver a umidade ou serem uma fonte de entrada de umidade líquida (pelo derretimento de neve ou chuva). Assim, é necessária especial atenção para que a envoltória do edifício garanta o isolamento entre os ambientes (ASHRAE, 2009); e
- Em sistemas de umidificação devem ser tomados alguns cuidados para sua implementação, como: não utilizar reservatórios de água parada, a fim de evitar o crescimento biológico; não utilizar água tratada com produtos químicos nocivos; consultar os fabricantes para a correta localização do sistema de acordo com as condições climáticas e a disponibilidade de água no local do projeto; utilizar métodos de controle que evitem a hiper umidificação do ambiente; especificar a manutenção adequada ao tipo de sistema adotado (ASHRAE, 2009).

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico
- Projeto de climatização

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise do projeto de climatização
- Análise dos resultados obtidos a partir de simulação computacional

MARCAS DE REFERÊNCIA

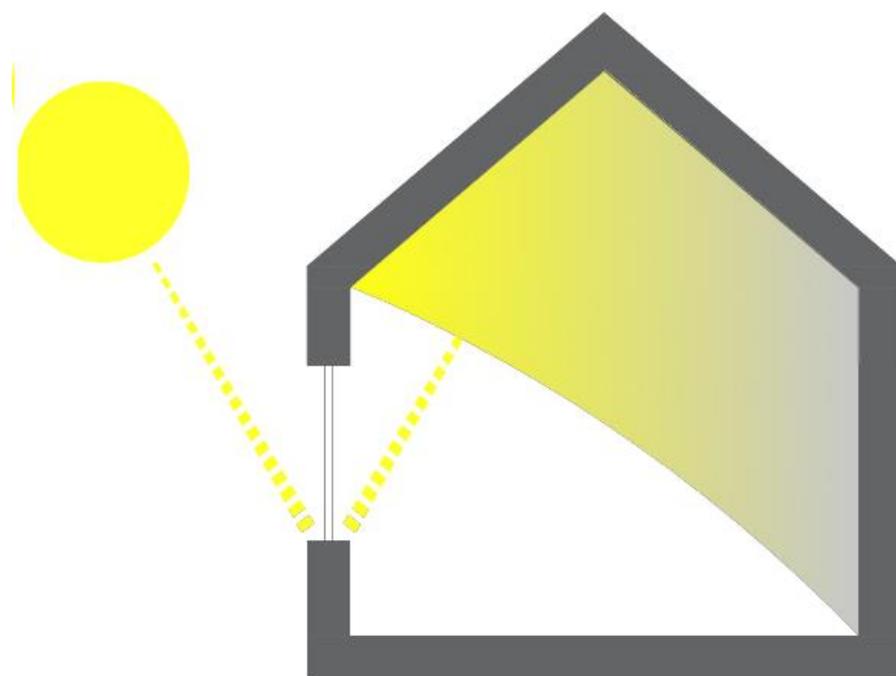
Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Atendimento dos níveis mínimos e máximos de temperatura e umidade do ar estabelecidos pela norma ANSI/ASHRAE 55 (2013), ou norma equivalente ou de maior rigor.

Nível +3: Atendimento do nível 0, acrescido de um sistema para controle automático da temperatura e umidade interna.

Nível +5: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível +3, e a autonomia do usuário para regulagem térmica em ambientes de longa permanência.

B. CONFORTO VISUAL



B. CONFORTO VISUAL

B1. QUANTIDADE E UNIFORMIDADE DA LUZ NATURAL NO AMBIENTE INTERNO

CONCEITUAÇÃO

A iluminância é a quantidade de luz que incide sobre a superfície, ou seja, a razão entre o fluxo luminoso (lm) e a área que recebe essa luz (ALRUBAIIH et al., 2013). Os níveis de iluminância (lux) e sua distribuição na área de trabalho e entorno imediato definem como uma pessoa percebe e realiza a tarefa visual, determinando a velocidade de adaptação e o conforto necessários para tal (ISO, 2003). A verificação do atendimento dos níveis de iluminância adequados pode ser feita através da abordagem *Useful Daylight Illuminances* (UDI). Esse método permite analisar a porcentagem de iluminação anual que se encontra dentro de uma faixa considerada “útil” pelos usuários (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

OBJETIVO

Obter níveis de iluminância adequados ao conforto visual, às necessidades fisiológicas e psicológicas do homem, reduzindo a necessidade de uso de iluminação artificial.

JUSTIFICATIVA

Os seres humanos necessitam da incidência solar por necessidades psicológicas e fisiológicas, como a produção de alguns hormônios e a sincronização do ciclo circadiano. Assim, um nível normal de luz solar acarreta em uma série de benefícios além das questões visuais, pois níveis adequados de luz natural podem melhorar a vigilância, o desempenho, o sono e o humor humano (AMUNDADOTTIR et al., 2017). A otimização do uso da luz natural também é de grande interesse do ponto de vista econômico e ambiental visto os impactos causados no emprego de energia (SOUZA, 2008), e das condições complexas de logística para o acesso ao continente e o reabastecimento de combustível fóssil.

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Para a concepção do projeto devem-se utilizar estratégias para o fornecimento de luz natural, como: evitar ambientes muito profundos e, se inevitável, adotar soluções arquitetônicas para o aproveitamento da luz natural no fundo destes ambientes; emprego de acabamentos com índices de refletância adequados à necessidade lumínica do ambiente; optar preferencialmente pelo uso de cores claras nas paredes;

e utilizar divisórias baixas e elementos interiores translúcidos ou envidraçados quando possível (SOUZA, 2008);

- Analisar as tarefas visuais pretendidas, garantindo a quantidade e tipo de luz necessárias para o desenvolvimento da mesma;
- Considerar a direção da luz e adotar estratégias que evitem o ofuscamento e sombras sobre o plano de trabalho; e
- Consultar normas disponíveis para orientação quanto aos procedimentos adequados para cálculo e medição da luz natural.

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico
- Simulação computacional
- Características técnicas dos revestimentos de pisos, paredes e tetos, com seus respectivos índices de refletância, fornecidos pelo fabricante ou normas reconhecidas internacionalmente

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise de projeto luminotécnico e de simulações computacionais com a verificação dos níveis de iluminância obtidos

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Demonstrar através de simulação computacional os níveis de iluminância obtidos com a luz natural, identificando o intervalo alcançado da UDI.

Nível +3: Atendimento do nível 0, acrescido da adoção de soluções arquitetônicas que demonstrem através de simulação computacional o ganho de luz natural no ambiente, com o devido controle do ofuscamento.

Nível +5: Atendimento do nível +3, além de um sistema efetivo para o controle da luz direta e proteção solar do ambiente pelo usuário.

B2. QUANTIDADE E UNIFORMIDADE DA LUZ ARTIFICIAL NO AMBIENTE INTERNO

CONCEITUAÇÃO

Os níveis de iluminância adequados para o conforto visual podem ser atingidos através da incidência de luz natural, luz artificial ou pela combinação de ambas. Semelhantemente a luz natural, a qualidade da iluminação artificial no edifício é avaliada pela medição da iluminância e uniformidade. Embora a luz natural seja preferível, as condições geográficas do Continente Antártico fazem com que a complementação da luz artificial seja imprescindível (TOMÉ et al., 2016). Assim, a análise da quantidade de luminárias, bem como sua potência e distribuição, deve estar atrelada às necessidades de projeto de forma a atender os aspectos visuais, econômicos e estéticos do ambiente.

OBJETIVO

Obter níveis de iluminância adequados ao conforto e acuidade visual, favorecendo a produtividade e disponibilidade da luminosidade necessária às tarefas desenvolvidas no ambiente.

JUSTIFICATIVA

O conforto e a acuidade visual nem sempre podem ser alcançados apenas através da disponibilidade da luz solar, visto esta depender de diversos fatores, como a quantidade de horas de luz disponível durante as diferentes estações, a latitude do local, e o horário e autonomia disponível durante o período de ocupação, entre outros (CEN, 2006). Na EACF, por exemplo, simulações computacionais demonstraram que a complementação da iluminação artificial se fazia necessária durante as 24h do dia durante o período de inverno (TOMÉ et al., 2016).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Especificar as luminárias de acordo com as tarefas visuais pretendidas, considerando a quantidade e tipo de luz necessários para a atividade, provável faixa etária do usuário, normas, e o efeito estético desejado;
- Posicionar as luminárias garantindo uma iluminação homogênea, especialmente nos ambientes de ocupação prolongada (SOUZA, 2008); e

- Distribuir luminárias de forma a evitar o ofuscamento, optando preferencialmente por modelos que possuam elementos de redução do mesmo, como grelhas, aletas, coberturas foscas e outros (SOUZA, 2008).

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico e luminotécnico
- Simulação computacional
- Características técnicas das luminárias

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise de projeto luminotécnico e de simulações computacionais com a verificação dos níveis de iluminância obtidos.

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Demonstrar através de simulação computacional que os níveis de iluminância atendem a faixa útil determinada pela UDI.

Nível +3: Atendimento do nível 0, com a correta distribuição de luminárias, comprovada por simulação computacional, de forma a evitar o ofuscamento, com a adoção de modelos que possuam elementos para redução do mesmo.

Nível +5: Atendimento do nível +3, além da adoção de dimmer para o controle da intensidade da luz.

B3. INTEGRAÇÃO VISUAL DO AMBIENTE INTERNO AO EXTERNO

CONCEITUAÇÃO

As aberturas desempenham um importante papel além de permitirem a entrada da luz natural no edifício, pois também são responsáveis por criar uma conexão visual com o ambiente externo, assegurando o conforto psicológico e visual do usuário (NASROLLAHI; SHOKRI, 2016). O acesso direto ou indireto a janelas permite a visualização da paisagem exterior, proporcionando ao ocupante a noção de mudanças climáticas e cronológicas. Em contrapartida, os ambientes sem aberturas adequadas, principalmente os de longa permanência, podem causar desconforto e claustrofobia (IEA, 2000).

OBJETIVO

Garantir aos usuários do edifício o contato visual com o ambiente externo, proporcionando vistas de qualidade.

JUSTIFICATIVA

O contato visual com paisagens, principalmente as naturais, mostrou-se favorável ao bem-estar individual e social (SOUZA, 2008). Grinde e Patil (2009) relataram ainda diversos estudos que relacionaram os benefícios físicos e psicológicos gerados através do contato com a natureza, como a redução do estresse (CHANG; CHEN, 2005), aumento da atenção (HARTIG et al., 2003), e a redução de emoções negativas como a tristeza e o medo (WHITE et al., 2013).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Projetar os espaços e as aberturas preferencialmente na altura do olhar do observador e, quando possível, voltados para elementos naturais; e
- Evitar a criação de espaços enclausurados e, se inevitável, utilizar divisórias baixas ou envidraçadas quando a acústica e privacidade permitirem (SOUZA, 2008).

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise do projeto

MARCAS DE REFERÊNCIA

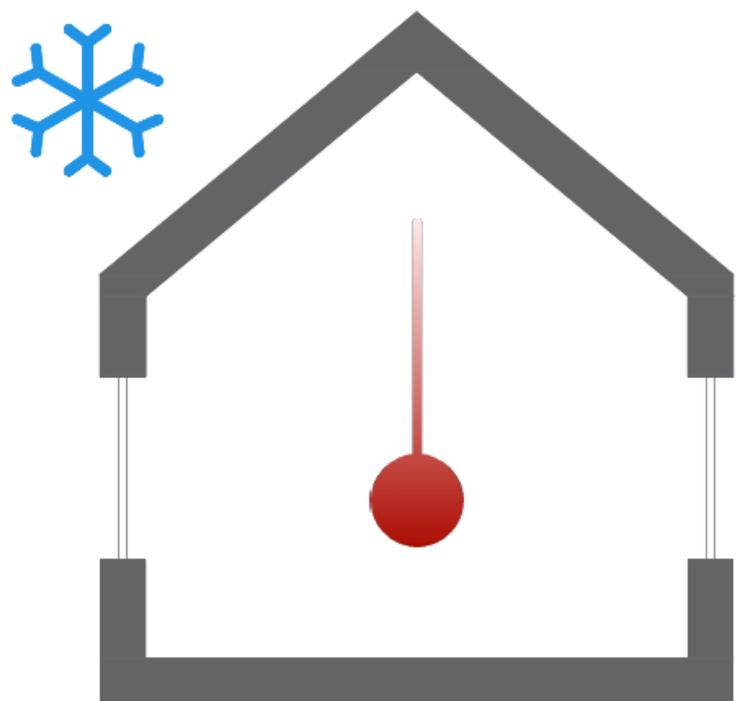
Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Visão do exterior em 100% dos ambientes de ocupação prolongada.

Nível +3: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0, além de todos os compartimentos sociais e de longa permanência terem vistas livres e voltadas para paisagens naturais; e/ou a distância de qualquer elemento obstruidor da paisagem não pode ser menor que a altura total da fachada que a janela se insere.

Nível +5: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 3, além de garantir que a integração ao ambiente externo não prejudique a privacidade do usuário em ambientes privativos.

C. CONFORTO TÉRMICO



C. CONFORTO TÉRMICO

C1. PARTIDO ARQUITETÔNICO QUE POTENCIALIZA A CONSERVAÇÃO DO CALOR INTERNO

CONCEITUAÇÃO

A adequação da arquitetura ao clima local significa construir espaços que garantam condições de conforto e amenizem sensações indesejadas vivenciadas em climas muito rígidos, como o excesso de frio, calor ou vento. Essa abordagem é conhecida como arquitetura bioclimática (FROTA, 1995; MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015; USGBC, 2017).

A arquitetura bioclimática considera as especificidades do clima local, aplicando-as nas decisões de projeto e tecnologias disponíveis a fim de solucionar os problemas resultantes do ganho e/ou perda de calor entre o edifício e o meio externo. Como resultado, são alcançados benefícios não só no conforto, mas também na conservação da energia (MACIEL, 2006; MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

OBJETIVO

Garantir que o partido arquitetônico considere as características climáticas do sítio, assegurando escolhas de projeto eficientes para o alcance do conforto térmico.

JUSTIFICATIVA

A associação dos conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico desde os estágios iniciais permite alcançar benefícios não só no conforto, mas também na conservação da energia (MACIEL, 2006).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Deve-se analisar as dimensões mais vantajosas levando em consideração não apenas o conforto visual, mas também o conforto térmico no ambiente;
- A quantidade de radiação que se transforma em calor dependerá da temperatura absoluta da superfície e de sua emissividade. Assim, a escolha de materiais deverá considerar a influência da condutividade térmica dos mesmos a fim de contribuir para o aumento da temperatura no ambiente interno (SILVA, 2003);

- A implantação do edifício deverá considerar a posição geográfica do terreno (altitude, latitude, longitude, topografia); a orientação do terreno e interferências do entorno; a direção e velocidade dos ventos; as condições climáticas e incidência da radiação solar; e possíveis sombreamentos exteriores ao envelope (CASTRO, 2005; MACIEL, 2006; FRIESS; RAKHSHAN, 2017); e
- A volumetria do edifício e a distribuição do volume de forma ideal devem visar a proteção das superfícies expostas ao ambiente externo, e a minimização da perda de calor (FRIESS; RAKHSHAN, 2017).

FONTES DE DADOS

- Diagrama solar
- Projeto arquitetônico

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise do projeto arquitetônico
- Análise dos dados obtidos na simulação computacional

MARCAS DE REFERÊNCIA

NÍVEL -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

NÍVEL 0: Aplicação dos conceitos básicos da arquitetura bioclimática no desenvolvimento do projeto, considerando:

- Posição geográfica do terreno (altitude, latitude, longitude, topografia);
- Orientação do terreno e interferências do entorno;
- Direção e velocidade dos ventos;
- Condições climáticas, incidência da radiação solar;
- Sombreamentos exteriores ao envelope.

NÍVEL +3: Atendimento do nível 0, além da volumetria do edifício e a distribuição do volume terem sido projetados de forma a maximizar a proteção das superfícies expostas ao ambiente externo e a minimização da perda de calor.

NÍVEL +5: Atendimento do nível +3, acrescido do estudo do desempenho térmico do edifício através de simulação computacional, comprovando a eficiência do sistema adotado.

C2. PROPOSIÇÃO DE TÉCNICA CONSTRUTIVA E MATERIAIS QUE OTIMIZEM O ISOLAMENTO TÉRMICO

CONCEITUAÇÃO

A quantidade de energia necessária para aquecer e/ou resfriar um edifício depende principalmente da qualidade do tratamento térmico que sua envoltória recebe, bem como sua espessura e o tipo de material de construção utilizados. Esses fatores serão responsáveis por retardar a transferência de calor através da estrutura do edifício, determinando o desempenho térmico do mesmo e, conseqüentemente, o conforto no espaço ocupado (AL-HOMOUD, 2005).

O isolamento térmico ocorre através do emprego de um material ou uma combinação de materiais que retardam a taxa de fluxo de calor por condução, convecção e radiação. Ele retarda o fluxo de calor dentro ou fora da edificação devido à sua alta resistência térmica (JELLE, 2011). Segundo Souza (2008), essa capacidade de transmissão de calor do material em uma unidade de tempo é chamada de transmitância térmica (U).

OBJETIVO

Proporcionar o isolamento térmico do edifício através das características da envoltória e do emprego de materiais que aumentem a absorção de calor interno, minimizando a transmissão de calor entre os ambientes interno/externo.

JUSTIFICATIVA

Um edifício com bom isolamento térmico é o meio mais eficiente para garantir condições satisfatórias de conforto, baixos custos operacionais e a redução do consumo de energia (KORJENIC, 2011).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Para as divisórias internas deve-se optar por materiais bons condutores de calor, permitindo a dissipação do calor gerado por equipamentos e usuários por toda a edificação (YANNAS; CORBELLA, 2003); e
- O mesmo isolamento pode apresentar variações em sua eficiência devido a diferenças no tipo de edificação. Dessa forma, o melhor desempenho do material pode ser alcançado através de uma análise de seu ciclo de vida (JELLE, 2011).

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico executivo, com detalhamento dos fechamentos externos, espessuras dos materiais, além da transmitância térmica (U) e absorvância à radiação solar (α) dos mesmos (SOUZA, 2008)

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise do projeto executivo
- Análise das características térmicas dos materiais

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: A técnica construtiva deve atender aos requisitos da norma ISO 7730 (2005) ou EN 15251 (2007), anexo 2 (USGBC, 2017).

Além disso, a transmitância térmica (U) dos materiais deve atender a (PAPADOULOS, 2005):

0,1-0,2 W/m²K referente aos materiais utilizados na concepção da cobertura;

0,1-0,2 W/m²K referente aos materiais utilizados na concepção das paredes externas;

0,1-0,2 W/m²K referente aos materiais utilizados na concepção dos pisos;

1,0-1,5 W/m²K referente aos materiais utilizados na concepção das aberturas.

Nível +3: Atendimento do nível 0, acrescido de informações referentes aos materiais de isolamento térmico selecionados, indicando além da condutividade e transmitância térmica, a durabilidade, resistência à compressão, absorção e transmissão de vapor de água, resistência ao fogo, e reduzida necessidade de manutenção e custos (JELLE, 2011).

Nível +5: Atendimento do nível +3, além da técnica construtiva empregada apresentar os melhores resultados diante as limitações e condicionantes do meio, comprovando eficiência quanto às questões logísticas e de transporte.

C3. CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

CONCEITUAÇÃO

Os sistemas de climatização do edifício devem considerar não só as características que garantem a qualidade do ar interno, mas também os critérios para o estabelecimento do conforto térmico (SARBU; SEBARCHIEVICI, 2013). Entretanto, o conforto térmico e a satisfação com o ambiente são condições subjetivas, pois dependem de variáveis como a taxa metabólica e a atividade do usuário, a resistência do vestuário, e características psicológicas que podem afetar como o indivíduo se sente no ambiente, como a capacidade de aclimação e adaptação, entre outros (GAITANI; MIHALAKAKOU; SANTAMOURIS, 2007; TALEGHANI et al., 2013; HOLOPAINEN et al., 2014).

OBJETIVO

Adotar sistemas de climatização do ar eficientes, de forma a proporcionar o conforto térmico do usuário.

JUSTIFICATIVA

Na concepção do edifício, os padrões de conforto são necessários para auxiliar os projetistas a fornecerem um ambiente em que os usuários se sentirão termicamente confortáveis. Além de permitir um bom desempenho do edifício em relação as questões de conforto, os sistemas HVAC também possuem um grande impacto no consumo de energia.

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- A definição dos critérios para o ambiente deve se basear nos índices PMV e PPD indicados pela norma ISO 7730 (ISO, 2005), considerando os níveis típicos de atividade e isolamento térmico correspondente ao vestuário (CEN, 2006);
- A concepção dos sistemas de climatização deve considerar os critérios para o desconforto térmico local contidos na norma ISO 7730 (ISO, 2005) ou semelhante (CEN, 2006); e
- A disponibilização de controles individuais pode contribuir para redução do número de insatisfeitos mediante escolha da faixa de temperatura que garanta a neutralidade térmica pessoal (NICOL; HUMPHREYS, 2012; ISO, 2005).

FONTES DE DADOS

- Projeto de climatização

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise da capacidade de atendimento do cálculo da carga térmica, verificando especialmente o limite do sistema para garantia do conforto térmico no período do inverno

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: O sistema de refrigeração deve assegurar os limites de temperatura definidos pela norma ISO 7730 (ISO, 2005), ou norma semelhante de maior rigor, além de não permitir uma oscilação de temperatura superior a $\pm 0,5$ °C.

Nível +3: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0, e a possibilidade de controle de temperatura de acordo com o usuário.

Nível +5: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível +3, e a implementação de um sistema de cogeração de energia para o aproveitamento do calor dissipado pelos equipamentos.

D.ISOLAMENTO ACÚSTICO



D. ISOLAMENTO ACÚSTICO

D1. TRANSMISSÃO SONORA ENTRE AMBIENTES

CONCEITUAÇÃO

O som incômodo é chamado de ruído, que pode ser originário do próprio ambiente, ou decorrente de atividades externas à edificação (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012). As principais fontes internas são a conversação, passos, aparelhos eletrodomésticos e instalações, como condicionadores de ar, canalizações, geradores, entre outros (SIMÕES, 2011).

O controle do ruído pode ser exercido diretamente na fonte produtora do som, de forma a anulá-lo ou diminuí-lo, sobre o caminho de propagação, ou no receptor (YANNAS; CORBELLA, 2003). O método de tratamento para a redução do som por propagação depende do tipo de ruído considerado, pois as fontes de ruído podem se propagar de forma aérea, por vibrações de sólidos, ou impacto. A partir da identificação das fontes da forma de propagação, é possível garantir a qualidade acústica do projeto através do emprego do material isolante mais adequado para o caso tratado (CARVALHO, 2006).

OBJETIVO

Eliminar ou minimizar os ruídos aéreos transmitidos entre os ambientes da edificação.

JUSTIFICATIVA

A exposição excessiva a altos níveis sonoros pode causar a perda parcial ou total da audição, problemas gastrointestinais e cardiovasculares devido as sucessivas contrações musculares, problemas respiratórios e hormonais, e o mais recorrente, distúrbios no sistema nervoso (YANNAS; CORBELLA, 2003; CARVALHO, 2006).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- O isolamento acústico deve ser adequado aos níveis de ruído gerados em cada ambiente, adotando-se as normas NBR 10152 (1987), NBR 12179 (1992), e NBR 15575 (2010) ou norma semelhante ou de maior rigor;
- Para garantir os níveis de ruído interno estabelecidos pelas normas, além da correta utilização dos materiais no tratamento das superfícies, deve-se otimizar o posicionamento dos ambientes tanto na sua distribuição horizontal quanto vertical,

garantindo o melhor zoneamento acústico no edifício de acordo com as atividades desenvolvidas (CARVALHO, 2006; SOUZA, 2008);

- Para o isolamento acústico entre paredes deve-se analisar a adoção de estratégias como: aumento da massa da superfície; emprego de paredes duplas com inserção de material absorvente no interior ou técnica que desempenhe resultado semelhante; e emprego de conexões flexíveis com os demais elementos construtivos (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012);
- Para o isolamento acústico de esquadrias deve-se analisar a adoção de estratégias como: eliminar as juntas rígidas; empregar materiais resilientes para auxiliar no amortecimento das vibrações e na vedação de pequenas frestas; e quando possível sempre optar por esquadrias de abertura em giro, uma vez que as aberturas de correr necessitam de pequenas frestas (CARVALHO 2006; SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012);

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico, layout, e detalhamento dos sistemas de proteção acústica.
- Especificação técnica dos materiais utilizados.
- Memorial descritivo das fontes de ruído.

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise dos dispositivos de proteção acústica empregados
- Verificação das fontes de ruído interno e compatibilidade das características dos materiais utilizados para o isolamento

MARCAS DE REFERÊNCIA

NÍVEL -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

NÍVEL 0: Atendimento dos níveis de pressão sonora de acordo com a norma NBR 10152 (1987), ou norma equivalente de maior rigor:

LOCAL	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (dB)
Enfermarias	35 – 45
Bibliotecas	35 – 45
Laboratórios	40 – 50
Restaurantes, Salas de Estar	40 – 50
Dormitórios	35 – 45

Salas de conferências, Salas de uso múltiplo	35 – 45
Salas de reunião	30 – 40

Obs. O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

NÍVEL +3: Atendimento do nível 0, além do atendimento dos níveis máximos de ruído externo estabelecidos pela norma NBR 10151 (1999), ou norma equivalente de maior rigor.

NÍVEL +5: Atendimento do nível +3, acrescido da aplicação das recomendações listadas.

D2. MEDIDAS DE ATENUAÇÃO DOS RUÍDOS ORIUNDOS DE EQUIPAMENTOS PARA O INTERIOR DOS AMBIENTES SOCIAIS E PRIVATIVOS

CONCEITUAÇÃO

O ruído como vibração é um impacto transmitido diretamente sobre a estrutura, o que provoca, conseqüentemente, a vibração do ar. Essa vibração ocorre enquanto há movimento e fricção, normalmente causados pela movimentação de maquinários como condicionadores de ar, bombas hidráulicas, máquina de ar condicionado, entre outros (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012).

OBJETIVO

Impedir a transmissão das vibrações geradas por máquinas e equipamentos para a estrutura da edificação.

JUSTIFICATIVA

Os ruídos são provenientes de peças das máquinas que, por serem suscetíveis a esforços cíclicos, geram deformações em frequências audíveis. Sem o controle adequado, essa vibração pode ser transmitida pela estrutura que está em contato com o equipamento, criando um ruído que se propaga por todo o edifício (BISTAFA, 2006; SOUZA, 2008).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Ao projetar as áreas técnicas, o amortecimento das vibrações deve ser feito o mais próximo possível da fonte de ruído (SIMÕES, 2011) através da utilização de lajes flutuantes, da descontinuidade da estrutura, e do emprego de junções resilientes que garantam o isolamento da fonte. Este mesmo princípio deve ser adotado na instalação de tubulações e dutos devido os ruídos gerados nas conexões entre estes e a estrutura, através da adoção de conexões flexíveis (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012);
- Deve-se locar os equipamentos em pavimentos mais baixos, de forma a minimizar as vibrações causadas na laje do piso inferior (SOUZA, 2008), e em locais mais distantes dos ambientes de longa permanência, preferencialmente desconectado do edifício principal a fim de não gerar vibrações; e
- Para o isolamento dos ruídos aéreos deve ser feito o enclausuramento da máquina através da construção de superfícies com materiais absorventes ao redor da mesma. Entretanto, é necessário garantir a ventilação adequada do ambiente, permitindo o

resfriamento dos motores de acordo com a dissipação da carga térmica gerada através de equipamentos atenuadores de ruídos (CARVALHO, 2006; SIMÕES, 2011).

FONTES DE DADOS

- Projeto arquitetônico
- Especificação de materiais
- Especificação técnica dos equipamentos

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise de projeto arquitetônico, layout e detalhamento
- Análise dos materiais utilizados no tratamento acústico dos ambientes

MARCAS DE REFERÊNCIA

Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: O projeto arquitetônico priorizou uma setorização eficiente, agrupando e locando as áreas propensas a geração de ruídos o suficientemente distante dos ambientes sociais e privativos.

Nível +3: Atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0, além do emprego de técnicas construtivas e materiais eficazes no isolamento do ruído gerado pelos equipamentos e tubulações.

Nível +5: Atendimento do nível +3, além da disposição dos ambientes sociais e privativos ter otimizado a conexão de sons provenientes da natureza considerados desejáveis, como o barulho de aves e do oceano.

E. EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS



E. EMISSÕES ELETROMAGNÉTICAS

E1. CONTROLE DOS NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

CONCEITUAÇÃO

Embora os campos eletromagnéticos sejam invisíveis a olhos humanos, sabe-se que eles estão presentes em todos os ambientes devido à grande quantidade de fontes de emissão. Enquanto os campos elétricos são gerados pelo acúmulo de cargas elétricas, os campos magnéticos são criados a partir do movimento dessas cargas. Quanto maior a corrente, maior a força do campo. Essa força, entretanto, diminui rapidamente conforme aumenta a distância da fonte de emissão (WHO et al., 2007; WHO, 2017).

As principais fontes de emissão eletromagnética são divididas em três grupos: os campos de frequência extremamente baixa (ELF - *Extremely Low Frequency* no original em inglês) com frequência de até 300Hz, campos de frequência intermediária (FI - *Intermediate Frequency Fields* no original em inglês) com frequências de 300 Hz a 10 MHz, e campos de radiofrequência (RF - *Radiation Fields* no original em inglês), com frequência entre 10 MHz a 300 GHz (EUROPEAN..., 2005).

A ocorrência de campos eletromagnéticos dentro de edifícios é causada principalmente pela distribuição de eletricidade e por aparelhos eletrodomésticos, ambos formadores de campos de frequência extremamente baixa. Entre os aparelhos há uma grande variedade na força de campo gerada, inclusive em objetos de mesma função, mas com fabricantes diferentes. Alguns exemplos das principais fontes RF são micro-ondas, computadores, redes sem fio (Wi-Fi) e celulares (WHO, 2017).

OBJETIVO

Reduzir os níveis de exposição a campos eletromagnéticos, minimizando os efeitos nocivos à saúde dos usuários.

JUSTIFICATIVA

A importância de controlar os níveis de campos eletromagnéticos ocorre devidos aos efeitos relatados na saúde humana. A exposição a curto prazo demonstrou efeitos sobre a interrupção do sono, perturbação hormonal, comprometimento da função cognitiva e da capacidade de concentração, entre outros. Já os efeitos a longo prazo indicam provocar estresse fisiológico, alteração na imunidade, comprometimento da fertilidade, doenças

neurológicas, e câncer. As exposições a RF também demonstraram efeito na membrana celular, no metabolismo, e no sistema nervoso central, resultando em prejuízos em diversas funções cerebrais (HARDELL; SAGE, 2008).

RECOMENDAÇÕES, DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS

- Disponibilizar alternativas com fio para reduzir o uso de tecnologia Wi-Fi; e
- Sempre que possível, localizar antenas, linhas de transmissão de energia elétrica e geradores os mais afastados possível da edificação, considerando também a viabilidade econômica do distanciamento.

FONTES DE DADOS

- Medição da exposição a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica;
- Medição de radiações eletromagnéticas oriundas de antenas de telefonia móvel; telefones celulares, telefones sem fio, Wi-Fi (comunicação sem fio, doméstica, de cerca de 2,4 GHz) e redes WiMAX (Comunicação Sem Fio, local externo, entre 3,5 a 5,8 GHz);
- Radiações eletromagnéticas oriundas das linhas de transmissão de energia elétrica; antenas de AM, FM e TV; equipamentos biomédicos; e fornos de micro-ondas.

PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO

- Análise dos resultados obtidos através de medições locais

MARCAS DE REFERÊNCIA

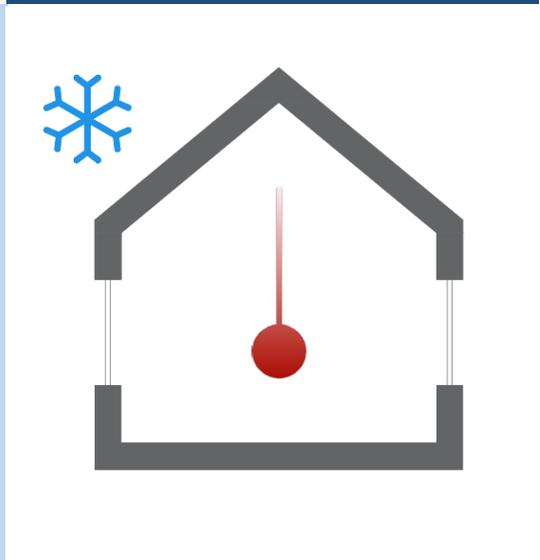
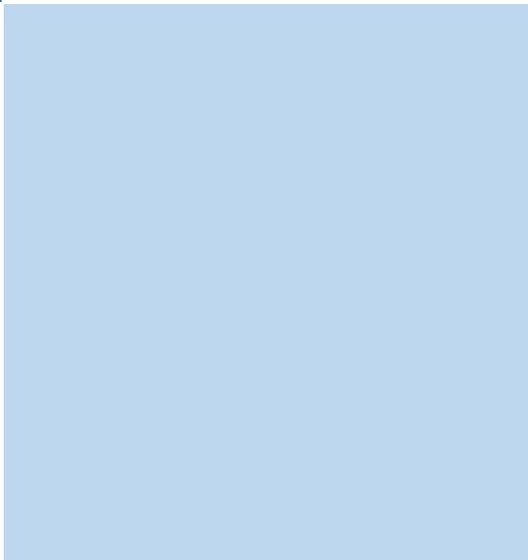
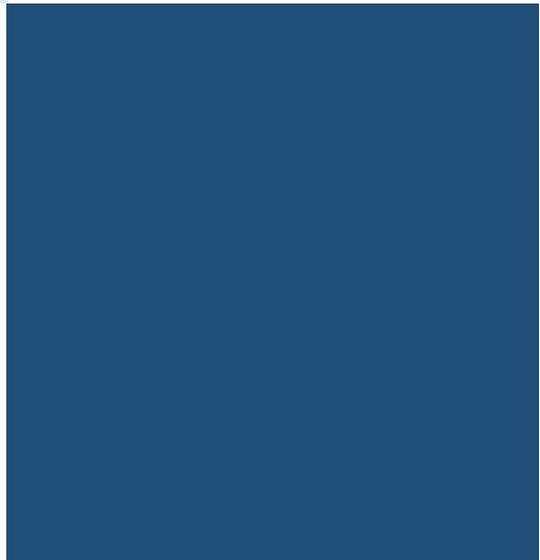
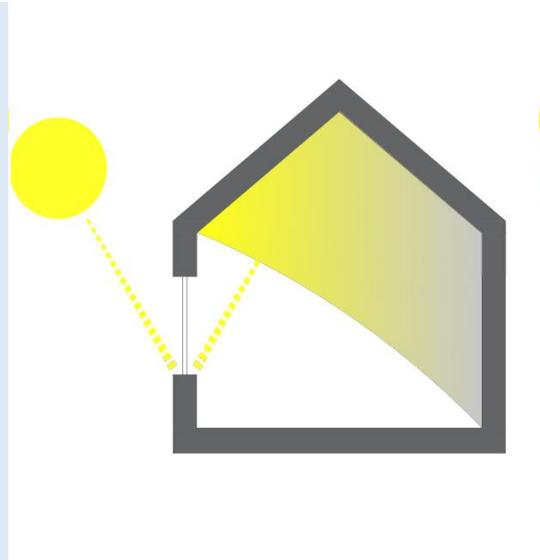
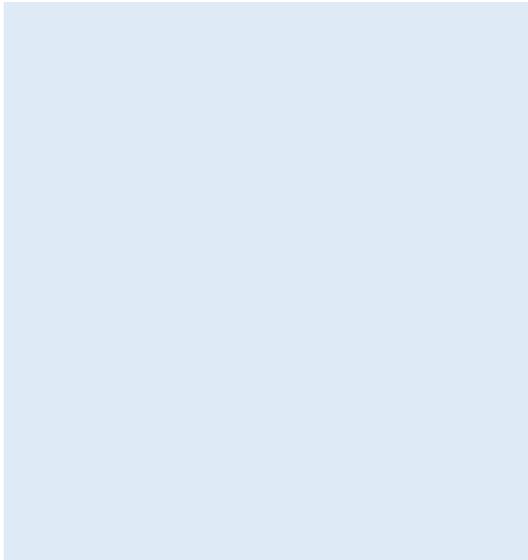
Nível -1: Não atendimento dos requisitos estabelecidos para o nível 0.

Nível 0: Adoção de medidas para novas linhas de energia e instalações elétricas que garantam ambientes com nível máximo de ELF de até 0,2 μT (HARDELL; SAGE, 2008).

Nível +3: Atendimento dos limites estabelecidos por Hardell e Sage (2008):

- Limite de exposição ELF: 0,1 μT
- Limite de exposição RF: 0,614 V/m

Nível +5: Atendimento do nível +3, além da disponibilização de alternativas com fio para reduzir o uso de tecnologia Wi-Fi.



CONSIDERAÇÕES
FINAIS

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo principal da pesquisa, ou seja, o desenvolvimento dos indicadores da qualidade do ambiente interno para edificações antárticas foi cumprido. Como resultado, foram desenvolvidos 15 indicadores e seus respectivos pesos.

A princípio, a pesquisa teve como base os indicadores propostos por Montarroyos (2015), que se encontram descritos no Anexo A. Contando inicialmente com 17 indicadores, a lista final apresentou diferenças em três subcategorias, sendo elas a “Qualidade do ar interno”, “Emissões eletromagnéticas”, e a “Relação entre edifício e usuário”.

Na QAI, houve o acréscimo de 4 indicadores:

- Indicador 3. “Nível de concentração de CO₂”
- Indicador 4. “Nível de concentração de compostos orgânicos voláteis”;
- Indicador 5. “Nível de concentração de fungos no ar”; e
- Indicador 6. “Temperatura e umidade do ar”.

Embora esses indicadores não estivessem na lista inicial, esse acréscimo foi realizado mediante a consulta a especialista na área bem como baseado na revisão da literatura. A preocupação com o nível desses contaminantes no ambiente interno pode ser entendida devido ao enclausuramento vivido no Continente pelas condições extremas causadas pelo clima. Assim, a compreensão quantos a possíveis cuidados a serem tomados durante o projeto da edificação é capaz de auxiliar a manutenção de níveis de contaminantes seguros ao usuário.

Foi acrescentada também a subcategoria “Emissões Eletromagnéticas” que, semelhantemente aos indicadores da QAI, foi realizado mediante consulta a um especialista na área e revisão da literatura. Embora ainda existam algumas incertezas quanto ao impacto causado no ser humano por ondas eletromagnéticas, as tecnologias sem fio e os demais sistemas de comunicação e transmissão de dados são cada vez mais utilizados. Deste modo, o estabelecimento de níveis aceitáveis e diretrizes projetuais permitem adotar ações preventivas e reduzir prejuízos futuros.

Por fim, houve a exclusão da subcategoria “Relação entre edifício e usuário”, sendo então removidos os seguintes indicadores:

- Existência de ambientes adequados e que incentivem o convívio e a confraternização entre os usuários;
- Uso de elementos de decoração que remetam à cultura do país de origem;
- Distribuição dos ambientes, promovendo circulação eficiente e não conflitante; e
- Conformidade de áreas com dimensões mínimas aceitáveis para cada ambiente.

A decisão por essa exclusão ocorreu a partir da análise das demais ferramentas de avaliação de sustentabilidade. Em todas consultadas, essa subcategoria pertencia a outra área de avaliação. Mediante a isto, foi considerada a necessidade do remanejamento desses indicadores para área equivalente, de forma coerente com as demais ferramentas. Dessa forma, eles devem ser trabalhados em uma continuidade da pesquisa, em que a área correspondente será abordada.

Já na subcategoria do conforto visual houve a junção de dois indicadores:

- Adoção de elementos na edificação que permitam a integração visual do ambiente interno ao externo (paisagem); e
- Privacidade visual das unidades habitacionais.

Devido à similaridade dos assuntos tratados, os indicadores passaram a ser representados pelo indicador “Integração visual do ambiente interno ao externo”. Assim, a privacidade foi trabalhada como uma marca de referência ao invés de um indicador específico.

Semelhantemente, também houve a junção de dois indicadores na subcategoria do conforto térmico:

- Utilização de sistemas de climatização de acordo com as características térmicas e necessidades atribuídas a cada ambiente; e
- Utilização de sistemas de climatização em conformidade com normas ou protocolo específico.

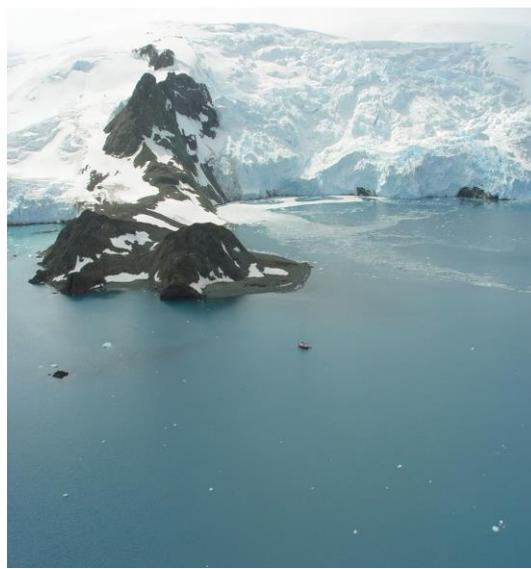
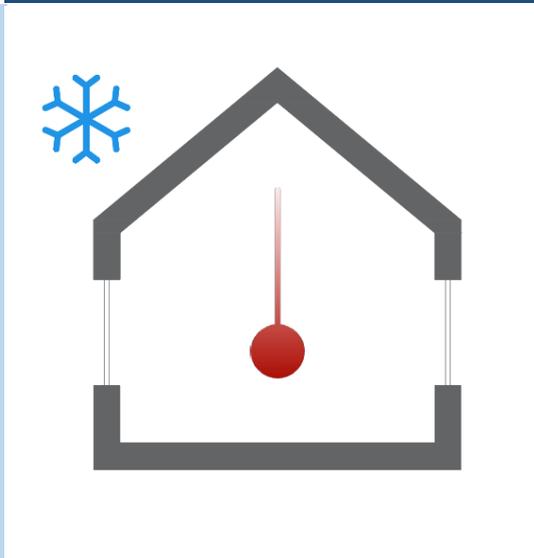
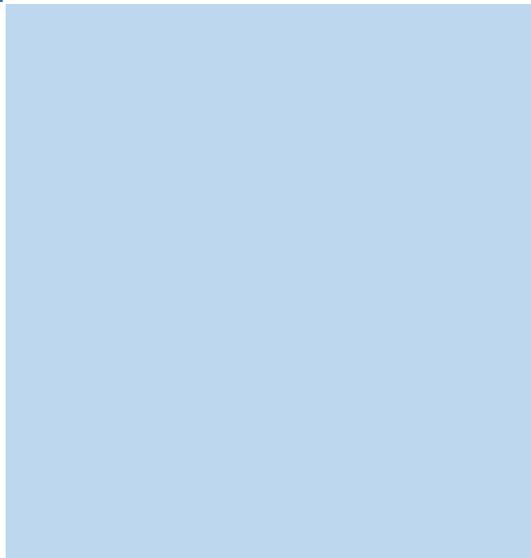
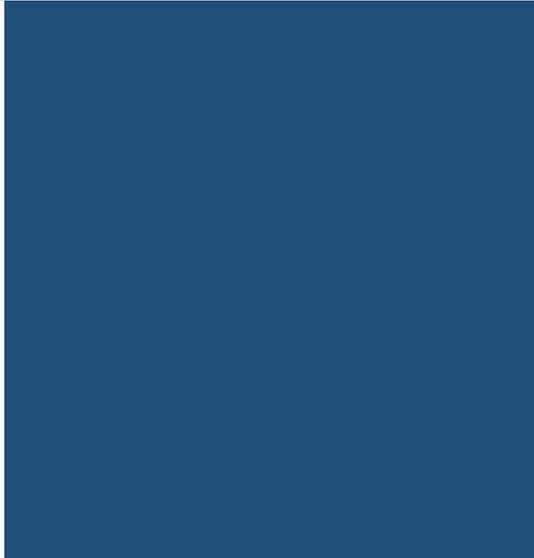
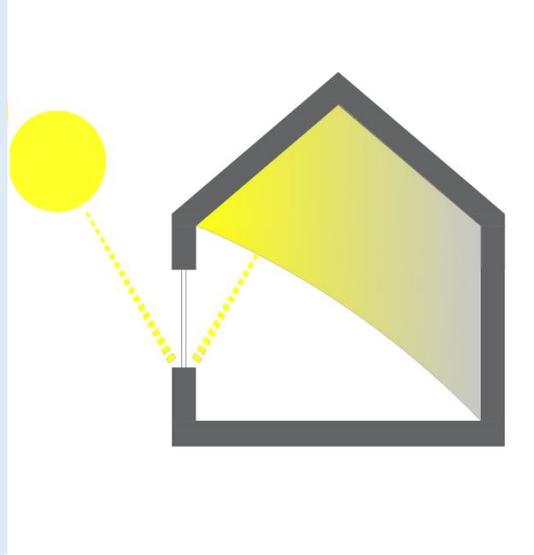
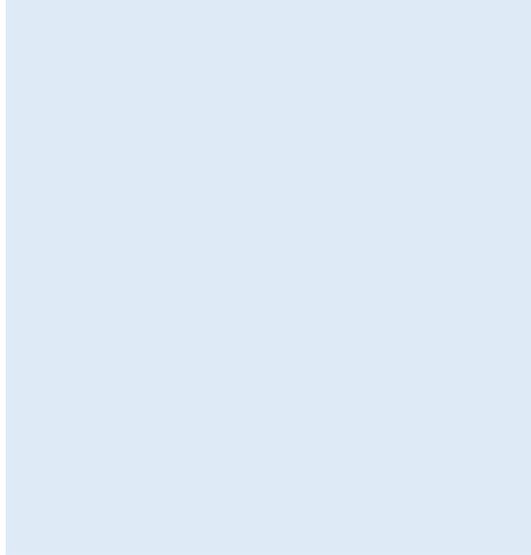
Com essa junção, o sistema de climatização em conformidade com normas específicas também foi trabalhado como uma marca de referência ao invés de um indicador específico.

Já durante a etapa de revisão bibliográfica, houve dificuldade na obtenção de informações quanto as técnicas construtivas adotadas em estações científicas anteriores, principalmente nas questões que envolvem a melhoria das medidas empregadas para o conforto. Além disso, as pesquisas científicas existentes destinam a maioria de seus recursos para o desenvolvimento de outras questões além de inovação e tecnologia. Ainda, quando ocorrem estudos nessa área, a maior parte é voltado para questões energéticas e de tratamento de resíduos, visto a importância que o aspecto ambiental determina para as ações no continente. Portanto, a quantidade de informações escassas no aspecto abordado no trabalho ressalta a importância do desenvolvimento do assunto para o avanço do conhecimento na área.

Em relação a metodologia adotada para a ponderação dos indicadores, considera-se que ela se mostrou adequada aos objetivos propostos. O emprego da metodologia do SBTool permitiu analisar fatores importantes do possível impacto causado pelo não atendimento do indicador, e sua junção com o Grau de Impacto estabelecido pelo Protocolo de Madri permitiu particularizar ainda mais os indicadores às necessidades e características inerentes aos Continente Antártico. Entretanto, considera-se que para uma avaliação mais confiável e relevante, faz-se necessário a consulta a um maior número de especialistas de cada área de conhecimento.

Por fim, devido ao estabelecimento da etapa de avaliação ter sido a etapa de projeto, não foi possível aplicar marcas de referência quantitativas em alguns indicadores por causa da dificuldade de simulação dos dados. Esse fato ocorreu principalmente nos indicadores da QAI que trabalharam níveis de contaminação de alguns componentes. Consequentemente, foram estabelecidas marcas de referência qualitativas, a fim de permitir que tais aspectos fossem trabalhados e os contaminantes reduzidos no período de operação do edifício.

Como sugestão de continuidade da pesquisa, destaca-se a necessidade da proposição de indicadores que abranjam os demais aspectos da sustentabilidade, sendo eles as dimensões ambientais e econômicas, além das demais categorias da dimensão social. Deste modo, será possível a formulação de uma ferramenta de sustentabilidade específica para as edificações no Continente Antártico, que representará um importante instrumento para auxílio em projetos futuros.



REFERÊNICAL
BIBLIOGRÁFICO

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AL-HOMOUD, M. S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and environment**, v. 40, n. 3, p. 353-366, 2005.

ALRUBAIH, M. S. et al. Research and development on aspects of daylighting fundamentals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 494-505, 2013.

ALVAREZ, C. E. de. **Arquitetura na Antártica**: ênfase nas edificações brasileiras em madeira. 1995. Dissertação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU/USP), São Paulo, 1995.

_____. **Metodologia para construção em áreas de difícil acesso e de interesse ambiental: aplicabilidade na Antártica e nas ilhas oceânicas**. 2003. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

_____. **Edificações na Antártica**. In: Alfredo Nastari. (Org.). *Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global*. 1ed. São Paulo: Marina Books, 2014, v. 1, p. 98-113.

ALVAREZ, C. E. de; CASAGRANDE, B.; SOARES, G. R. **Resultados alcançados com a implementação do plano diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)**. In: Encontro Nacional, 4 e o Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2. Campo Grande: 2007.

ALVAREZ, C.E. de; SOUZA, A. D. S. (coord.) **ASUS: Avaliação de sustentabilidade**. 2011. Disponível em: < <http://www.lppufes.org/asus/ferramenta.php#>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

ALVAREZ, C. E. de; VARGAS. P. S. P. Os documentos de informação da RAPAL e o avanço tecnológico. In: XXIV RAPAL - Reunión Anual de Administradores Antárticos Latinoamericanos, 2013, La Serena. **Documento de Trabalho**, 2013. p.1 – 5.

ALVAREZ, C. E. de; VARGAS. P. S. P.; VIDIGAL, E. J. As novas edificações brasileiras na Antártica: do concurso de projeto ao estágio atual. In: XXIV RAPAL - Reunión Anual de Administradores Antárticos Latinoamericanos, 2013, La Serena. **Documento de Información**, 2013. p.1 – 12.

ALYAMI, S. H.; REZGUI, Y. Sustainable building assessment tool development approach. **Sustainable Cities and Society**, v. 5, p. 52-62, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 52.2**: Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size. Atlanta, 2012.

_____. **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.

_____. **ANSI/ASHRAE 62. 1**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, 2013.

_____. **ANSI/ASHRAE 189.1**: Standard for the Design of High-Performance Green Buildings. Atlanta, 2014.

_____. Indoor Air Quality Guide. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/indoor-air-quality-guide>>. Acesso em: 15 out. 2016

_____. Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction, and Commissioning. Atlanta: ASHRAE, 2009.

AMODIO, M. et al. Indoor air quality (IAQ) assessment in a multistorey shopping mall by high-spatial-resolution monitoring of volatile organic compounds (VOC). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 23, p. 13186-13195, 2014.

AMUNDADOTTIR, M. L. et al. A human-centric approach to assess daylight in buildings for non-visual health potential, visual interest and gaze behavior. **Building and Environment**, v. 113, p. 5-21, 2017.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. RESOLUÇÃO-RE N899, de 29 de maio de 2003 - ANVISA - Guia de validação de métodos analíticos. Brasil: 2003.

AQUINO, F. E. **A Antártica e o clima no Rio Grande do Sul**. Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ª Edição. São Paulo: Marina Books, 2014.

ARHAMI, M. et al. Organic compound characterization and source apportionment of indoor and outdoor quasi-ultrafine particulate matter in retirement homes of the Los Angeles Basin. **Indoor air**, v. 20, n. 1, p. 17-30, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

_____.**NBR 10821**: Esquadrias externas para edificações. (coletânea). Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____.**NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____.**NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

AUSTRALIAN ANTARCTIC DIVISION. Antarctic service code of personal behaviour. 2014. Disponível em: <http://www.antarctica.gov.au/_data/assets/pdf_file/0019/23536/ml_382104210069444_code20of20personal20behaviour20151002.pdf> Acesso em: 25 jan. 2016.

BALABAN, O.; DE OLIVEIRA, J. A. P. Sustainable buildings for healthier cities: assessing the co-benefits of green buildings in Japan. **Journal of Cleaner Production**, 2016.

BISSOLI-DALVI, M. **ISMAS: A sustentabilidade como premissa para a seleção de materiais**. 2014. Tese. Programa de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo. Concepción, Chile, 2014.

BISTAFA, S. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Blucher, 2006

BRANCO, P. T. B. S. et al. Indoor air quality in urban nurseries at Porto city: Particulate matter assessment. **Atmospheric environment**, v. 84, p. 133-143, 2014.

BRAGANCA, L. (Ed.). **Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium**. IOS Press, 2007.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

BREEAM. Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Disponível em: <<https://www.bre.co.uk/>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

BRITISH ANTARTIC SURVEY. Halley VI Key Facts. Disponível em: <http://www.antarctica.ac.uk/press/images/press/2057/halley_vi_launch_key_facts.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.

BROOK, R. D. et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. **Circulation**, v. 121, n. 21, p. 2331-2378, 2010.

BUGONI, L. **Aves marinhas: população, migração e ameaças. Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ª Edição. São Paulo: Marina Books, 2014.**

BURROUGHS, H. E. Barney, Role of Filtration Efficiency in HVAC System Cleanliness and Building Security." American Filtration and Separations Society, 2004, New Orleans. **Anais...** New Orleans: 9th World Filtration Congress, 2004.

CABRAL, J. P. S. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. **Science of the total environment**, v. 408, n. 20, p. 4285-4295, 2010.

CANAL DO PANAMÁ. Panama Canal Expansion. Disponível em: <<https://micanaldepanama.com/ampliacion/>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

CANHA, N. et al. Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology. **Atmospheric Environment**, v. 83, p. 21-34, 2014.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006.

CASBEE. Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency. Assessment Tool. Disponível em: <<http://www.ibec.or.jp/CASBEE>>. Acesso em: 07 out. 2016.

CASTILLA, M. et al. A comparison of thermal comfort predictive control strategies. **Energy and buildings**, v. 43, n. 10, p. 2737-2746, 2011.

CASTRO, E. B. P. de. Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação. **DSc thesis. COPPE/UFRJ e INSA de Lyon**, 2005.

CEPA. Volatile Organic Compound (VOC) Concentration Limits for Architectural Coatings Regulations. Disponível em: <<http://ec.gc.ca/lcpe-cepa/eng/regulations/detailReg.cfm?intReg=117>>. Acesso em: 29 mai. 2017.

CHANG, C.; CHEN, P. Human response to window views and indoor plants in the workplace. **HortScience**, v. 40, n. 5, p. 1354-1359, 2005.

CHILD, J. **Antarctica and South American Geopolitics**. New York: Greenwood Press, 1988.

CHRONICLES FROM CONCORDIA. Advanced photography in freezing conditions. Disponível em: <<http://blogs.esa.int/concordia/2014/02/25/advanced-photography-in-freezing-conditions/>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

CNN. Cable News Network. Antarctica hits 63 degrees, believed to be a record. Disponível em: <<http://edition.cnn.com/2015/04/01/travel/feat-antarctica-highest-temperature-ever-recorded/>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

COBRA, G.L. A Psicologia Polar. **Boletim Interfaces da Psicologia da UFRRJ**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Vol. 2, Nº. 2, p. 70-80, dez. 2009.

COCH, H. Bioclimatism in vernacular architecture. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2, n. 1, p. 67-87, 1998.

COE. European Landscape Convention. Disponível em: <<http://www.coe.int/en/web/landscape/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

COLE, R. J. Building environmental assessment methods: clarifying intentions. **Building Research & Information**, v. 27, n. 4-5, p. 230-246, 1999.

COMMISSION FOR THE CONSERVATION OF ANTARCTIC MARINE LIVING RESOURCES (CCAMLR). Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. Disponível em: <<https://www.ccamlr.org/>>. Acesso em: 19 set. 2015.

COOL ANTARCTICA. Antarctica - Pictures, Facts and Travel. Disponível em: <<http://www.coolantarctica.com/>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

COSTA, A. M. S. **Desenvolvimento de um sistema de pesos para indicadores de sustentabilidade**. 2012. Dissertação. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Braga, 2012.

COUNCIL OF MANAGERS OF NATIONAL ANTARCTIC PROGRAMS (COMNAP). Waste Management in Antarctica. **Workshop Proceedings**. Austrália, 2006.

CRAWFORD, J. A. et al. Indicators of airborne fungal concentrations in urban homes: understanding the conditions that affect indoor fungal exposures. **Science of the total environment**, v. 517, p. 113-124, 2015.

D'OLIVEIRA. **As perspectivas do turismo Antártico**. Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ª Edição. São Paulo: Marina Books, 2014.

SILVA, V. G. da. Building sustainability indicators: state-of-the-art and challenges for development in Brazil. **Ambiente Construído**, v. 7, n. 1, p. 47-66, 2007.

DE NORMALISATION, Comité Européen. CEN Standard EN 12464-1: Light and Lighting–Lighting of Work Places–Part 1: Indoor Work Places. **Comité Européen de Normalisation, Brussels**, 2002.

_____. CEN Standard EN15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. **Comité Européen de Normalisation, Brussels**, 2007.

DE KOK, T. M. C. M. et al. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: a review of recent studies. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 613, n. 2, p. 103-122, 2006.

DESTAILLATS, H. et al. Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 7, p. 1371-1388, 2008.

DING, G. K. C. Sustainable construction: The role of environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management**. v. 86, n. 3, p. 451–464, fev. 2008.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2626-2640, 2010.

DUNCAN, S. M. et al. Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica. **Polar Science**, v. 4, n. 2, p. 275-283, 2010.

ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS AND HEALTH (EMFs). Units for measuring EMFs. Disponível em: <<http://www.emfs.info/what/units/>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

ENGEL-COX, J. et al. Toward the next generation of air quality monitoring: Particulate Matter. **Atmospheric environment**, v. 80, p. 584-590, 2013.

ENTE ITALIANO DE NORMAZIONE. **Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità Inquadramento generale e principi metodologici**. Ente Italiano de Normazone. Milão. 2015.

EPD. VOC Regulation. Disponível em: <http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/prob_solutions/voc_reg.html>. Acesso em: 19 mai. 2017.

EUROPEAN COMMISSION COMMUNITY RESEARCH. Health and electromagnetic fields. European Communities, 2005. Disponível em: <https://ec.europa.eu/health/archive/ph_determinants/environment/emf/brochure_en.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

FANG, L.; CLAUSEN, G.; FANGER, P. O. Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. **Indoor air**, v. 8, n. 2, p. 80-90, 1998.

FANG, L. et al. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. **Indoor Air**, v. 14, n. 7, p. 74-81, 2004.

FELICIO, R. Antártida - A geografia do continente gelado e as operações brasileiras. **Confins**, 2007. Disponível em: <<http://confins.revues.org/122>>. Acesso em: 01 dez. 2015.

FENICE, M. et al. Production of extracellular enzymes by Antarctic fungal strains. **Polar Biology**, v. 17, n. 3, p. 275-280, 1997.

FORSBERG, A.; VON MALMBORG, F. Tools for environmental assessment of the built environment. **Building and environment**, v. 39, n. 2, p. 223-228, 2004.

FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K. A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 485-496, 2017.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 1995.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI - FCAV. **Referencial técnico de certificação "Edifícios do setor de serviços - Processo AQUA"**: Escritórios e Edifícios escolares. São Paulo: FCAV, 2014.

GAITANI, N.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 317-324, 2007.

GALATIOTO, A.; BECCALI, M. Aspects and issues of daylighting assessment: A review study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 852-860, 2016.

GALLO, C. The utilization of microclimate elements. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2, n. 1, p. 89-114, 1998.

GIANNOPOULOU, K. et al. The influence of air temperature and humidity on human thermal comfort over the greater Athens area. **Sustainable Cities and Society**, v. 10, p. 184-194, 2014.

GRELLIER, J.; RAVAZZANI, P.; CARDIS, E. Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe. **Environment international**, v. 62, p. 55-63, 2014.

GRINDE, B.; PATIL, G. G. Biophilia: does visual contact with nature impact on health and well-being?. **International journal of environmental research and public health**, v. 6, n. 9, p. 2332-2343, 2009.

GONZALEZ, V. G.; KINKELIN, R. W. **Antarctic krill**: a case study on the ecosystem implications of fishing. Antarctic and Southern Ocean Coalition. Puerto Madryn, 2005.

HARDELL, L.; SAGE, C. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. **Biomedicine & pharmacotherapy**, v. 62, n. 2, p. 104-109, 2008.

HARTIG, T. et al. Tracking restoration in natural and urban field settings. **Journal of environmental psychology**, v. 23, n. 2, p. 109-123, 2003.

HASSANVAND, M. S. et al. Indoor/outdoor relationships of PM 10, PM 2.5, and PM 1 mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. **Atmospheric Environment**, v. 82, p. 375-382, 2014.

HEALTHY CANADA. Health risks and safety. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/health-canada.html>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

HEO, K. J.; KIM, H. B.; LEE, B. U. Concentration of environmental fungal and bacterial bioaerosols during the monsoon season. **Journal of Aerosol Science**, v. 77, p. 31-37, 2014.

HOLOPAINEN, R. et al. Comfort assessment in the context of sustainable buildings: comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. **Building and environment**, v. 71, p. 60-70, 2014.

HUSSIN, M.; ISMAIL, M. R.; AHMAD, M. S. Air-conditioned university laboratories: Comparing CO₂ measurement for centralized and split-unit systems. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, 2014.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ANTARCTICA TOUR OPERATORS (IAATO). Disponível em: <<http://iaato.org/frequently-asked-questions>>. Acesso em: 15 dez. 2015a.

_____. Estatística do Turismo. Disponível em: <<http://iaato.org/tourism-statistics>>. Acesso em: 15 dez. 2015b.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key World Energy Statistics 2010. Paris: Soregraph, 2010. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf>. Acesso em: 30 de jul. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/ TC 59/ SC 17. **ISO 21929-1** - Sustainability in build-ing construction — Sustainability indicators —Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings. Geneva, 2011.

_____. **ISO 8995**, C. I. E.; CIE, S. 008/E-2001. Lighting of indoor work places, p. 5-6, 2001.

_____. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 2005.

INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL (IAB). **Termo de Referência**: ANEXO 1 do concurso da estação antártica Comandante Ferraz. 2012. Disponível em:

<http://concursoestacaoantartica.iab.org.br/bases/TERMO_DE_REFERENCIA_EACF.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2015.

JELLE, B. P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 10, p. 2549-2563, 2011.

JOHANSSON, C.; NORMAN, M.; GIDHAGEN, L. Spatial & temporal variations of PM10 and particle number concentrations in urban air. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 127, n. 1, p. 477-487, 2007.

KALOGERAKIS, N. et al. Indoor air quality—bioaerosol measurements in domestic and office premises. **Journal of Aerosol Science**, v. 36, n. 5, p. 751-761, 2005.

KANG, H.; LEE, Y.; KIM, S. Sustainable building assessment tool for project decision makers and its development process. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 58, p. 34-47, 2016.

KATES, R. W.; PARRIS, T. M.; LEISEROWITZ, A. A. What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice. **Environment (Washington DC)**, v. 47, n. 3, p. 8-21, 2005.

KELLY, F. J.; FUSSELL, J. C. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. **Atmospheric Environment**, v. 60, p. 504-526, 2012.

KHAN, A. A. H.; KARUPPAYIL, S. M. Fungal pollution of indoor environments and its management. **Saudi journal of biological sciences**, v. 19, n. 4, p. 405-426, 2012.

KIM, K.; KABIR, E.; KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment international**, v. 74, p. 136-143, 2015.

KRAWCZYK, D. A. et al. CO₂ concentration in naturally ventilated classrooms located in different climates—Measurements and simulations. **Energy and Buildings**, v. 129, p. 491-498, 2016.

KIBERT, C. J.; CHINI, A.; LANGUELL, J. Deconstruction as an essential component of sustainable construction. In: **Proceedings of the second Southern African conference on sustainable development in the built environment**, Pretoria. 2000. p. 1-5.

- KONIS, K. A novel circadian daylight metric for building design and evaluation. **Building and Environment**, v. 113, p. 22-38, 2017.
- KORJENIC, A. et al. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 9, p. 2518-2523, 2011.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA. **Eficiência energética na arquitetura**, v. 2, 2005.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S. Conforto e stress térmico. **LabEEE, UFSC**, 2011.
- LARSSON, N. SBTool for 2015. International Initiative for a Sustainable Built Environment. 2015. Disponível em: <http://www.iisbe.org/system/files/SBTool%20Complete%2004May15.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2016.
- LÜDECKE, C. Gorgeous landscapes and wildlife: the importance and danger of Antarctic tourism. **Hemispheric e Polar Studies Journal**, v.1, n. 4, p. 213 – 231, 2010.
- MACHADO, M. C. S.; BRITO, T. (Coords.). **Antártica: ensino fundamental e ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.
- MACIEL, A. A. et al. Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico. 2006.
- MAHYUDDIN, N.; AWBI, H. A review of CO2 measurement procedures in ventilation research. **International Journal of Ventilation**, v. 10, n. 4, p. 353-370, 2012.
- MÄKINEN, T. M. et al. Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. **Respiratory medicine**, v. 103, n. 3, p. 456-462, 2009.
- MANZANO-AGUGLIARO, F. et al. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 736-755, 2015.
- MATEUS, R. F. M. da S. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis**. Tese (Doutoramento em Engenharia Civil / Processos de Construção) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Guimarães/Portugal, 2009.

- MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H. **Building and Environment**, n. 10, v. 46. p. 1962-1971. 2011.
- MARSHALL, W. A. Seasonality in Antarctic Airborne Fungal Spores. **Applied and environmental microbiology**, v. 64, n. 3, p. 1167, 1998.
- MARTINS, W. G. **Avaliação de desempenho e conforto térmico nos módulos antárticos emergenciais**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Vitória, 2016.
- MASSEY, D. et al. Seasonal trends of PM 10, PM 5.0, PM 2.5 & PM 1.0 in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. **Building and Environment**, v. 47, p. 223-231, 2012.
- MENDES, C. R. B. **Fitoplâncton, zooplânctone krill: as bases da vida**. Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ª Edição. São Paulo: Marina Books, 2014.
- MIDDLETON, N. et al. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms. **Environmental Health**, v. 7, n. 1, p. 39, 2008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Antártida - Tratado da Antártida. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/878>>. Acesso em: 09 de set. 2015.
- MONTARROYOS, D. C. G. **Indicadores de sustentabilidade para edificações na Antártica**. 2015. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
- _____. **Metodologia para avaliação ambiental em edificações Antárticas**. Acesso Restrito. 2018 (previsto).
- NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and buildings**, v. 38, n. 7, p. 905-913, 2006.
- NASROLLAHI, N.; SHOKRI, E. Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 861-874, 2016.

- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and buildings**, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002.
- NGUYEN, J. L.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D. W. The relationship between indoor and outdoor temperature, apparent temperature, relative humidity, and absolute humidity. *Indoor Air*, v. 24, n. 1, p. 103-112, 2014.
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION et al - OSHA. **Indoor Air Quality in Commercial and Institutional Buildings**. Maroon Ebooks, 2015.
- ONOFRI, S.; SELBMANN, L.; ZUCCONI, L.; PAGANO, S. Antarctic microfungi as models for exobiology. **Planetary and Space Science**, v. 52, n. 1, p. 229-237, 2004.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **ISO 8995-1: 2002 (CIE S 008/E: 2001) Lighting of Indoor Work Places**. ISO, 2002.
- PALINKAS, L. A. et al. **Cross-cultural differences in psychosocial adaptation to isolated and confined environments**. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 75(11), 973-980.
- PALO, J. H. **Antártida, expedições brasileiras**. Rio de Janeiro: Cor/Ação Editora Ltda., 1989.
- PAGEL, E. C. **Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas**. 2015. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Vitória, 2015.
- PAGEL, E. C.; REIS JR, N. C.; ALVAREZ, C. E.; SANTOS, J. M.; CONTI, M. M.; BOLDRINI, R. S.; KERR, A. S. Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic research station. **Environmental Monitoring and Assessment** (Dordrecht. Online), v. 188, p. 1-16, 2016.
- PAPADOPOULOS, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 1, p. 77-86, 2005.
- PAPADOPOULOS, A. M.; GIAMA, E. Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building. **Building and environment**, v. 42, n. 5, p. 2178-2187, 2007.

- PASCAL, M. et al. Short-term impacts of particulate matter (PM 10, PM 10–2.5, PM 2.5) on mortality in nine French cities. **Atmospheric Environment**, v. 95, p. 175-184, 2014.
- PROANTAR. Programa Antártico Brasileiro. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/secirm/proantar.html>>. Acesso em: 16 mai. 2016a.
- PROANTAR. **Tratado da Antártica**. Brasília: Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do mar, 2001.
- RACKES, A.; WARING, M. S. Using multiobjective optimizations to discover dynamic building ventilation strategies that can improve indoor air quality and reduce energy use. **Energy and Buildings**, v. 75, p. 272-280, 2014.
- REINIKAINEN, L. M.; JAAKKOLA, J. J. K. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. **Indoor air**, v. 13, n. 4, p. 344-352, 2003.
- ROBINSON, C. H. Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi. **New phytologist**, v. 151, n. 2, p. 341-353, 2001.
- ROHR, A. C.; WYZGA, R. E. Attributing health effects to individual particulate matter constituents. **Atmospheric Environment**, v. 62, p. 130-152, 2012.
- SAGE, C. **Evidence for Inadequacy of the Standards**. California: BioInitiative, 2012.
- SAGE, C; CARPENTER, D. O. Public health implications of wireless technologies. **Pathophysiology**, v. 16, n. 2, p. 233-246, 2009.
- SADEGHI, S. A. et al. Occupant interactions with shading and lighting systems using different control interfaces: a pilot field study. **Building and Environment**, v. 97, p. 177-195, 2016.
- SANTOS, L. E. F. **Territorialismo x Internacionalismo: o future do Tratado Antártico. Antártica**, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ª Edição. São Paulo: Marina Books, 2014.
- SARBU, I.; SEBARCHIEVICI, C. Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. **Energy and buildings**, v. 60, p. 410-419, 2013.
- SHELLMANN, K., KOZEL, S., 2005. A conquista da Antártica: signos e representações. **Revista Discente Expressões Geográficas**. Florianópolis-SC, v. 01, p. 15-26, 2005.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON ANTARCTIC RESEARCH (SCAR). **Antarctic Climate Change and the Environment**. Scott Polar Research Institute. Cambridge, 2009.

SCHLOSS, M. Upgrading indoor air filtration: The right decision, the right time. **Filtration & Separation**, v. 44, n. 1, p. 28-30, 2007.

SECRETARIAT OF ANTARCTICA TREATY (ATS). Guidelines for Environmental impact assessment in Antarctica. 1991. Disponível em: <http://www.ats.aq/documents/recatt/Att266_e.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2016.

SEGNESTAM, L. Indicators of Environment and Sustainable. **The World Bank Environment Department**. The International Bank for Reconstruction and Development. Washington, 2002.

SHARPE, R. A. et al. Indoor fungal diversity and asthma: a meta-analysis and systematic review of risk factors. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 135, n. 1, p. 110-122, 2015.

SCHIRMER, W. N.; SZYMANSKI, M. S. E.; GAUER, M. A. Qualidade do ar interno em ambientes climatizados- verificação dos parametros físicos e concentração de dióxido de carbono em agência bancária. **Tecno-Lógica**, v. 13, n. 1, p. 41-45, 2009.

SICHE, R. et al. Índices versus Indicadores: Precisoões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente e Sociedade**. v. 10, n. 2, jul-dez. 2007

SIMÕES, F. M. **Acústica Arquitetônica**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={28E0A622-909E-4AF1-BF96-B90EA35B5D3E}>. Acesso em: 24 jan. 2017.

SIMÕES, J. C. **Uma política científica para a Antártica**. Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ªEdição. São Paulo: Marina Books, 2014.

_____. **Crônicas do gelo: o registro das mudanças climáticas na Antártica**. Antártica, 2048: Mudanças Climáticas e Equilíbrio Global. 1ªEdição. São Paulo: Marina Books, 2014.

SIOUTAS, C.; DELFINO, R. J.; SINGH, M. Exposure assessment for atmospheric ultrafine particles (UFPs) and implications in epidemiologic research. **Environmental health perspectives**, p. 947-955, 2005.

SNIDER, C. S., HSIANG, T., ZHAO, G., & GRIFFITH, M. Role of ice nucleation and antifreeze activities in pathogenesis and growth of snow molds. **Phytopathology**, v. 90, n. 4, p. 354-361, 2000.

SOUZA, A. D. S. **Ferramenta ASUS**: Proposta Preliminar para Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios Brasileiros a partir da Base Conceitual da SBTool. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. **Bé-a-bá da acústica arquitetônica**. (4° Ed.) São Carlos: EdUFSCar, 2012.

SRIMURUGANANDAM, B.; NAGENDRA, S. S. Source characterization of PM 10 and PM 2.5 mass using a chemical mass balance model at urban roadside. **Science of the total environment**, v. 433, p. 8-19, 2012.

SZIGETI, T. et al. Exposure to PM 2.5 in modern office buildings through elemental characterization and oxidative potential. **Atmospheric Environment**, v. 94, p. 44-52, 2014.

TALEGHANI, M. et al. A review into thermal comfort in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 201-215, 2013.

TIN, T. et al. Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica. **Renewable Energy**, v. 35, n. 8, p. 1715-1723, 2010.

TOMÉ, M. S. et al. A influência da tipologia da janela na iluminação natural: O caso da Estação Antártica Comandante Ferraz. 2016. **Anais...** Vitória: SBE, 2016.

TIN, T.; SOVACOOOL B. K.; BLAKE D.; MAGILL P.; NAGGAR S.; LIDSTROM, S; ISHIZAWA, K., BERTE J. Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica. **Renewable Energy** 35. p. 1715–1723. 2010.

TOWNSEND, T. Indoor air quality: Clean, green HVAC machine. **Filtration & separation**, v. 44, n. 1, p. 24-26, 2007.

TSUTSUMI, H. et al. Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. **Building and Environment**, v. 42, n. 12, p. 4034-4042, 2007.

UNITED NATION DIVISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (UNSD). **Sustainable Development Indicators: Proposals for the Way Forward**. Ottawa, 2005.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT – UNCED. **Earth Summit Agenda 21**. Rio de Janeiro. jun.1992. Rio de Janeiro. Brasília: Senado Federal, 1996. 585 f. (Versão em português: Agenda 21 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1992).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Resource Efficiency. Disponível em: <http://www.unep.org/resourceefficiency/>. Acesso em: 15 fev. 2017.

UNITED STATES ANTARCTIC PROGRAM. U.S. Antarctic Program Participant Guide, 2014-2016. 2014. Disponível em: <http://www.usap.gov/USAPgov/travelAndDeployment/documents/ParticipantGuide-Chapter6.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2016.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Indoor Air Quality (IAQ). Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#main-content>. Acesso em: 01 set. 2016.

USGBC. LEED Credit Library. Disponível em: <http://www.usgbc.org/credits/new-construction/v4/indoor-environmental-quality>. Acesso em: 16 dez. 2016.

_____. Bioclimatic Design. Disponível em: <http://plus.usgbc.org/bioclimatic-design/>. Acesso em: 12 mai. 2017.

VAN LIPZIG N. P. M.; TURNER J.; COLWELL S. R.; VAN DEN BROEKE M. R. **Short communication the near-surface wind field over the Antarctic continent**. International Journal of Climatology n.24, p 1973–1982, 2004.

VEECK, A. C. Air filtration: Guidelines and standards for using air filters. **Filtration & Separation**, v. 45, n. 1, p. 28-30, 2008.

VELARDE, M. D.; FRY, G.; TVEIT, M. Health effects of viewing landscapes–Landscape types in environmental psychology. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 6, n. 4, p. 199-212, 2007.

WHITE, M. P. et al. Feelings of restoration from recent nature visits. **Journal of Environmental Psychology**, v. 35, p. 40-51, 2013.

WORLD COMISSION ON ENVIROMENTAL AND DEVELOPMENT (WCED). **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide**. World Health Organization, 2006.

_____.Electromagnetic fields (EMF). Disponível em: < <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/>>. Acesso em: 16 jan 2017.

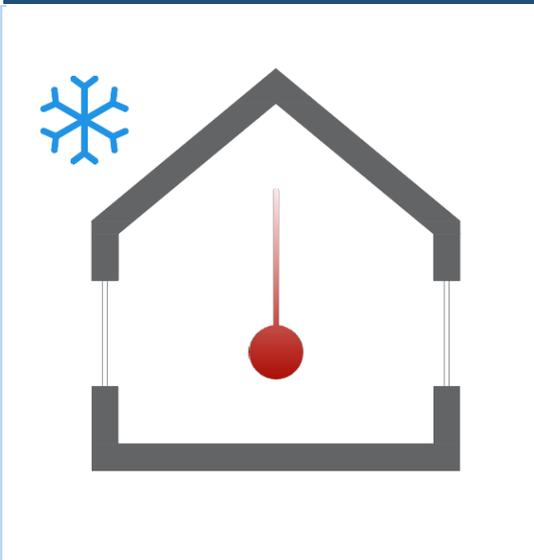
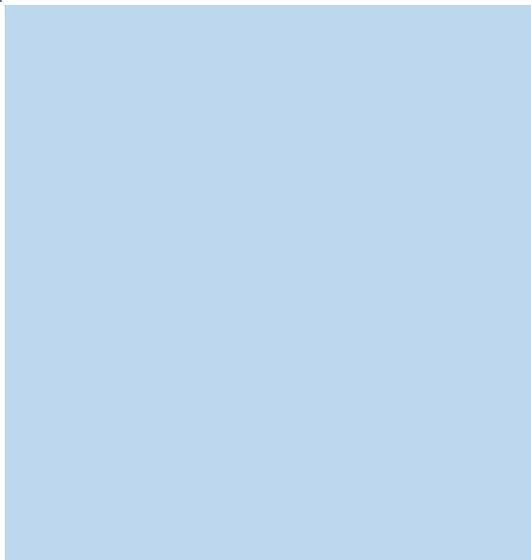
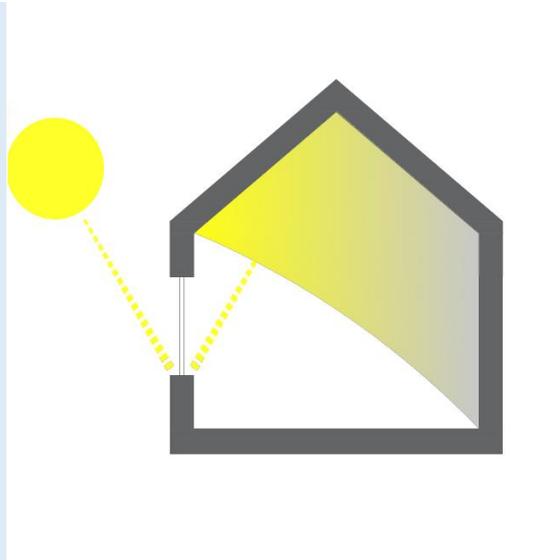
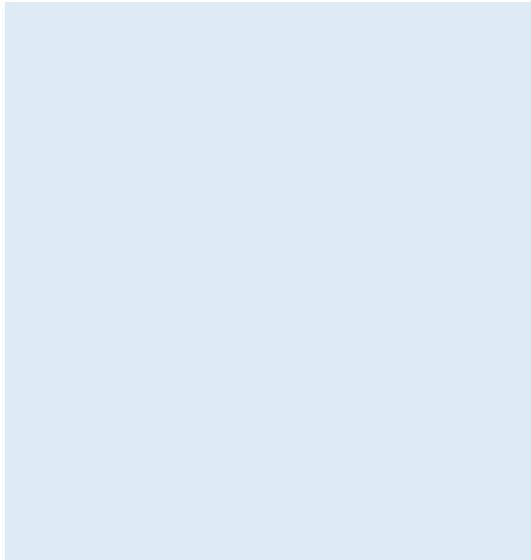
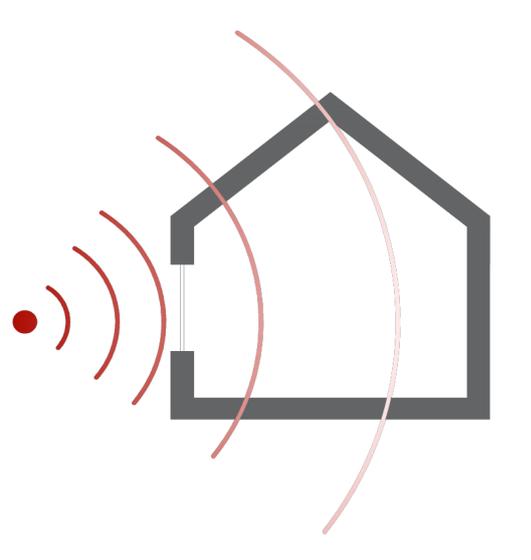
WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) et al. **Extremely low frequency fields**. 2007.

YANNAS, S.; CORBELLA, O. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos. **Rio de janeiro, Brasil, Ed. Revan**, 2003.

YEANG, K. **Proyetar com lana turaleza**: bases ecológicas para el proyeto arquitectónico. Barcelona: Gustavo Gili, 2000.

YOUNG, J. W. A framework for the ultimate environmental index–putting atmospheric change into context with sustainability. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 46, n. 1, p. 135-149, 1997.

ZHANG, Y.; ZHAO, R. Overall thermal sensation, acceptability and comfort. **Building and environment**, v. 43, n. 1, p. 44-50, 2008.



ANEXO A

Lista completa dos indicadores desenvolvidos por Montarroyos (2015).

DIMENSÃO AMBIENTAL	
Relações entre o edifício e o entorno	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medidas de atenuação do nível de pressão sonora dos equipamentos 2. Interferência da técnica construtiva na configuração natural do solo/gelo 3. Medidas para restaurar ou manter a funcionalidade original do ambiente natural 4. Nível de antropização (interferência do homem no meio ambiente) do local de implantação 5. Harmonia do design com a paisagem 6. Forma aerodinâmica 7. Estanqueidade dos ambientes para controle de entrada/saída dos materiais biológicos em relação ao exterior 8. Medidas para isolar áreas com potencial poluente 9. Interferência na fauna e/ou flora nas etapas de construção e operação
Água	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presença de água na forma líquida 2. Distância da construção em relação aos corpos hídricos 3. Instalação de equipamentos economizadores de água 4. Instalação de sistemas de identificação e prevenção de vazamentos e desperdícios 5. Utilização de sistemas de reutilização das águas cinzas 6. Utilização de sistemas de reutilização das águas negras
Energia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas de energia renovável como base energética para as edificações 2. Consumo de energia anual estimada por ocupante no verão, kWh/m² 3. Consumo de energia anual estimada por ocupante no inverno, kWh/m² 4. Estimativa do consumo energético utilizado em equipamentos 5. Eficiência energética determinada pela envoltória 6. Eficiência energética determinada pelo sistema de aquecimento
Materiais	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de materiais com longa vida útil e mínima necessidade de manutenção 2. Técnica construtiva que facilita a substituição de peças e a futura desmontagem, bem como com potencial de reutilização ou reciclagem dos elementos da edificação 3. Adoção de materiais renováveis ou recicláveis/reaproveitáveis 4. Uso de embalagens de proteção para o transporte que permitam reutilização ou reciclagem

	5. Uso de materiais resistentes ao fogo
	6. Medidas de proteção contra raios UV para materiais de uso externo
	7. Uso de materiais e sistemas resistentes às pressões do vento
	8. Medidas de proteção anticorrosão para elementos metálicos de uso externo
	9. Adoção de materiais reutilizados ou reciclados de construções existentes
	10. Utilização de sistema modular, pré-fabricado, e/ou de rápida execução
	11. Utilização de sistemas construtivos flexíveis e adaptáveis
	12. Quantidade de água potável utilizada na fase de produção dos principais elementos construtivos da edificação
	13. Quantidade de água potável utilizada na fase de construção dos principais elementos construtivos da edificação
	14. Quantidade de água potável utilizada na fase de manutenção dos principais elementos construtivos da edificação
	15. Quantidade de energia utilizada na fase de produção dos principais elementos construtivos da edificação
	16. Quantidade de energia utilizada na fase de construção dos principais elementos construtivos da edificação
	17. Quantidade de energia utilizada na fase de manutenção dos principais elementos construtivos da edificação
	18. Quantidade de resíduos tóxicos gerados na fase de produção dos principais elementos construtivos da edificação
	19. Quantidade de resíduos tóxicos gerados na fase de construção dos principais elementos construtivos da edificação
	20. Quantidade de resíduos tóxicos gerados na fase de manutenção dos principais elementos construtivos da edificação
Resíduos	1. Geração de resíduos sólidos não-orgânicos nas etapas de construção
	2. Geração de resíduos sólidos não-orgânicos na etapa de uso/operação
	3. Geração de resíduos sólidos não-orgânicos na etapa de descomissionamento ou desmonte

	4. Geração de resíduos líquidos nas etapas de uso/operação
	5. Utilização de sistemas de tratamento de resíduos líquidos
	6. Implantação de instalações para o armazenamento e triagem de resíduos sólidos
	7. Segurança para armazenamento de resíduos perigosos
Emissões	1. Potencial de destruição da camada de ozono - ODP (kg CFC-11)
	2. Potencial de aquecimento global - GWP (kg CO ₂)
	3. Potencial de acidificação - AP (kg SO ₂)
	4. Potencial de oxidação fotoquímica - POCP (kg.C ₂ H ₄)
	5. Potencial de eutrofização - EP (kg PO ₄)
	6. Utilização de sistemas construtivos, materiais e equipamentos de baixa emissividade
	7. Medidas para assegurar que os procedimentos de manutenção gerem o mínimo de COV
DIMENSÃO SOCIAL	
Qualidade do Ambiente Interno	1. Quantidade de renovações do ar por unidade de tempo
	2. Utilização de sistemas de filtragem do ar interior
	3. Percentagem de compartimentos destinados a longa permanência com aproveitamento da luz natural
	4. Quantidade (lux) e distribuição da luz natural nos compartimentos destinados à ocupação humana
	5. Quantidade (lux) e distribuição da luz artificial nos compartimentos destinados à ocupação humana
	6. Adoção de elementos na edificação que permitam a integração visual do ambiente interno ao externo (paisagem)
	7. Privacidade visual das unidades habitacionais
	8. Transmissão sonora entre ambientes
	9. Medidas de atenuação dos ruídos oriundos de equipamentos para o interior dos ambientes sociais
	10. Partido arquitetônico que potencializa a conservação do calor interno
	11. Proposição de técnica construtiva e materiais que otimizem o isolamento térmico

	12. Utilização de sistemas de climatização de acordo com as características térmicas e necessidades atribuídas a cada ambiente
	13. Utilização de sistemas de climatização em conformidade com normas ou protocolo específico
	14. Existência de ambientes adequados e que incentivem o convívio e a confraternização entre os usuários
	15. Uso de elementos de decoração que remetam à cultura do país de origem
	16. Distribuição dos ambientes, promovendo circulação eficiente e não conflitante
	17. Conformidade de áreas com dimensões mínimas aceitáveis para cada ambiente
Segurança	1. Implantação de saídas emergenciais próximo aos cômodos de longa permanência e de ambientes com concentração de pessoas
	2. Adoção de medidas preventivas relacionadas à segurança pessoal e da edificação junto aos usuários
	3. Projeto arquitetônico que contemple o isolamento entre setores para o caso de incêndio
	4. Treinamento obrigatório para usuários e gestores da edificação, tanto para ações de prevenção como de combate a acidentes
	5. Utilização de sistema de iluminação no exterior do edifício para uso cotidiano e de segurança
	6. Criação de rotas e trilhas de segurança e de trabalho no exterior e no interior, com sistema de iluminação de emergência
	7. Tempo necessário para uma pessoa localizada no local mais remoto do edifício chegar a um local seguro
	8. Existência de local seguro destinado exclusivamente à sobrevivência
Gestão e qualidade dos serviços	1. Disponibilidade do projeto final para uso/análise de operadores e ocupantes
	2. Elaboração de manual de instalação, uso e manutenção (considerando a edificação e seus equipamentos)
	3. Controlabilidade do consumo de água e energia
	4. Controlabilidade da temperatura interna dos ambientes

	5.Grau de controle sobre os sistemas principais que pode ser exercida pelos usuários
	6.Presença de sistema de controle informatizado de gestão do edifício
	7.Capacidade estrutural de suportar futuras modificações/ expansões
	8.Nível de dificuldade para alterar instalações ou equipamentos
DIMENSÃO ECONÔMICA	
Custo	1.Custo dos sistemas construtivos, instalações e equipamentos para execução
	2.Custo previsto no Ciclo de Vida da edificação e dos sistemas