

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NATASHA HANSEN GAPSKI PEREIRA
SERGIO LEANDRO BATISTA JUNIOR

**GERAÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA
EDIFICAÇÕES EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ZONAS
CLIMÁTICAS LOCAIS DE UMA METRÓPOLE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

NATASHA HANSEN GAPSKI PEREIRA
SERGIO LEANDRO BATISTA JUNIOR

**GERAÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA
EDIFICAÇÕES EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ZONAS
CLIMÁTICAS LOCAIS DE UMA METRÓPOLE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, do Departamento
Acadêmico de Construção Civil da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná.

Orientador: Prof^o Dr. Eduardo L. Krüger

CURITIBA
2018



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

GERAÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA EDIFICAÇÕES EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS DE UMA METRÓPOLE

Por

**NATASHA HANSEN GAPSKI PEREIRA
SERGIO LEANDRO BATISTA JUNIOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no segundo semestre de 2018 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientador – Eduardo Leite Krüger, Dr.
UTFPR

Profa. Janine Nicolosi Correa, Dra.
UTFPR

Prof. Tatiana Maria Cecy Gadda, Dra.
UTFPR

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000 - Curitiba - PR Brasil
www.utfpr.edu.br dacoc-ct@utfpr.edu.br **telefone DACOC: (041) 3279-4500**

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

RESUMO

BATISTA JÚNIOR, Sergio Leandro; PEREIRA, Natasha Hansen Gapski. Geração de estratégias bioclimática para edificações em função de diferentes zonas climáticas locais de uma metrópole. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O clima urbano em metrópoles se apresenta em função das características da morfologia e uso do solo do espaço urbano. Aspectos como nível de verticalização, presença de vegetação e densidade urbana influenciam diretamente em variáveis climáticas como temperatura e umidade formando microclimas. Esta pesquisa teve por objetivo gerar estratégias bioclimáticas em função dos diversos tipos de morfologias da cidade de Londres, Inglaterra, e avaliar se as variações nos microclimas são significativas o bastante para influenciar as diretrizes projetuais arquitetônicas das edificações. Tal avaliação foi realizada através da comparação das porcentagens de eficiência das estratégias bioclimáticas geradas pelo software Climate Consultant versão 6.0 em suas cartas psicrométricas. Para a classificação das diferentes morfologias do espaço urbano de Londres foi utilizado o conceito de zonas climáticas locais (LCZs) desenvolvido por Stewart e Oke. Os dados meteorológicos obtidos para cada ponto de estudo foram encontrados na plataforma online Weather Underground. Pela análise do perfil longitudinal das temperaturas, a pesquisa constatou a formação de ilhas de calor nos locais com maior intensidade de ocupação e atividades antrópicas enquanto o perfil longitudinal de umidades relativa revelou valores mais altos de umidade em pontos próximos a corpos d'água e cinturões verde. Com relação as diretrizes projetuais, as cartas psicrométricas apresentaram diferenças superiores a 10% na eficiência de estratégias bioclimáticas de aquecimento e resfriamento em função da LCZ em que o ponto está localizado. Estes resultados poderão servir de base para a orientação de futuros projetos arquitetônicos para a cidade de Londres, Inglaterra.

Palavras-chave: Clima urbano. Microclima. Estratégias bioclimáticas. Zonas climáticas locais.

ABSTRACT

BATISTA JÚNIOR, Sergio Leandro; PEREIRA, Natasha Hansen Gapski. Generation of bioclimatic strategies to buildings based on different local climate zones in a metropolis. 76p. Course Completion Work – Civil Engineering, Civil Construction Department, Federal Technological University of Paraná. Paraná, Curitiba, 2018.

Urban climate in metropolis manifests itself based on the characteristics of urban space's morphology. The level of verticalization, the presence of vegetation and urban density are influencing factors of climatic variables such as temperature and humidity and develops microclimates. This research intended to generate bioclimatic strategies according to the different morphologies of the city of London, England, and evaluate if the differences on microclimates are significant to influence the architectural guidelines. Such evaluation was established by comparisons of percentages of bioclimatic strategies' efficiency generated by the software Climate Consultant version 6.0 in its psychrometric charts. Stewart and Oke's proposal of local climate zones was used to grade London's different morphologies. Weather data was enabled by the online platform Weather Underground. The analysis of the longitudinal profile of temperature revealed the formation of urban heat islands in more densely occupied areas and human activities whilst the longitudinal profile of relative humidity displayed higher values of humidity among points near bodies of water and green belts. As for architectural guidelines, psychrometric charts displayed differences up to 10% concerning bioclimatic strategies' efficiency of heating and cooling based on which LCZ the point of interest is located. These results may be used as the foundation to future architectural guidelines to the city of London, England.

Key-words: Urban climate. Microclimate. Bioclimatic strategies. Local climate zones.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições das zonas climáticas locais	26
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de zonas climáticas locais de Londres, Inglaterra	31
Figura 2 - Exemplo de carta psicrométrica	35
Figura 3 - Transectos sobrepostos ao mapa de zonas climáticas locais de Londres, Inglaterra	37
Figura 4 - Perfil longitudinal da temperatura mínima média no transecto leste-oeste	40
Figura 5 - Perfil longitudinal da umidade relativa média no transecto leste-oeste	41
Figura 6 - Perfil longitudinal da temperatura mínima média no transecto norte-sul	44
Figura 7 - Perfil longitudinal da umidade relativa média no transecto norte-sul	45
Figura 8 - Horas de conforto térmico do transecto leste-oeste	48
Figura 9 - Eficiências das estratégias bioclimáticas do transecto leste-oeste ..	49
Figura 10 - Horas de conforto térmico do transecto norte-sul	52
Figura 11 - Eficiência das estratégias bioclimáticas do transecto norte-sul	53
Figura A.1 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 1	63
Figura A.2 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 2	64
Figura A.3 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 3	65
Figura A.4 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 4	66
Figura A.5 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 5	67
Figura A.6 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 6	68
Figura A.7 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 7	69
Figura A.8 – Carta psicrométrica gerada para a estação oficial Aeroporto Gatwick conforme dados de horas do transecto L-O	70
Figura B.1 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 8	71

Figura B.2 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 9	72
Figura B.3 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 4	73
Figura B.4 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 10	74
Figura B.5 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 11	75
Figura B.6 – Carta psicrométrica gerada para a estação oficial Aeroporto Gatwick conforme dados de horas do transecto N-S	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área de ocupação das zonas climáticas locais	32
Tabela 2 - Estações meteorológicas do transecto leste-oeste	38
Tabela 3 - Estações meteorológicas do transecto norte-sul.....	38
Tabela 4 - Temperatura e umidade relativa transecto leste-oeste	39
Tabela 5 - Temperatura e umidade relativa transecto norte-sul.....	43
Tabela 6 - Eficiência das estratégias bioclimáticas do transecto leste-oeste ...	47
Tabela 7 - Eficiência das estratégias bioclimáticas do transecto norte-sul.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LCZ	Zona climática local
LCZs	Zonas climáticas locais
L-O	Leste-oeste
N-S	Norte-sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
2	REFERENCIAL TÉORICO	15
2.1	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	15
2.1.1	Sombreamento	16
2.1.2	Inércia térmica	17
2.1.3	Inércia térmica e ventilação noturna	17
2.1.4	Resfriamento evaporativo direto	17
2.1.5	Resfriamento evaporativo duplo-estágio	18
2.1.6	Resfriamento por ventilação natural	18
2.1.7	Resfriamento por ventilação artificial	18
2.1.8	Ganho de calor interno	18
2.1.9	Aquecimento solar passivo direto com baixa inércia térmica	19
2.1.10	Aquecimento solar passivo direto com alta inércia térmica	19
2.1.11	Proteção contra o vento	19
2.1.12	Umidificação	19
2.1.13	Desumidificação	20
2.1.14	Resfriamento e aquecimento artificial	20
2.2	CLIMATE CONSULTANT	20
2.3	CLIMA	21
2.3.1	Radiação solar	21
2.3.2	Temperatura	22
2.3.3	Umidade	23

2.3.4 Vento	23
2.4 CLIMA URBANO.....	24
2.4.1 Zonas climáticas locais	24
2.5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	27
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	30
3.1 LOCAL DE ESTUDO	30
3.2 DADOS CLIMÁTICOS	32
3.3 GERAÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	33
3.3.1. Carta psicrométrica.....	34
4 RESULTADOS.....	37
4.1 TRANSECTOS.....	37
4.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	38
4.2.1 Transecto leste-oeste	38
4.2.2 Transecto norte-sul.....	42
4.3 EFICIÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS	45
4.3.1 Transecto leste-oeste	46
4.3.2 Transecto norte-sul.....	50
5 CONCLUSÕES	55
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A	63
APÊNDICE B	71

1 INTRODUÇÃO

O movimento de migração da população para os centros urbanos foi marcado pela sua intensidade e pela dificuldade que a estrutura das cidades tinha em atender os contingentes (MUMFORD, 1998). Impulsionados pelos avanços técnicos permitidos pela Revolução Industrial, os primeiros indícios de êxodo rural são percebidos em alguns países europeus durante o século XVIII. Em nível global, esse fenômeno se deu em grandes proporções a partir da segunda metade do século XX.

A produção do espaço urbano se desenvolveu de maneira diferente em cada centro em função das atividades econômicas ali estabelecidas e das condições financeiras e culturais de seus habitantes. Características de ocupação do solo, vegetação, intensidade de tráfego, nível de verticalização e os tipos de materiais construtivos se tornam elementos distinguíveis não só entre cidades, mas também entre bairros de uma mesma cidade (UGEDA JÚNIOR e AMORIM, 2016).

Esse processo de crescimento das cidades juntamente ao da população altera as condições naturais do ambiente, uma vez que as condições atmosféricas são resultado da interação de diferentes escalas climáticas e de superfície (MONTEIRO, 1976).

O clima urbano, portanto, é a modificação substancial de um clima local. Efeitos como ilhas de calor e frio, chuvas ácidas e inversão térmica são comuns nas grandes cidades e evidenciam o impacto da urbanização no microclima. Além disso, diversos estudos caracterizam as condições climáticas das cidades, onde as variações térmicas apresentam intensidades de até 10 °C (UGEDA JÚNIOR e AMORIM, 2016).

Simultaneamente, com os climas urbanos alterados, condições climáticas adversas fazem com que se utilize mais energia elétrica com sistema de condicionamento de ar, por exemplo (PROCEL, 2017). Nesse sentido, cresce a preocupação com a eficiência energética das edificações. Em termos de edificações, uma alta taxa de eficiência energética significa que a edificação necessita de uma menor quantidade de energia para manter-se ambientalmente confortável.

A partir da preocupação com o conforto ambiental e com a eficiência energética, o uso de estratégias bioclimáticas surge como uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de bons projetos arquitetônicos, prevendo o uso inteligente dos recursos naturais. O emprego de estratégias bioclimáticas significa que

o conforto de uma edificação é, sobretudo, oriundo da otimização de elementos naturais (iluminação, orientação solar e ventilação natural), minimizando, assim, a necessidade de utilização de meios artificiais para manter um ambiente confortável (MELLO et al., 2016).

Para a obtenção de estratégias bioclimáticas, aplica-se métodos como a carta de Givoni, sugerido na NBR 15220 (ABNT, 2003), método de Mahoney, de Olgyay, dentre outros. Estes, por sua vez, funcionam a partir de dados climáticos de cada localidade, muitas vezes obtidos em função de apenas uma estação meteorológica.

Os dados climáticos tidos como oficiais, tomados pelo serviço de meteorologia, não podem ser afirmados como representativos das grandes cidades, porque a urbanização cria microclimas (CORBELLA e YANNAS, 2003). Isto acontece principalmente em metrópoles, onde a extensão e a ocupação do espaço urbano ocorrem de múltiplas maneiras. Por exemplo, se a estação meteorológica oficial de um município estiver localizada em uma região não urbana, os dados registrados, principalmente os de temperatura, podem não estar em conformidade com a realidade do comportamento climático do centro urbano.

Considerando que a morfologia de uma região influencia no microclima local, assume-se que há diferenças na aplicação de estratégias bioclimáticas para cada região de um espaço urbano. Assim, o presente trabalho busca unir os conhecimentos prévios de morfologia de uma metrópole com dados climáticos de estações dentro do perímetro urbano e verificar se variabilidades no microclima causam diferenças significativas na geração de estratégias bioclimáticas.

Esse trabalho propõe conferir essas situações supracitadas para a cidade de Londres, Inglaterra. A escolha da cidade de Londres é justificada pela grande quantidade de dados climáticos disponíveis e pela grande diversidade das características de ocupação da sua região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é gerar estratégias bioclimáticas em função das diferentes morfologias no espaço urbano de Londres, Inglaterra por meio do conceito de zona climática local (LCZ).

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Obter estratégias bioclimáticas para projeto para cada LCZ através do *software* Climate Consultant versão 6.0;
- Avaliar se há diferenças significativas entre as diretrizes projetuais arquitetônicos para as diversas LCZs.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são expostos os conceitos da arquitetura bioclimática e de dados climáticos utilizados para definir estratégias bioclimáticas adequadas através do *software* Climate Consultant versão 6.0. Também se explica o clima urbano e suas particularidades, as quais dão origem às zonas climáticas locais.

2.1 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A partir da Segunda Guerra Mundial, houve significativa expansão das técnicas construtivas, aliada as fontes baratas de energia (CORBELLA e YANNAS, 2003). Esse fator modificou a maneira de construir, de forma que o conforto ambiental poderia ser obtido através das novas tecnologias (DUARTE, 2006). Nesse contexto, popularizou-se a utilização de condicionadores de ar para residências.

Foi somente a partir da década de 1970, com a crise do petróleo somada ao crescimento urbano, que a preocupação com a eficiência energética aumentou. Inicialmente nos EUA, mais afetados pela crise, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning* (ASHRAE) desenvolveu a primeira versão da norma *ASHRAE Standard 90* (ASHRAE, 1975), cujo texto trouxe requisitos e diretrizes de eficiência energética.

Desde então, a arquitetura bioclimática passou a ter maior importância nas construções, pois procura atingir condições de conforto ambiental a partir da otimização de elementos naturais. Dessa forma, um projeto bioclimático é desenvolvido para ter uma alta eficiência energética (CORREA, 2002).

Projeto bioclimático, conforme seu idealizador Victor Olgyay (1963), é um termo utilizado para definir os projetos que são desenvolvidos a partir dos requisitos climáticos locais. Ao considerar tais requisitos, sugere-se que a construção deve ser projetada segundo os princípios da arquitetura vernacular de modo a adaptar a construção ao ambiente e aproveitar as condições favoráveis, evitando as desfavoráveis. O maior princípio da arquitetura bioclimática é o de conforto ambiental.

Diversas estratégias bioclimáticas podem ser percebidas durante a história das civilizações. Desde simples soluções como a instalação de toldos para sombreamento

até sistemas complexos de aquecimento. No norte da China, por exemplo, onde o clima é desértico, foram construídas edificações subterrâneas (RUDOFISKY, 1964), pois a massa térmica do solo permite que haja um significativo atraso térmico no fluxo de calor. Dessa forma, evita-se de maneira natural o superaquecimento durante o dia e o resfriamento durante a noite.

Conforto ambiental é caracterizado pela ausência de incômodo em relação ao ambiente ao realizar atividades (CORBELLA e YANNAS, 2003). O conforto ambiental engloba diversas variáveis, como térmicas, visuais, acústicas e antropométricas. Para o estudo de projetos bioclimáticos, consideram-se principalmente o conforto térmico e visual.

A neutralidade do corpo ao ambiente, em relação ao conforto térmico, ocorre quando o fluxo de perda de calor corporal mantém-se no nível ótimo. Esse nível, no entanto, é variável para cada pessoa, uma vez que cada organismo se ajusta às condições a que está submetido em maior parte do tempo (SZOKOLAY, 1980). Segundo Givoni (1998), de maneira geral, pessoas que habitam locais com climas mais quentes, tendem a preferir temperaturas maiores. O contrário também é válido, habitantes de ambientes com climas frios preferem temperaturas mais baixas.

O conforto visual por sua vez, refere-se à iluminação adequada para as diferentes atividades, que permita ao homem desenvolver as tarefas visuais com precisão, sem esforço e risco (LAMBERTS et al., 2014). Além do conforto, uma baixa iluminação pode causar fadiga visual e queda de rendimento (COUTO, 2007), por isso sua importância no desenvolvimento de projetos bioclimáticos.

Existem diversos métodos de análise de dados climáticos que auxiliam a definir estratégias adequadas a cada localidade. A análise deste trabalho foi feita pelo *software* Climate Consultant versão 6.0 desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA). Como resultado final de um projeto, o programa fornece, em porcentagem, o valor da eficiência da aplicação das estratégias bioclimáticas explicitadas nos subcapítulos a seguir.

2.1.1 Sombreamento

Sombreamento é uma estratégia bioclimática utilizada para controlar a entrada de energia solar por meio do envelope da edificação. Através do estudo da geometria solar do local de implantação, torna-se possível definir a orientação da edificação e

quais proteções são necessárias às suas fachadas garantindo assim ganhos solares nos dias mais frios e possibilitando o uso da luz solar como iluminação natural (BITTENCOURT, 1988).

Entre alguns exemplos de aplicação dessa técnica, podem-se citar brises, pérgulas, cobogós e até mesmo vegetação.

2.1.2 Inércia térmica

Inércia térmica é a propriedade que um material tem de absorver, armazenar ou liberar calor. Em eficiência energética, uma edificação com alta taxa de inércia térmica possibilita um atraso térmico no fluxo de calor causando diferenças entre a temperatura interna da edificação em relação ao ambiente externo, ou seja, equilibra extremos de calor ou frio (PROUSSARD et al., 2003).

A inércia térmica ocorre em função das propriedades dos materiais empregados no tipo de piso, na cobertura, nas paredes (WATSON e LABS, 1983). Como exemplos para aplicação dessa técnica podem-se citar: edificações semienterradas, parede verde e teto jardim.

2.1.3 Inércia térmica e ventilação noturna

Ao permitir que o ar noturno, comumente mais frio, circule pela edificação, torna-se possível perder o calor absorvido pela estrutura durante o dia. Estratégia indicada para localidades com climas secos com uma diferença em temperaturas diurnas de 11 °C e onde as temperaturas noturnas caem pelo menos 5,5 °C abaixo da temperatura desejada interna (2030 PALETTE, 2013). Assim, o espaço vai permanecer confortável durante o dia seguinte sem o uso de meios artificiais.

2.1.4 Resfriamento evaporativo direto

Resfriamento evaporativo é a retirada de calor de um ambiente através do processo de evaporação da água e pode ser direto ou indireto. O resfriamento evaporativo direto corresponde a adicionar uma quantidade correta de água em concordância com o sistema de ventilação de modo a alcançar resfriamento, umidade ou melhoria da qualidade do ar do ambiente (PROJETEEE, 2018).

2.1.5 Resfriamento evaporativo duplo-estágio

O processo de resfriamento duplo-estágio é similar à refrigeração realizada por ar condicionado onde o calor é transferido de uma corrente de ar primária para uma corrente de ar secundária (HOME ENERGY, 2018). No primeiro estágio, ar quente percorre o trocador de calor que é resfriado por um evaporador externo enquanto no segundo estágio, a mesma corrente de ar passa por uma lâmina molhada onde ocorre um resfriamento extra e o ar adquire mais umidade (ENERGY SAVER, 2018).

Esse tipo de estratégia é mais eficiente em regiões com baixos níveis de umidade e verões não rigorosos e, em média, usam menos de 10% de energia elétrica que um aparelho de ar condicionado (HOME ENERGY, 2018).

2.1.6 Resfriamento por ventilação natural

O resfriamento por ventilação natural em edificações pode ser por efeito de chaminé ou por ventilação cruzada. O resfriamento por efeito de chaminé consiste em formar correntes de convecção através do movimento do ar frio e ar quente. O resfriamento por ventilação cruzada ocorre em função das diferenças de pressão que o vento exerce nas aberturas da edificação, favorecendo a remoção do calor e contribuindo para a melhoria da sensação térmica dos ocupantes do ambiente (PROJETEEE, 2018).

2.1.7 Resfriamento por ventilação artificial

Utilização de sistemas mecânicos para aumentar a circulação de ar de um ambiente. Pode ser realizada por ventiladores de teto, sistemas de pressão, sistemas de vácuo ou por exaustores (DESIGNING BUILDINGS, 2018).

2.1.8 Ganho de calor interno

Ganho de calor interno corresponde à produção de energia térmica por elementos localizados dentro do ambiente que emitem calor tais como iluminação, aparelhos eletrônicos e até mesmo pessoas (ENERGY MODELS, 2018). Assim, cuidados no projeto de iluminação artificial e previsão dos tipos de uso de um espaço

se fazem necessários para que o calor gerado por essas máquinas não sobreaqueça um ambiente. O nível de ganho de calor interno depende das características do envelope da edificação.

2.1.9 Aquecimento solar passivo direto com baixa inércia térmica

O aquecimento solar passivo direto é uma estratégia baseada no uso de radiação solar para o aquecimento ambiental da edificação (PROJETEEE, 2018). No aquecimento solar direto, a radiação solar é permitida diretamente no ambiente através das aberturas da edificação e então refletida pelas superfícies envidraçadas internas fazendo com que o calor permaneça no interior do ambiente (DEKAY E BROWN, 2004).

2.1.10 Aquecimento solar passivo direto com alta inércia térmica

Em edificações construídas com materiais de alta inércia térmica, o aquecimento solar passivo direto contribui para que esses elementos preservem o calor absorvido liberando-o lentamente para o ambiente. No verão, esses elementos devem ser protegidos da exposição solar (PROUSSARD et al., 2003).

2.1.11 Proteção contra o vento

Elementos usados para diminuir a intensidade do vento em determinadas regiões. Como aplicação dessa estratégia citam-se brises e vegetação.

2.1.12 Umidificação

Uso de métodos, em ambientes secos, para manter a umidade relativa do ar de um ambiente em níveis adequados para os seus ocupantes. Essa estratégia é obtida permitindo circulação de ar passante por uma superfície de água seja de forma natural ou mecânica. Entre os métodos de aplicação dessa estratégia, citam-se a presença de vegetação próxima, filtros e incorporação de elementos vazados na estrutura que tenham contato com água (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2014).

2.1.13 Desumidificação

Uso de técnicas, em ambientes com alto índice de umidade, para manter a umidade relativa do ar de um ambiente em níveis adequados para os seus ocupantes. Essa estratégia pode ser obtida indiretamente a partir da aplicação de outras estratégias bioclimáticas ou através da utilização de equipamentos e saís (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2014).

2.1.14 Resfriamento e aquecimento artificial

Em alguns climas, não é possível atingir conforto térmico apenas com o emprego de estratégias bioclimáticas. Nessas situações, faz-se necessário o uso de aparelhos de condicionamento de ar desde que estratégias bioclimáticas sejam empregadas para minimizar o uso dos mesmos.

2.2 CLIMATE CONSULTANT

Climate Consultant versão 6.0 é um *software* desenvolvido pelo *Energy Group Design* da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA). O programa funciona a partir da leitura de arquivos no formato EPW (*Energy Plus Website*) para as informações climáticas locais das 8760 horas anuais de diversas estações meteorológicas pelo mundo (ENERGY DESIGN TOOLS, 2018).

Os dados das estações meteorológicas estão disponíveis gratuitamente para *download* na plataforma *online* da Energy Plus. Esses dados disponibilizados estão em conformidade com as normas climatológicas de cada país. Entretanto o *software* também aceita dados de estações meteorológicas externos ao banco de dados da Energy Plus, desde que os mesmos estejam compilados em arquivos com formato compatível ao Climate Consultant (ENERGY PLUS, 2018).

Ao interpretar os dados de uma estação meteorológica, o programa fornece gráficos de diferentes fatores climáticos e sugere estratégias de construção devidamente apropriadas para o clima daquela localização. A intenção do *software* é proporcionar que seus usuários sejam capazes de projetar edificações mais eficientes energeticamente e mais sustentáveis (ENERGY DESIGN TOOLS, 2018).

O *software* permite que o usuário escolha qual modelo de conforto a ser seguido. Por se tratar de um programa criado na Califórnia, sugere-se a utilização das regulamentações da ASHRAE ou do Código de Energia da Califórnia como modelos de conforto térmico a serem adotados (ENERGY DESIGN TOOLS, 2018). Além disso, é possível que o usuário altere os valores de temperatura indicativas de conforto térmico de modo a conciliar as características da edificação com o seu uso e aos seus ocupantes.

Como resultado de um projeto, o Climate Consultant versão 6.0 apresenta uma lista com 15 estratégias bioclimáticas e a sua respectiva capacidade, em porcentagem, de gerar horas de conforto térmico dentro do período de um ano. Além disso, o *software* sugere uma lista com 20 orientações de projeto que envolvem desde indicações de design a indicações de materiais a ser utilizados (MILNE et al., 2007).

A aplicabilidade do programa depende dos dados climáticos usados de entrada. Ao inserir dados climáticos de estações meteorológicas localizadas dentro do perímetro urbano, torna-se possível encontrar quais estratégias bioclimáticas são mais eficientes para uma determinada região.

2.3 CLIMA

O estudo do clima é essencial para a elaboração de projetos que permitam o conforto dos usuários. Segundo a definição do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), clima é a condição média do tempo de uma região. Portanto, é o resultado das ações das variáveis climáticas e como elas se relacionam. As variáveis climáticas mais importantes para este trabalho e suas definições são expostas a seguir.

2.3.1 Radiação solar

O sol é um dos principais elementos no estudo de eficiência energética em edificações já que ele funciona como fonte primária de calor – regulando a temperatura em todo o planeta – e de iluminação. A intensidade da radiação solar varia em função da latitude e da época do ano (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Como a Terra percorre uma trajetória elíptica ao redor do sol em um plano inclinado de $23^{\circ} 27'$ em relação ao plano da linha do equador, este ângulo define a posição dos trópicos e faz com que os dois hemisférios terrestres recebam níveis de radiação solar diferentes ao longo do ano (LAMBERTS et al., 2014). Assim, a intensidade da radiação solar que chega à superfície da Terra depende basicamente de três fatores: lei de cosseno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia (KOENIGSBERGER et al., 1977).

A lei de cosseno, também conhecida como lei de emissão de Lambert, determina que a quantidade de energia incidente em uma superfície inclinada deve ser igual à energia incidente na superfície normal a esta multiplicada pelo cosseno do ângulo de inclinação entre as superfícies (DANTAS et al., 2009). Esta lei explica porque existe variação nas quantidades de energia interceptadas em diferentes latitudes da superfície do planeta.

Conforme os raios solares atravessam a atmosfera terrestre, a intensidade da radiação é reduzida por absorção de diversos componentes do ar como ozônio, vapores d'água e dióxido de carbono (OLGYAY, 1973). Assim quanto menor for a altura solar, maior o caminho que a radiação precisa percorrer, aumentando o grau de dispersão atmosférica e diminuindo a carga de radiação solar que chega até a superfície terrestre (LAMBERTS et al., 2014).

A parcela de calor que de fato atinge a superfície é então absorvida ou refletida de volta para atmosfera de acordo com as propriedades do material da superfície, da cor e do ângulo de incidência (ROMERO, 2000). Essa fração de energia refletida em relação ao total de energia incidente é chamada de albedo (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

2.3.2 Temperatura

A temperatura do ar é uma variável climática resultante dos processos indiretos de aquecimento e resfriamento da Terra tais como evaporação, convecção, condução e emissão de radiação de ondas longas (BARBIRATO et al., 2007).

Quando a velocidade dos fluxos de massas de ar é relativamente baixa, a influência de elementos locais na temperatura como vegetação, topografia e altitude é muito maior do que em condições de alta velocidade (LAMBERTS et al., 2014).

O tratamento de dados de temperatura é de extrema importância para o desenvolvimento de projetos, pois permite ao seu projetista identificar períodos de desconforto térmico. Essas informações podem ser identificadas através do TRY - *test reference year* – um método de pesquisa destinado a identificar qual ano melhor representa o comportamento climático da área de interesse dentro de um intervalo de 10 anos consecutivos (GOULART et al., 1997).

2.3.3 Umidade

A umidade do ar é definida como o peso do vapor de água presente em uma unidade de volume de ar a uma determinada temperatura. A umidade é consequência dos processos de evaporação da água e da evapotranspiração dos vegetais (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Entende-se que o ar está saturado quando a quantidade de água evaporada é a maior possível para uma determinada temperatura. Nessa situação, qualquer carga extra de água se condensará no formato de chuva, névoa ou orvalho (LAMBERTS et al., 2014).

2.3.4 Vento

O regime de ventos é produto direto das variações da pressão atmosférica causadas pelo aquecimento e esfriamento das terras e mares, pelas diferenças de temperatura no planeta e pela rotação da Terra (FROTA E SCHIFFER, 2003). Chama-se pressão atmosférica a pressão exercida sobre a superfície terrestre pelas massas de ar (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A diferença de pressão ou de temperatura, gera um fluxo de ar que se desloca de um ponto mais frio para um ponto mais quente, ou seja, de uma área de maior pressão para uma área de menor pressão (BARBIRATO et al., 2007).

Em cada hemisfério existem cintos de alta e baixa pressão atmosférica e esses cintos podem ser permanentes ou cíclicos. A região equatorial é a principal zona permanente de baixa pressão enquanto as regiões polares são zonas permanentes de alta pressão. O deslocamento dos cintos de alta pressão ao longo da dinâmica

verão-inverno formam três cintos globais de vento: os polares, os de oeste e os alísios (FROTA e SCHIFFER, 2003).

Em uma escala local, os ventos sofrem influência dos diferentes tipos de revestimento de solo, do tipo de vegetação, da topografia e do próprio modelo de desenho urbano (LAMBERTS et al., 2014).

2.4 CLIMA URBANO

Estudos relacionados ao clima urbano indicam que as mudanças climáticas locais são diretamente associadas a forma como o espaço é ocupado. Elementos como morfologia da área urbana, calor gerado pelas atividades humanas e propriedades térmicas dos materiais utilizados na superfície são fatores responsáveis pela formação das ilhas de calor (FROTA e SCHIFFER, 2003). No entanto, o nível de impacto no comportamento climático local de cada um desses elementos pode variar em função de outras características particulares daquela cidade como as condições de entorno, das condições de topografia, do tipo de clima naquela região e do próprio tamanho da área urbana.

Tradicionalmente, o termo ilha de calor é identificado como sendo o aumento das temperaturas médias nas zonas mais centrais do perímetro urbano em comparação a temperaturas mais baixas nas áreas mais periféricas ou rurais da cidade (SANTAMOURIS, 2006).

A diferença entre as temperaturas urbanas e não-urbanas afetam não somente o microclima como também influencia no consumo de energia, nas condições de habitabilidade de uma cidade e na saúde e qualidade de vida dos seus moradores (KALOUSTIAN e BECHTEL, 2016).

Entender esses mecanismos que regem o comportamento climático local é essencial para o desenvolvimento de projetos que visem maior eficiência energética.

2.4.1 Zonas climáticas locais

O conceito de zonas climáticas locais, segundo seus criadores Iain Stewart e Tim Oke (2012), foi desenvolvido com a intenção de padronizar pesquisas relacionadas a climas urbanos. De acordo com os autores o objetivo dessa

classificação é criar uma categoria que seja de fato representativa das características climáticas de um espaço urbano em uma escala local.

Zonas climáticas locais (LCZs) são definidas como regiões com características uniformes de cobertura de superfície, estrutura, material de superfície e atividade humana em um raio que pode variar de quatrocentos metros a vários quilômetros em uma escala horizontal (STEWART e OKE, 2012).

O sistema que Stewart e Oke (2012) criaram consiste em dividir regiões com diferentes morfologias em até 17 diferentes categorias. Cada categoria é única por ser uma combinação da estrutura da superfície (edifícios/altura da árvore e espaçamento), cobertura (taxa de permeabilidade), configuração (albedo, entradas de calor) e metabolismo (fluxo de calor antropogênico). As 17 zonas climáticas locais pré-estabelecidas estão dispostas no Quadro 1.

1. Compacto e altura elevada



Alta concentração de edifícios com mais de dez pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: concreto, vidro, aço e pedra.

2. Compacto e altura mediana



Concentração alta de edifícios de três a nove pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: pedra, tijolo e concreto.

3. Compacto e altura baixa



Concentração alta de edifícios de um a três pavimentos. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: pedra, tijolo e concreto.

4. Aberto e altura elevada



Boa distribuição de edifícios com mais de dez pavimentos. Boa permeabilidade (árvores espalhadas). Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.

5. Aberto e altura mediana



Boa distribuição de edifícios de três a nove pavimentos. Boa permeabilidade (árvores espalhadas). Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.

6. Aberto e altura baixa



Boa distribuição de edifícios de um a três pavimentos. Boa permeabilidade (árvores espalhadas). Materiais de construção: madeira, tijolo, pedra e concreto.

7. Leve e baixa altura



Concentração alta de edificações de um pavimento. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria de chão de terra. Materiais de construção: palha, madeira e chapas onduladas.

8. Largos e baixa altura



Boa distribuição de edifícios largos de um a três pavimentos. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno em sua maioria pavimentado. Materiais de construção: aço, concreto, chapas e pedra.

9. Pouco construído



Pouquíssimas construções de nível pequeno ou médio em um ambiente natural. Muita área permeável.

10. Industrial



Estruturas de altura baixa e média. Pouca ou nenhuma árvore. Terreno pavimentado ou de chão de terra. Materiais de construção: metal, aço e concreto.

A. Concentração de árvores



Terreno completamente coberto com árvores. Terreno em sua grande maioria permeável. A zona é uma floresta natural ou um parque urbano.

B. Árvores espalhadas



Terreno levemente coberto com árvores. Terreno em sua grande maioria permeável. A zona é uma floresta natural ou um parque urbano.

C. Arbustos e mato



Distribuição muito espaçada de arbustos, mato e pequenas árvores. Terreno em sua grande maioria permeável. A zona é uma área destinada a agricultura ou matagal.

D. Vegetação baixa



Terreno coberto por grama. Pouca ou nenhuma árvore. A zona representa um gramado, um parque urbano ou uma área de agricultura.

E. Pedra bruta ou pavimento



Terreno coberto de pedras ou é pavimentado. Pouca ou nenhuma árvore. A função da zona é um deserto de pedras ou transporte urbano.

F. Areia ou terra bruta



Terreno natural ou coberto de areia. Pouca ou nenhuma árvore. A zona é um deserto natural ou uma área de agricultura.

G. Água



Grandes, abertos corpos de água como mares e lagos ou pequenos corpos de água tais como rios, represas e lagoas.

Quadro 1 - Definições das zonas climáticas locais

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

As zonas climáticas locais identificadas pelos números de um a dez representam os tipos de construções que compõem uma determinada região enquanto as zonas climáticas locais identificadas pelas letras de A a G representam os vários tipos de cobertura vegetal ou processos associados a corpos d'água em uma região (STEWART e OKE, 2012).

Conforme Stewart e Oke (2012), essa classificação ainda considera a ocorrência de variáveis temporárias que têm influência significativa no comportamento climático local. As variáveis consideradas são neve (representada pela letra s), árvores que perdem suas folhas em determinados períodos do ano (representadas pela letra b), solos áridos (representados pela letra d) e solos que podem sofrer alagamentos (representados pela letra w).

As categorias de classificação nesse sistema são dinâmicas, ou seja, elas podem ter as suas características misturadas de modo a serem mais representativas da realidade dos espaços urbanos. Um exemplo seria uma zona climática local 3_{4s}, o que significaria uma região urbana compacta composta em sua maioria de edifícios com poucos pavimentos com alguns prédios de altura elevada e com alguma incidência de neve ao longo do ano (STEWART e OKE, 2012).

Para este trabalho foi fundamental a escolha de um local de estudo em que tivesse suas LCZ definidas. Por isso, a cidade de Londres na Inglaterra foi escolhida. A caracterização da capital inglesa em relação à sua urbanização e condições climáticas apresenta-se a seguir.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A cidade de Londres, Inglaterra foi fundada pelos romanos no ano 47 d.C. para se tornar o centro da colônia que estava sendo estabelecida pelo Império Romano na ilha da Grã-Bretanha sob o nome de Londinium. A região então foi posteriormente invadida pelos povos saxões, pelos vikings dinamarqueses, pelos celtas e pelos normandos (WEBB, 2011).

Á área de Londres foi constantemente disputada por esses povos até o começo do século XI quando os normandos iniciaram um processo vitorioso de conquista da região e começaram a desenvolver de fato a cidade de Londres a partir de antigos elementos romanos (INWOOD, 1998). Os normandos também construíram diversas estruturas de defesa, entre elas a famosa Torre de Londres, hoje tombada como patrimônio histórico da humanidade pela UNESCO.

Pelos próximos séculos, várias dinastias de monarcas assumiram o poder enquanto Londres se tornava um centro comercial cada vez mais importante. Em 1665, a população londrina sofreu com a peste bubônica que matou mais de 80.000

peças, cerca de 20% da população na época. Logo em seguida, em 1666, Londres sofreu com um incêndio que destruiu 80% da cidade (BRAGG, 2018).

A reconstrução da cidade, base da área hoje conhecida como *City*, seguiu princípios de urbanização e foi liderada pelo famoso arquiteto Christopher Wren, homem também responsável pelo projeto de símbolos famosos da capital britânica como a Catedral de São Paulo, o Palácio de Kensington, entre outros (REDDAWAY, 1940).

Nos séculos XVIII e século XIX, impulsionada pela Revolução Industrial, a população de Londres cresceu drasticamente e ultrapassou a marca histórica de um milhão de habitantes. Ao passo que a metrópole crescia e surgia construções imponentes como o Palácio de Westminster e a Ponte da Torre, a população sofria com sérios problemas de saúde pública agravados pela poluição do ar e das condições do rio Tâmisa (WHITE, 2009).

Assim surgiram diversos projetos de infraestrutura urbana para Londres, que visavam melhorar as condições de saúde e ao mesmo tempo permitir o crescimento da cidade. A criação do metrô possibilitou que a população ocupasse áreas mais periféricas de Londres (MARRON INSTITUTE, 2012).

O crescimento da cidade atingiu o seu ápice em 1940 quando atingiu a marca de 8,5 milhões de habitantes. Entretanto os bombardeamentos alemães durante a Segunda Guerra Mundial destruíram partes da cidade e inverteram esse ciclo contínuo de crescimento (ROUMPANI e HUDSON, 2014).

A reconstrução após a guerra foi estabelecida através de um projeto de construção de oito novas cidades em torno da Londres assim como a construção de um cinturão verde em volta da capital britânica (WATTS, 2015).

Entretanto, os problemas de poluição continuaram e se agravaram em 1952, quando aconteceu o Grande Nevoeiro de Londres, um severo período de poluição atmosférica que matou mais de 12.000 pessoas além de ter deixado mais de 100.000 londrinos doentes. Esse incidente gerou a criação de *Clean Air Act*, medida governamental para reduzir a poluição no país (BELL et al., 2004).

Após 1950 houve uma série de investimentos para retirar as pessoas que moravam em favelas através da construção de casas e apartamentos populares, além da melhoria nos serviços de infraestrutura. Planejamento urbano começou a ser mais aceito junto a uma política de incentivo ao crescimento de áreas afastadas de Londres.

Como resultado a população despencou quase dois milhões de habitantes entre 1951 e 1961 (WATTS, 2015).

A produção industrial, que ficou prejudicada durante a guerra, teve dificuldade de recuperar a sua força principalmente pela forte concorrência com outros países europeus. Assim a economia de Londres ficou centrada em transações financeiras e ao setor de serviços, mudando novamente a arquitetura da cidade, agora dedicada a construção de complexos de escritórios modernos e focada nas melhorias nos sistemas de transporte (WATTS, 2015).

Ao contrário de outras cidades milenares como Atenas ou Roma, onde existe um padrão de construção característico de cada período histórico em cada área da cidade, Londres hoje é um quebra-cabeça misturado com construções de diversas épocas espalhadas no meio de uma cidade contemporânea (ROUMPANI e HUDSON, 2014).

Atualmente a cidade de Londres é a maior cidade da Inglaterra e do Reino Unido com uma população de 8,4 milhões de habitantes (ONS, 2011). Conforme a classificação proposta pelo GaWC, Londres recebe junto com Nova Iorque o ranque de cidade alfa ++, o que significa que a cidade é um dos maiores centros financeiros do mundo, além de ter influência em nível global em áreas como artes, educação, comportamento e política (GWAC, 2014).

Conforme a classificação de Köppen-Geiger, a cidade possui um clima temperado oceânico. Londres está localizada na latitude 51°30'28" e longitude 0°7'41" W (MET OFFICE, 2018).

Existem registros climáticos a respeito do clima de Londres desde 1659, os quais revelam um padrão cíclico de invernos rigorosos a cada 30 anos em média ao longo do século XVII e XVIII. Tais ciclos foram interrompidos e desde 1919 é possível notar aumentos na temperatura média da cidade. Existe uma diferença de até 5 °C em diferentes pontos da cidade na mesma época do ano (BOHNENSTENGEL et al., 2011).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de trabalho, apresentada a seguir, foi elaborada com o propósito de gerar estratégias bioclimáticas em diferentes zonas climáticas locais da cidade de Londres, através do uso de dados de estações meteorológicas alternativas.

3.1 LOCAL DE ESTUDO

A escolha da cidade de Londres, Inglaterra é justificada pela disponibilidade de uma grande quantidade de dados de estações meteorológicas, assim como a existência prévia de um mapa com as LCZs propostas por Stewart e Oke. Também, a metrópole inglesa apresenta um bom histórico de estudos climáticos. Desde 1820 há análises realizadas por Luke Howard, que permitiram a identificação de ilhas de calor na cidade (KOLOKOTRONI et al., 2006).

A classificação das zonas climáticas locais de Londres utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida por Geletic (2016) através de uma metodologia que usa sistema de informação geográfica conciliando análise de imagens de satélites com parâmetros de geometria e calor derivados das LCZs propostas por Stewart e Oke (GELETIC e LEHNERT, 2016).

O mapa de zonas climáticas locais empregado é apresentado na Figura 1. Observa-se que na região central, onde estão localizadas a torre Big Ben e a Ponte de Londres, são predominantes edificações mais concentradas e altas, classificando-se como LCZ 1 e 2. Ao redor da zona central, nota-se uma melhor distribuição de edifícios, com maiores espaçamentos e alturas mais baixas, caracterizando a LCZ 5, proposta por Stewart e Oke. Por fim, nas regiões periféricas predominam-se a LCZ 9, apresentando construções de nível pequeno e maior permeabilidade.

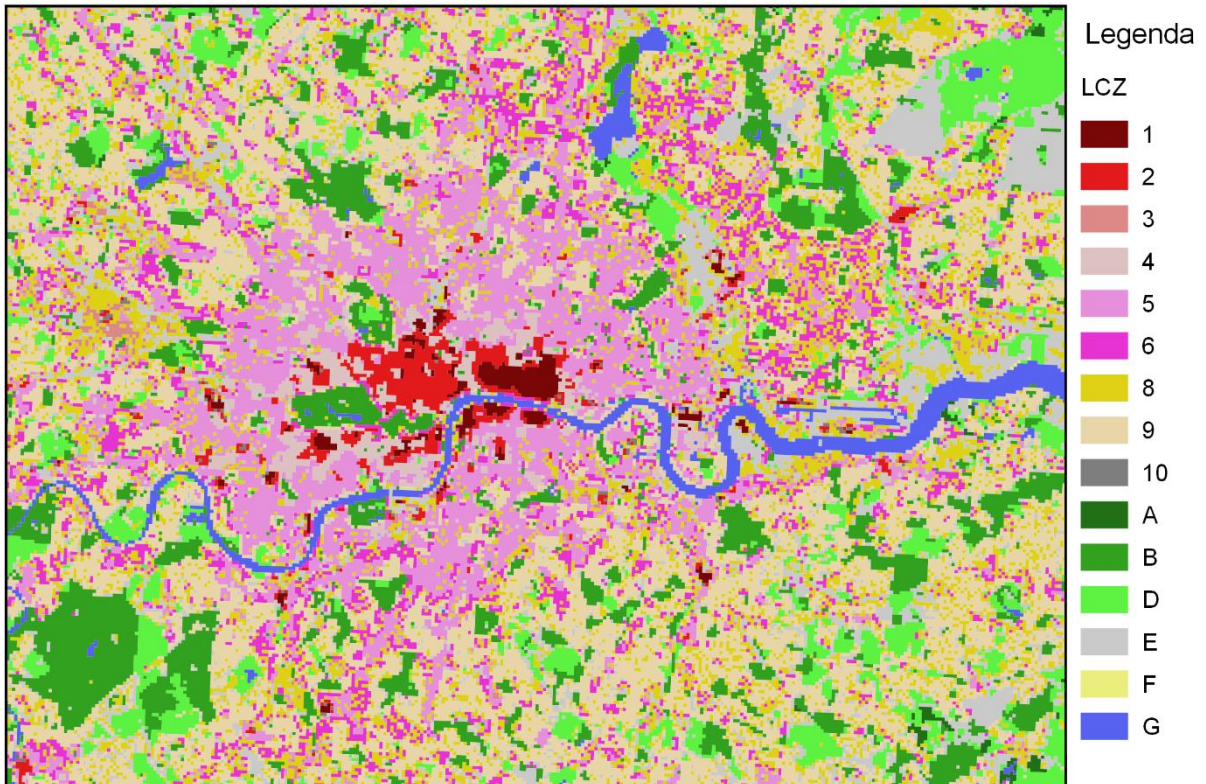


Figura 1 - Mapa de zonas climáticas locais de Londres, Inglaterra

Fonte: Geletic (2016).

A porcentagem de área que corresponde à cada zona climática é apresentada na tabela 1. Nota-se que as regiões centrais, caracterizadas pela LCZ 1 e 2, ocupam apenas 2,1% do mapa. Em torno dessa região, destaca-se a presença de LCZs 5 e 6, envolvendo 19,5% da área total. Por fim, as LCZs 8 e 9 estende-se em 41% da área e localizam-se principalmente nas regiões periféricas.

Tabela 1 - Área de ocupação das zonas climáticas locais

LCZ	Área (km²)	%
1	6,0	0,7
2	12,7	1,5
3	5,4	0,6
4	14,6	1,7
5	96,6	11,0
6	73,7	8,4
7	0,0	0,0
8	140,0	16,0
9	219,1	25,1
10	1,9	0,2
A	5,1	0,6
B	94,6	10,8
C	0,0	0,0
D	82,6	9,4
E	100,6	11,5
F	0,4	0,0
G	21,2	2,4

Fonte: os autores (2018).

Em relação às zonas climáticas locais de cobertura natural, verifica-se principalmente a presença de parques em todo mapa, representando as LCZs A, B e D, e do rio Tâmis que atravessa a cidade, LCZ G. No presente trabalho foram consideradas as LCZs onde há ocupação antropogênica, pois são estas as zonas de interesse para estudar o clima urbano.

3.2 DADOS CLIMÁTICOS

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados climáticos provenientes da plataforma Weather Underground (WUNDERGROUND, 2018), um serviço digital que reúne informações de estações meteorológicas de diversas localidades. O Weather Underground contempla dados de estações oficiais e pessoais, o que aumenta a rede de cobertura e permite uma análise climática em menor escala.

Com o objetivo de obter maior regularidade nos dados coletados, e possibilitar a posterior comparação entre resultados, foi estabelecido que as estações meteorológicas poderiam ser selecionadas caso seguissem os critérios:

- a) A estação meteorológica possuir, no mínimo, um ano completo de dados;
- b) A estação meteorológica apresentar dados das variáveis: temperatura de bulbo seco; ponto de orvalho; umidade relativa e pressão atmosférica;
- c) Os dados fornecidos não apresentarem inconsistências notáveis.

Com a adoção destes critérios grande parte das estações existentes na plataforma foram descartadas. Assim, dentre as estações possíveis, escolheu-se as estações conforme sua localização e seguindo dois transectos. O primeiro transecto atravessa a cidade no sentido leste-oeste e o segundo no sentido norte-sul.

O ideal seria que as estações possuíssem dados suficientes para a caracterização do ano típico (TRY), porém, para o objetivo de comparar diferentes LCZs, analisar um ano completo é satisfatório, desde que se utilize o mesmo ano para todas as estações. Optou-se pelo ciclo anual de setembro de 2017 até agosto de 2018, devido a muitas estações serem recentes.

O Weather Underground abrange uma rede de estações pessoais, isto é, adquiridas por qualquer pessoa, assim, frequentemente há falta de dados, seja por falha de conexão à internet, manutenção ou má configuração. Desta forma, foi necessário adaptar o estudo aos dados disponíveis.

As estações utilizadas neste estudo não possuem dados contínuos das 8760 horas do ano selecionado. Para possibilitar comparações das informações climáticas, apurou-se as horas comuns à todas as estações dos transectos. Para não reduzir muito o número de horas comuns, fez-se esta seleção por transectos de forma que os transectos entre si não são compatíveis no que se refere ao banco de dados.

3.3 GERAÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Em relação à análise dos dados, utilizou-se o *software* Climate Consultant 6.0. As entradas consideradas para aplicação do programa a edificação do tipo residencial e o modelo de conforto proposto pelo Manual de Fundamentos ASHRAE em 2005. Desenvolvido pela ASHRAE, nos Estados Unidos, o modelo considera que a temperatura ambientalmente confortável está entre 20 °C e 23,3 °C à umidade relativa

de 50%. Portanto, se a umidade aumentar, a temperatura confortável diminui, uma vez que a umidade mais alta dificulta a evapotranspiração, essencial para manutenção corporal de temperatura (LAMBERTS, 2005). Este modelo foi escolhido por ser mais restrito, considerando maior número de variáveis, como as vestimentas das pessoas no inverno e verão. Desta forma, apresentando mais resultados de estratégias de projeto.

Para utilizar os dados climáticos obtidos pelo Weather Underground é necessário adaptar estes dados para o formato EPW, exigido pelo Climate Consultant. Desta forma, se utilizou como base os dados oficiais de Londres, obtida online pelo Energy Plus. A estação de Londres localiza-se no Aeroporto Gatwick, a aproximadamente 45 quilômetros distante do centro da cidade.

O uso do arquivo climático de Londres como base fez-se necessário pois não são todas as variáveis que o Climate Consultant manipula que estão disponíveis nas estações pessoais do Weather Underground. Informações solares, como radiação e luminosidade, e informações de nebulosidade não constam nos dados históricos da plataforma. Portanto, julgou-se adequado aproveitar estes dados do banco oficial, de forma que a análise de dados não seja afetada. Destaca-se que os recursos utilizados para geração de estratégias adotados não usam estas variáveis diretamente.

A conversão de informações climáticas em formato EPW através da base de dados oficiais consiste em atualizar os valores de cada variável climática. Para esta atualização utilizou-se o programa Elements, plataforma que gera e modifica arquivos EPW. Além disso a plataforma calcula a temperatura de bulbo úmido a partir da temperatura de bulbo seco, pressão atmosférica e umidade relativa. Assim, obtém-se um banco de dados para cada estação meteorológica. Finalmente, para a geração de estratégias climáticas será considerada a carta psicrométrica.

3.3.1. Carta psicrométrica

Um dos recursos mais avançados que o Climate Consultant 6.0 fornece é a carta psicrométrica. A carta relaciona variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa, que são representadas graficamente para as 8760 horas do ano. Além disso, o *software* analisa a carta, apresentando quantitativamente a efetividade de aplicação de diferentes estratégias de projeto. Isto é, quantas horas do ano são necessárias cada estratégia.

Como resultado de um projeto, o *software* apresenta 16 categorias como resposta. A primeira delas corresponde ao conforto, conforme os parâmetros de conforto ASHRAE 2005, e em quantas horas ele pode ser constatado sem nenhum tipo de adaptação do ambiente. Já as outras 15 categorias correspondem a sugestões de estratégias bioclimáticas e suas respectivas porcentagens de eficiência para transformar a edificação em um ambiente confortável.

De maneira simplificada, as estratégias de projeto enumeradas de 2 a 8 e 15 se referem a estratégias de resfriamento. Enquanto as demais estão relacionadas ao aquecimento da edificação.

Um exemplo de carta psicrométrica é apresentado na figura 2. Na figura é possível observar a área do gráfico que se relaciona com a estratégia de projeto. A estratégia de sombreamento, por exemplo, é sugerida quando a temperatura ultrapassa 20 °C, enquanto quando a temperatura se mantém mais baixa, sugere-se adoção de aquecimento.

As sugestões de aplicação dessas categorias na edificação são apresentadas após a análise da carta, entretanto, para o presente trabalho, considerou-se apenas a o valor da eficiência de cada estratégia bioclimática da carta psicrométrica.

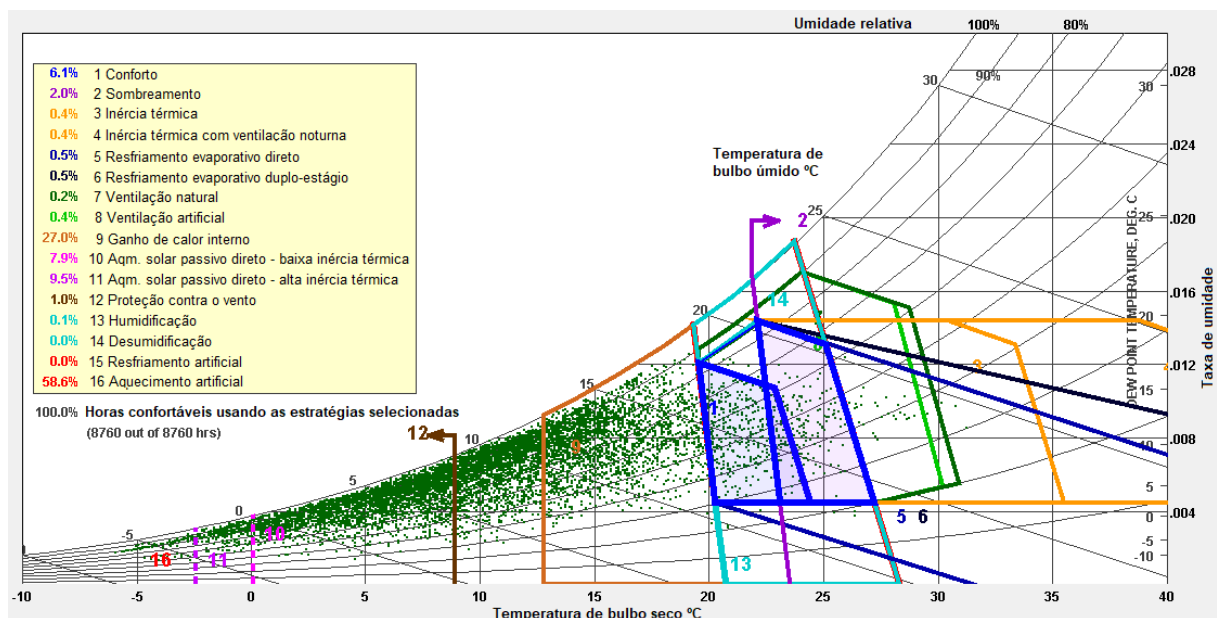


Figura 2 - Exemplo de carta psicrométrica

Fonte: Adaptado de Climate Consultant 6.0

Uma vez geradas as estratégias bioclimáticas pelo *software* Climate Consultant versão 6.0, plota-se um gráfico em barra em função das estratégias e suas respectivas

eficiências, em porcentagem, para cada estação selecionada. Assim torna-se melhor a visualização das diferenças para diretrizes de projeto.

Além da comparação entre as estratégias geradas para cada LCZ, foi efetuada comparação dos resultados com as estratégias geradas conforme a base de dados climáticos oficial da cidade de Londres, Inglaterra, representada pela normal climatológica do ano de 1991 para a estação meteorológica localizada no aeroporto Gatwick. Por fim, os dados de Gatwick foram adaptados de acordo com as horas disponíveis para cada transecto.

4 RESULTADOS

4.1 TRANSECTOS

Os transectos foram traçados a partir das estações meteorológicas com as maiores quantidades de dados disponíveis. Foram traçados dois transectos, um no sentido leste-oeste e outro no sentido norte-sul. Os transectos escolhidos estão representados na figura 3.

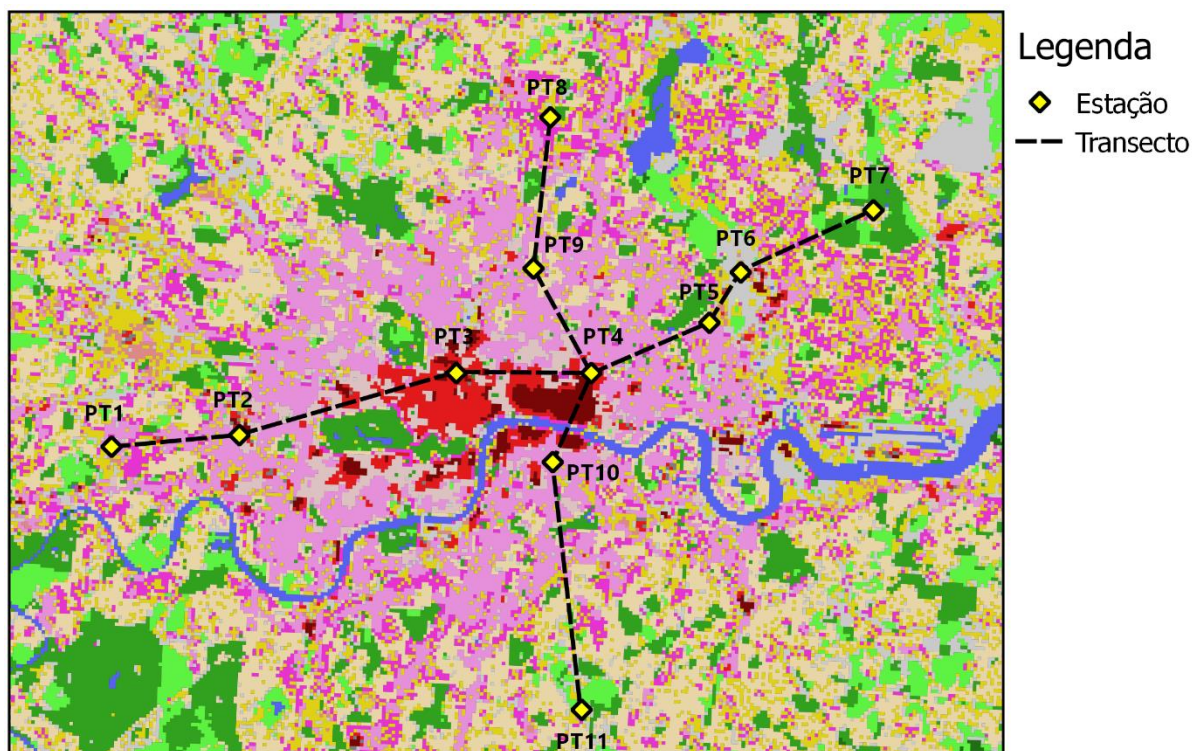


Figura 3 - Transectos sobrepostos ao mapa de zonas climáticas locais de Londres, Inglaterra

Fonte: Adaptado de Geletic (2016)

Nas tabelas 2 e 3 é possível reconhecer as estações meteorológicas escolhidas, identificadas conforme sua nomenclatura no Weather Underground, suas coordenadas geográficas em graus decimais e de qual LCZ elas são representativas.

Tabela 2 - Estações meteorológicas do transecto leste-oeste

Estação	Ponto	LCZ	Distância (km)	Latitude (°)	Longitude (°)
ILONDON1172	PT 1	6	0	51,503	-0,276
ILONDON876	PT 2	2	3,7	51,506	-0,223
ILONDON636	PT 3	2	10,2	51,522	-0,133
ILONDON1407	PT 4	4	14,1	51,522	-0,077
IENGLAND499	PT 5	8	17,8	51,535	-0,028
ILONDON579	PT 6	10	19,5	51,548	-0,015
ILONDONL22	PT 7	9	23,7	51,564	0,040

Fontes: os autores (2018)

Tabela 3 - Estações meteorológicas do transecto norte-sul

Estação	Ponto	LCZ	Distância (km)	Latitude (°)	Longitude (°)
ILONDON1334	PT 8	6	0	51,588	-0,094
ILONDON1449	PT 9	9	4,4	51,549	-0,101
ILONDON1407	PT 4	4	7,8	51,522	-0,077
ILONDON59	PT 10	5	10,6	51,499	-0,093
ILONDON553	PT 11	9	14,4	51,435	-0,081

Fonte: os autores (2018)

A coluna intitulada Distância nas tabelas 2 e 3 corresponde à distância em quilômetros entre o primeiro ponto do transecto até a estação correspondente. A estação ILONDON1407, ponto 4, é comum aos dois transectos e representa o ponto de interseção entre os mesmos.

4.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

4.2.1 Transecto leste-oeste

A partir dos dados coletados, foi feita uma tabela com a média, média máxima e média mínima de temperatura e umidade relativa para cada mês de cada estação do transecto L-O (Tabela 4). Também foi calculado a diferença entre o maior e menor valor de cada média para cada mês. Em seguida, foram gerados gráficos de umidade relativa média e temperatura mínima média para evidenciar a diferença na intensidade dessas variáveis climáticas em função das diferentes LCZs.

Tabela 4 - Temperatura e umidade relativa transecto leste-oeste

TRANSECTO LESTE-OESTE		TEMPERATURA (°C)							Diferença térmica	UMIDADE RELATIVA (%)							Diferença higrométrica
		PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7		PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	
JANEIRO	Méd. Máx	9,5	9,4	9,6	9,6	9,3	9,0	9,1	0,7	85,8	91,6	91,2	86,3	90,4	90,9	97,0	11,2
	Média	7,0	7,0	7,3	7,3	7,0	6,5	6,5	0,9	74,7	83,2	82,4	77,8	82,8	82,8	89,5	14,8
	Méd. Mín	4,4	4,8	5,3	5,3	4,7	4,3	3,8	1,5	63,7	74,7	74,0	69,5	74,6	74,5	81,8	18,2
FEVEREIRO	Méd. Máx	7,3	6,9	7,0	7,2	6,6	6,2	6,4	1,2	81,5	88,6	89,3	85,3	89,4	89,9	95,7	14,2
	Média	4,1	4,2	4,5	4,4	3,9	3,4	3,2	1,3	67,1	77,1	77,4	72,5	78,6	78,5	85,5	18,4
	Méd. Mín	0,3	1,0	1,8	1,5	0,7	0,3	-0,9	2,7	50,0	63,4	63,9	58,4	64,6	64,1	72,4	22,4
MARÇO	Méd. Máx	10,5	9,9	9,9	9,9	9,5	9,0	9,5	1,5	84,5	90,2	91,4	87,0	91,5	91,3	98,1	13,5
	Média	6,8	6,9	7,0	6,9	6,4	6,0	6,0	1,0	70,2	79,1	79,8	75,7	81,0	80,6	87,5	17,3
	Méd. Mín	3,2	3,9	4,2	4,0	3,3	3,0	1,9	2,3	52,1	65,4	66,6	62,8	67,4	66,8	74,4	22,2
ABRIL	Méd. Máx	16,9	15,5	15,8	16,0	15,0	14,8	15,5	2,1	88,9	88,1	89,9	84,2	88,6	88,9	96,6	12,4
	Média	12,3	12,3	12,3	12,4	11,7	11,4	11,4	1,0	71,9	75,5	77,5	71,7	77,8	77,7	85,2	13,5
	Méd. Mín	8,7	8,9	9,2	9,0	8,5	8,2	7,7	1,5	51,5	61,3	63,0	57,3	63,6	63,4	70,5	19,0
MAIO	Méd. Máx	23,6	21,0	21,1	21,1	19,8	19,9	20,6	3,8	90,1	84,9	86,4	80,7	87,9	87,9	97,5	16,8
	Média	16,3	16,1	15,9	15,9	15,0	14,8	14,4	1,8	64,4	67,3	69,8	63,5	71,2	70,8	80,0	16,5
	Méd. Mín	10,3	11,0	11,4	11,0	10,2	9,9	8,4	3,0	35,8	50,1	52,3	47,0	53,9	52,8	60,1	24,3
JUNHO	Méd. Máx	25,9	23,1	23,0	23,4	21,9	21,9	22,4	4,0	82,0	81,6	82,7	77,1	83,7	84,4	92,7	15,6
	Média	19,3	18,6	18,4	18,6	17,7	17,5	17,4	1,8	60,0	65,3	67,6	61,0	68,3	68,1	75,7	15,7
	Méd. Mín	13,9	14,2	14,3	14,2	13,6	13,1	12,5	1,8	36,6	49,7	51,7	46,2	52,6	51,8	57,6	21,0
JULHO	Méd. Máx	28,3	26,3	26,9	26,8	25,5	25,7	26,6	2,8	82,5	81,1	80,9	75,6	81,8	82,6	91,5	15,9
	Média	22,3	21,8	22,0	22,2	21,3	21,1	21,1	1,2	59,3	63,4	63,8	58,1	64,7	64,4	71,1	13,0
	Méd. Mín	17,6	17,7	18,1	18,1	17,3	17,0	15,9	2,2	35,1	45,7	45,6	43,1	47,3	46,5	50,6	15,6
AGOSTO	Méd. Máx	26,4	24,7	25,5	25,5	24,0	24,2	24,9	2,4	89,6	86,3	85,2	79,4	86,2	87,0	96,2	16,8
	Média	20,5	20,4	20,6	21,0	19,9	19,7	19,7	1,2	66,5	68,8	67,9	62,0	69,8	69,2	77,8	15,9
	Méd. Mín	15,2	15,8	16,4	16,6	15,6	15,2	14,2	2,4	40,6	50,4	49,3	46,5	52,2	51,1	57,1	16,4
SETEMBRO	Méd. Máx	20,2	19,0	19,4	19,4	18,2	18,2	18,7	2,0	95,5	91,6	92,3	86,4	91,5	92,0	98,0	11,6
	Média	15,5	15,4	15,7	15,8	15,0	14,7	14,6	1,2	77,3	78,0	77,4	72,9	80,1	79,2	86,5	13,7
	Méd. Mín	11,6	12,1	12,5	12,7	11,9	11,5	10,6	2,1	52,9	60,7	59,4	55,6	64,1	62,1	70,0	17,1
OUTUBRO	Méd. Máx	17,0	16,6	16,9	16,9	16,2	16,0	16,2	1,0	92,5	90,1	91,0	85,1	89,5	90,1	95,9	10,8
	Média	13,7	13,9	14,2	14,3	13,6	13,4	13,1	1,1	78,9	80,9	80,4	74,6	80,9	80,8	87,7	13,0
	Méd. Mín	10,2	10,8	11,2	11,2	10,5	10,3	9,3	2,0	62,0	68,9	68,4	62,4	69,8	69,1	76,6	14,6
NOVEMBRO	Méd. Máx	10,9	10,9	10,9	11,2	10,5	10,2	10,1	1,2	89,4	92,3	92,7	86,0	91,1	91,5	97,9	11,9
	Média	7,8	8,1	8,7	9,1	8,1	7,7	7,1	2,0	76,8	82,2	81,1	75,6	81,4	81,9	89,9	14,3
	Méd. Mín	4,2	4,8	5,9	6,3	4,9	4,5	3,0	3,2	62,2	70,9	70,9	65,3	71,4	71,8	81,0	18,8
DEZEMBRO	Méd. Máx	6,9	7,0	7,2	7,3	6,9	6,5	6,3	0,9	82,8	89,6	89,0	83,2	88,2	89,1	95,8	13,0
	Média	4,8	5,0	5,6	5,5	5,1	4,7	4,3	1,2	75,0	83,4	81,9	76,6	82,7	82,6	90,9	15,8
	Méd. Mín	2,4	2,9	3,6	3,6	3,0	2,5	1,9	1,8	67,2	76,5	75,1	69,8	76,3	75,9	85,5	18,3

Fonte: os autores (2018)

Segundo Yow e Carbone (2006), variações de temperatura maiores que $0,5^{\circ}\text{C}$ são representativas de ilhas de calor. A diferença térmica apresentada na tabela 4 é observada em todos os pontos analisados entre pelo menos 2 estações do transecto. Portanto, é notável o efeito da urbanização no transecto leste-oeste da cidade.

Para melhor visualização das variáveis climáticas, agrupou-se as temperaturas mínimas médias e umidades médias mensais de acordo com as estações do ano de Londres, Inglaterra (Figuras 4 e 5). Optou-se por representar graficamente as temperaturas mínimas médias pois segundo Arnfield (2003), a intensidade da ilha de calor é maior no período noturno, no qual normalmente atinge-se as temperaturas mínimas diárias.

Os gráficos evidenciam o aumento da temperatura na região central da metrópole em todas as estações do ano, entre os pontos 3 e 4. Também nesta região, a umidade relativa é mais baixa, justificada pela alta impermeabilização da região que é caracterizada como LCZ 2 e 4, respectivamente.

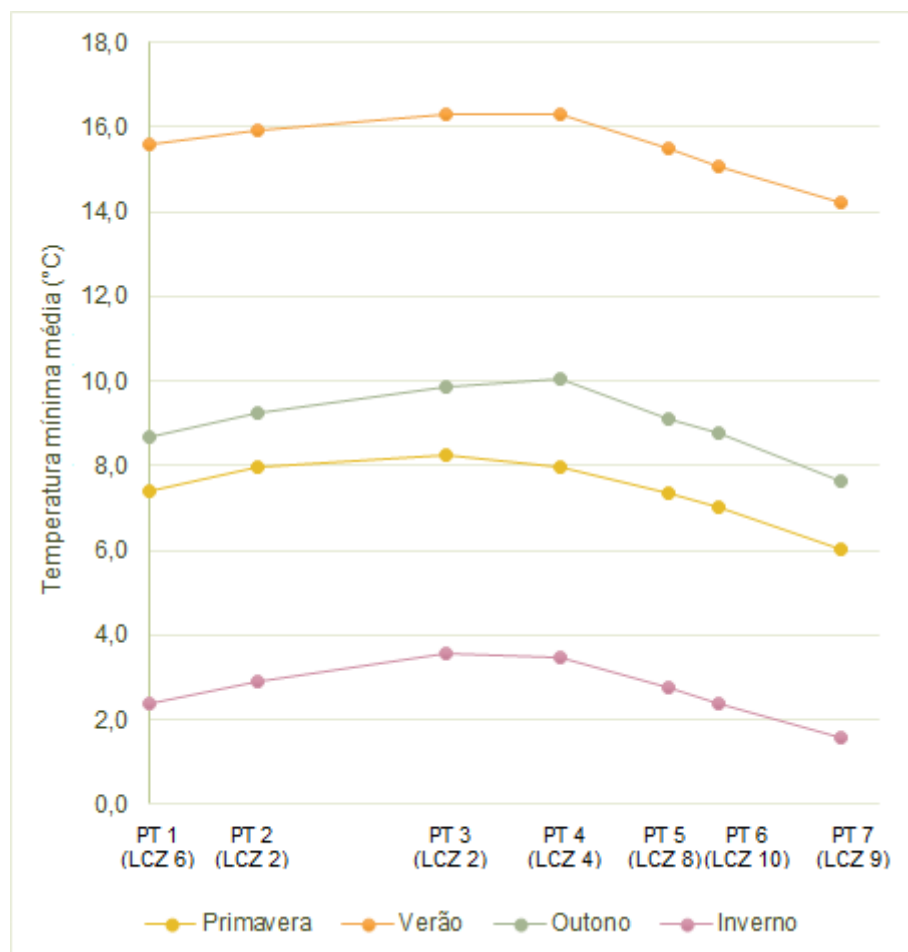


Figura 4 - Perfil longitudinal da temperatura mínima média no transecto leste-oeste

Fonte: os autores (2018)

Apesar do ponto 4 ser classificado como zona 4 segundo Geletic (2016), a estação está a menos de 100 metros de uma ampla região de LCZ 1. O raio de influência do microclima relaciona-se com a geometria das edificações, rugosidade da superfície, velocidade e direção do vento. Por isso, para Stewart e Oke (2012), as LCZ devem ter diâmetros mínimos a partir de 400 metros. O raio mínimo utilizado por Geletic para definição das zonas climáticas é de 50 metros.

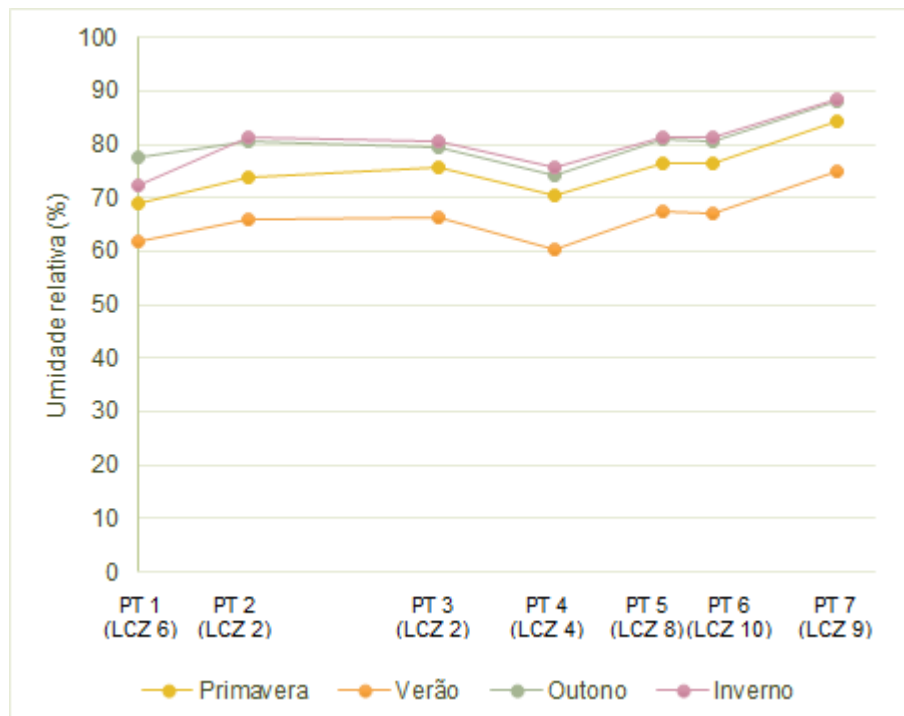


Figura 5 - Perfil longitudinal da umidade relativa média no transecto leste-oeste

Fonte: os autores (2018)

Observa-se na figura 5 que a umidade relativa média dos pontos 5, 6 e 7 são maiores em relação aos demais em todas as estações e estão localizados nas zonas climáticas 8, 10 e 9, respectivamente. Essas, por sua vez, caracterizadas por estruturas de alturas baixas e médias justificam a umidade maior. Além disso, estes pontos estão próximos de zonas de vegetação, principalmente o 7, onde a umidade relativa alta se sobressai.

4.2.2 Transecto norte-sul

Assim como no transecto leste-oeste, foi feita uma tabela com a média, média máxima e média mínima de temperatura e umidade para cada mês de cada estação no transecto (Tabela 5). Em seguida, foram gerados gráficos de umidade e temperatura para evidenciar a diferença na intensidade dessas variáveis climáticas em função das diferentes LCZs.

Constata-se diferenças térmicas significativas entre pelo menos dois pontos para todos os meses do ano. Nos meses de fevereiro, maio, julho e agosto, a diferença entre as médias de temperatura dos pontos 4 e 10 em relação aos demais chegam a atingir uma amplitude de 5 °C. Já as menores temperaturas são encontradas nos pontos 8 e 11, regiões mais afastadas do centro urbano e que representam espaços pouco construídos, com vegetação e edificações com altura baixa.

Tabela 5 - Temperatura e umidade relativa transecto norte-sul

TRANSECTO NORTE-SUL		TEMPERATURA (°C)						Diferença térmica	UMIDADE RELATIVA (%)					Diferença higrométrica
		PT 8	PT 9	PT 4	PT10	PT11	PT 8		PT 9	PT 4	PT10	PT11		
JANEIRO	Méd. Máx	9,3	9,1	9,8	10,4	8,9	1,5	91,1	91,9	86,7	85,7	98,8	13,1	
	Média	6,4	6,6	7,3	8,6	6,1	2,5	79,7	81,0	77,8	76,7	95,2	18,4	
	Méd. Mín	3,4	4,1	4,8	6,9	3,2	3,7	68,1	70,2	68,6	69,3	87,9	19,8	
FEVEREIRO	Méd. Máx	7,6	6,6	7,2	8,2	6,5	1,7	85,2	89,2	85,5	80,1	98,8	18,7	
	Média	3,6	3,9	4,4	6,3	3,2	3,1	70,6	74,4	72,6	69,6	90,8	21,1	
	Méd. Mín	-0,2	0,7	1,5	4,4	-0,5	4,8	52,9	58,5	58,4	60,1	76,5	23,6	
MARÇO	Méd. Máx	10,1	9,7	9,9	10,8	9,5	1,4	87,6	91,5	87,0	82,1	99,0	16,9	
	Média	6,3	6,4	6,9	8,6	5,8	2,8	73,4	77,5	75,9	72,9	93,0	20,1	
	Méd. Mín	2,6	3,3	4,0	6,2	2,5	3,8	56,4	61,1	62,5	63,2	80,5	24,1	
ABRIL	Méd. Máx	16,3	15,5	16,0	16,5	15,4	1,0	92,0	88,0	84,2	78,9	98,5	19,6	
	Média	11,9	12,0	12,4	13,9	11,3	2,6	75,4	73,5	71,6	70,4	89,3	18,9	
	Méd. Mín	8,0	8,5	9,0	11,5	7,7	3,8	56,5	57,3	57,3	60,5	75,3	18,8	
MAIO	Méd. Máx	21,9	20,9	21,1	21,8	21,8	1,0	93,4	85,6	80,7	77,2	98,4	21,3	
	Média	15,6	15,8	15,9	16,6	14,9	1,7	69,2	64,4	63,4	67,2	81,7	18,3	
	Méd. Mín	9,3	10,3	11,0	13,6	8,8	4,8	45,0	44,5	46,7	55,3	51,7	10,7	
JUNHO	Méd. Máx	24,8	23,8	24,0	26,6	24,7	2,8	89,8	83,6	79,3	76,9	98,0	21,2	
	Média	18,6	18,6	18,8	20,1	18,0	2,1	65,8	62,1	61,6	63,5	80,9	19,3	
	Méd. Mín	12,8	13,3	14,1	16,0	12,2	3,8	41,9	41,3	44,1	49,0	59,3	18,0	
JULHO	Méd. Máx	28,6	27,4	27,5	23,3	28,4	5,2	88,0	79,6	75,3	76,7	96,6	21,4	
	Média	22,4	22,4	22,5	21,6	21,6	1,0	60,3	55,3	56,0	69,1	73,8	18,5	
	Méd. Mín	15,9	17,0	17,7	20,1	15,1	5,0	37,7	36,3	40,8	61,1	50,5	24,9	
AGOSTO	Méd. Máx	25,1	24,1	24,3	22,4	24,6	2,7	93,0	86,6	80,7	79,1	98,8	19,7	
	Média	19,6	19,7	20,0	20,2	18,7	1,5	70,0	65,2	63,3	70,4	83,2	19,8	
	Méd. Mín	14,1	14,9	15,8	18,3	13,3	5,1	46,4	45,0	46,8	61,7	53,7	16,8	
SETEMBRO	Méd. Máx	20,5	19,1	19,4	19,3	18,8	1,8	95,9	92,7	86,7	82,9	99,0	16,1	
	Média	15,5	15,1	15,6	16,8	14,3	2,5	79,6	76,5	73,4	73,4	89,8	16,4	
	Méd. Mín	11,4	11,5	12,5	14,6	10,4	4,1	55,2	55,4	55,5	62,4	60,9	7,2	
OUTUBRO	Méd. Máx	17,4	16,9	17,3	17,0	16,5	0,9	94,9	91,6	85,8	85,9	98,9	13,1	
	Média	14,0	13,7	14,4	15,2	13,2	2,0	81,8	78,2	74,4	76,8	93,0	18,6	
	Méd. Mín	10,2	10,3	11,3	13,1	9,4	3,7	65,0	62,9	61,0	67,4	80,4	19,4	
NOVEMBRO	Méd. Máx	11,3	10,5	11,2	11,6	10,1	1,5	92,7	92,1	86,2	84,4	99,0	14,6	
	Média	8,3	7,9	9,0	10,0	7,2	2,8	80,6	79,9	75,8	75,9	94,7	18,9	
	Méd. Mín	4,7	4,8	6,1	8,1	3,7	4,3	67,1	66,9	65,2	68,3	85,4	20,2	
DEZEMBRO	Méd. Máx	7,3	6,9	7,6	8,6	6,5	2,1	86,8	88,6	84,1	82,0	98,9	16,9	
	Média	5,1	4,9	5,7	7,2	4,4	2,8	79,2	80,6	76,9	75,3	95,5	20,2	
	Méd. Mín	2,4	2,5	3,4	5,7	1,9	3,8	70,9	72,0	69,4	70,0	88,9	19,4	

Fonte: os autores (2018)

Tais variações caracterizam o efeito de ilha de calor no clima urbano de Londres, Inglaterra. A influência da urbanização na temperatura também pode ser observada no gráfico da figura 6.

A partir da análise visual do perfil longitudinal da temperatura média, nota-se valores mais altos de temperatura nos pontos 4 e 10. Isso é justificável pelo fato desses pontos estarem localizado na região mais urbanizada da cidade. Além de sua localização, os pontos 4 e 10 são representativos das LCZs 4 e 5 respectivamente, o que significa que a região é composta por edifícios de altura média a elevada. Também, estes pontos localizam-se próximos à região central de LCZs 1 e 2.

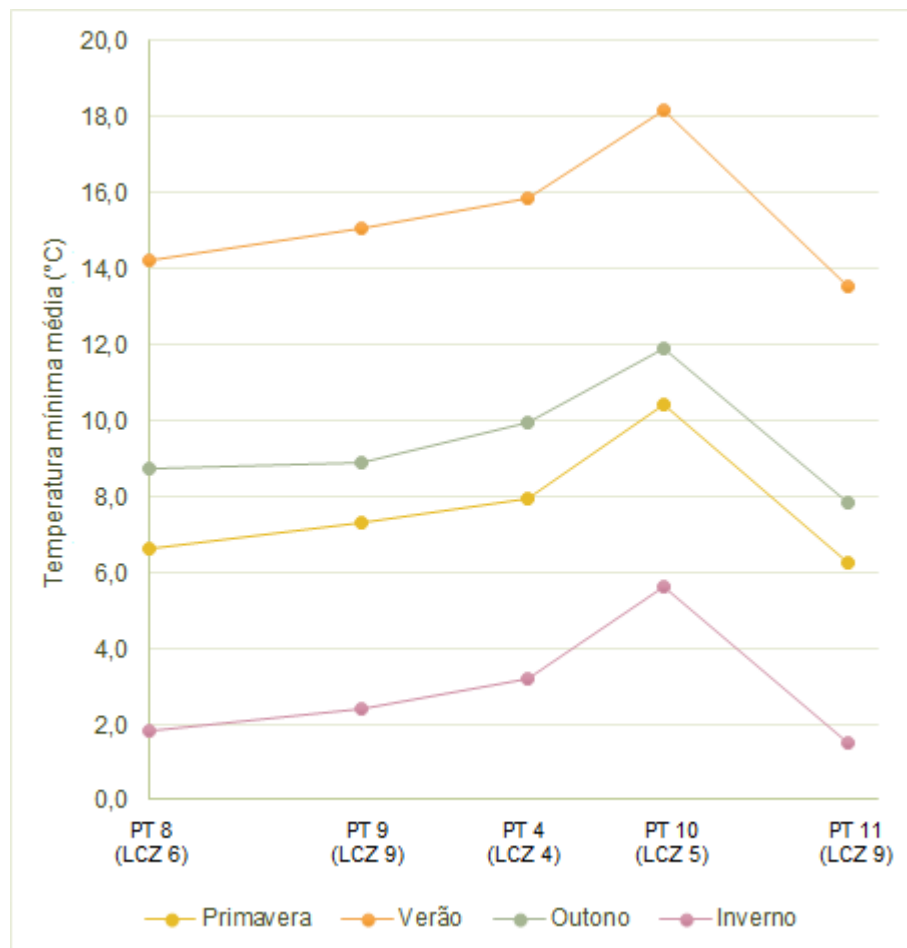


Figura 6 - Perfil longitudinal da temperatura mínima média no transecto norte-sul

Fonte: os autores (2018)

Também pode-se notar que, embora os pontos 9 e 11 sejam representativos de uma mesma LCZ, eles apresentam entre si uma diferença de até 1,5 °C em suas temperaturas médias. Tal diferença pode ser explicada pelo entorno da região, já que

o ponto 9 se localiza em uma área mais urbanizada e o ponto 11 mais próximo a um cinturão verde.

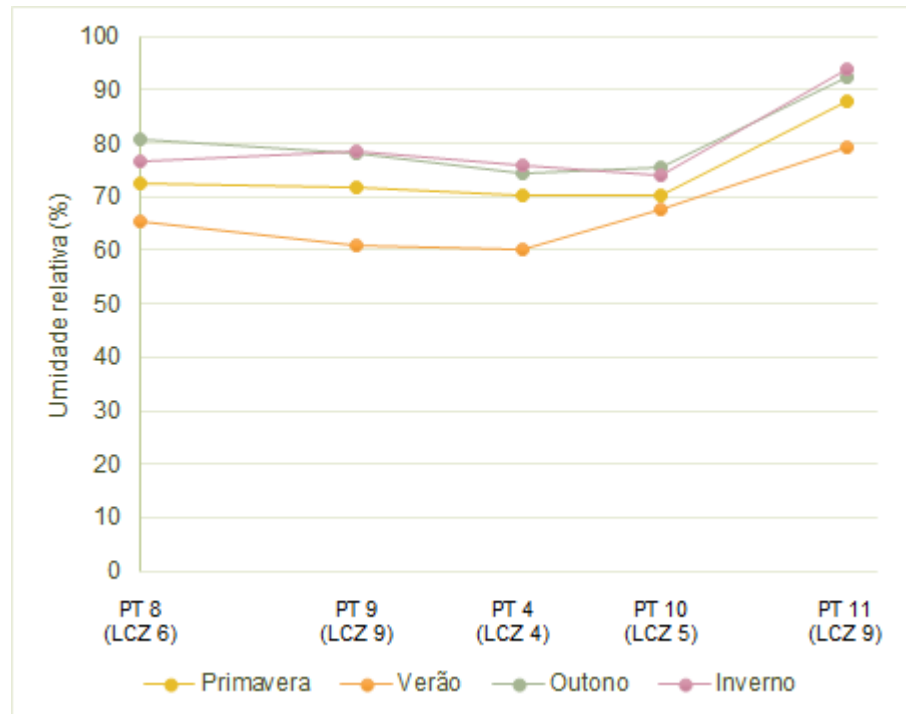


Figura 7 - Perfil longitudinal da umidade relativa média no transecto norte-sul

Fonte: os autores (2018)

A urbanização também influencia na umidade (Figura 7) uma vez que os pontos 4 e 10 se destacam por apresentarem as menores médias de umidade relativa ao longo do ano enquanto o ponto 11 tem a maior média de umidade relativa em todo o período de medição.

4.3 EFICIÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

As análises da temperatura e umidade relativa ao longo do ano apontam as diferenças climáticas as entre zonas climáticas locais consideradas. Assim, quantificou-se a efetividade de cada estratégia bioclimática sugeridas nas cartas psicrométricas geradas pelo Climate Consultant. Ressalta-se que a comparação de resultados das cartas psicrométricas só é possível entre pontos de um mesmo transecto, pois estes possuem a mesma base de horas.

Para efeitos de comparação com a base de dados usualmente utilizada, considerou-se os dados referente ao ano típico de Londres, cuja estação meteorológica localiza-se no Aeroporto Gatwick. Os dados de Gatwick foram adaptados de acordo com as horas disponíveis em cada transecto.

4.3.1 Transecto leste-oeste

Os resultados obtidos nas cartas psicométricas geradas pelo Climate Consultant para os pontos localizados no transecto leste-oeste estão apresentados, de forma resumida, na tabela 6. Já as cartas psicrométricas completas estão apresentadas no Apêndice A. A geração das estratégias bioclimáticas estão em conformidade com as 6397 horas anuais que são comuns a todos os pontos do transecto.

Tabela 6 - Eficiência das estratégias bioclimáticas do transecto leste-oeste

Estratégia	PT1		PT2		PT3		PT4		PT5		PT6		PT7		GATWICK	
	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%
1	676	7,72	723	8,25	685	7,82	710	8,11	645	7,36	611	6,97	526	6,00	391	4,46
2	320	3,65	279	3,18	259	2,96	293	3,34	226	2,58	221	2,52	250	2,85	122	1,39
3	206	2,35	153	1,75	154	1,76	160	1,83	110	1,26	116	1,32	151	1,72	16	0,18
4	245	2,80	189	2,16	194	2,21	209	2,39	138	1,58	145	1,66	179	2,04	16	0,18
5	300	3,42	180	2,05	149	1,70	198	2,26	131	1,50	133	1,52	123	1,40	20	0,23
6	314	3,58	205	2,34	186	2,12	226	2,58	155	1,77	156	1,78	153	1,75	20	0,23
7	50	0,57	68	0,78	81	0,92	71	0,81	71	0,81	63	0,72	135	1,54	9	0,10
8	164	1,87	164	1,87	166	1,89	173	1,97	140	1,60	134	1,53	210	2,40	15	0,17
9	1894	21,62	2016	23,01	2122	24,22	2105	24,03	2016	23,01	1950	22,26	1888	21,55	1650	18,84
10	494	5,64	523	5,97	536	6,12	533	6,08	552	6,30	547	6,24	524	5,98	548	6,26
11	352	4,02	358	4,09	351	4,01	356	4,06	364	4,16	359	4,10	348	3,97	255	2,91
12	60	0,68	58	0,66	62	0,71	63	0,72	63	0,72	71	0,81	65	0,74	70	0,80
13	1	0,01	0	0,00	2	0,02	3	0,03	1	0,01	0	0,00	0	0,00	6	0,07
14	13	0,15	6	0,07	20	0,23	4	0,05	13	0,15	12	0,14	68	0,78	1	0,01
15	0	0,00	5	0,06	5	0,06	4	0,05	0	0,00	0	0,00	12	0,14	0	0,00
16	3222	36,78	3143	35,88	3080	35,16	3067	35,01	3277	37,41	3370	38,47	3430	39,16	4042	46,14

Fonte: os autores (2018)

Para visualização gráfica dos resultados, selecionou-se as horas de conforto (Figura 8) e as estratégias que apresentaram maiores desvios padrão entre os pontos. São elas: inércia térmica e ventilação noturna, resfriamento evaporativo duplo-estágio, ganho de calor interno e aquecimento (Figura 9).

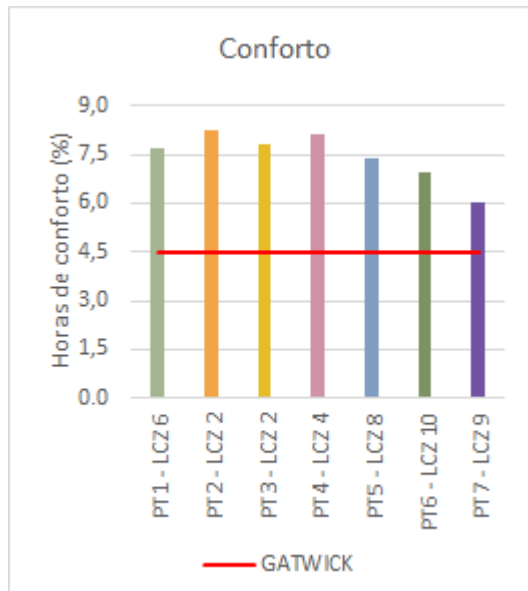


Figura 8 - Horas de conforto térmico do transecto leste-oeste

Fonte: os autores (2018)

Em relação às horas de conforto, nota-se discrepâncias entre os pontos. Os pontos do transecto são pelo menos 1,5% mais confortáveis que a estação Gatwick. Consequentemente, os pontos atuais apresentam menor necessidade de estratégias de aquecimento, com diferenças de até 11% entre o ponto 4 e Gatwick.

A partir da análise visual dos gráficos apresentados na figura 9, percebe-se que os dados oficiais de Londres, representados pela linha vermelha para a normal climatológica do ano de 1991, diferem-se dos dados meteorológicos registrados entre 2017 e 2018. Ao passo que os dados mais recentes revelam um clima urbano mais confortável (Figura 8), também é notável o aumento do desconforto térmico causado pelo calor, uma vez que as estratégias de resfriamento evaporativo e inércia térmica se mostram mais eficientes.

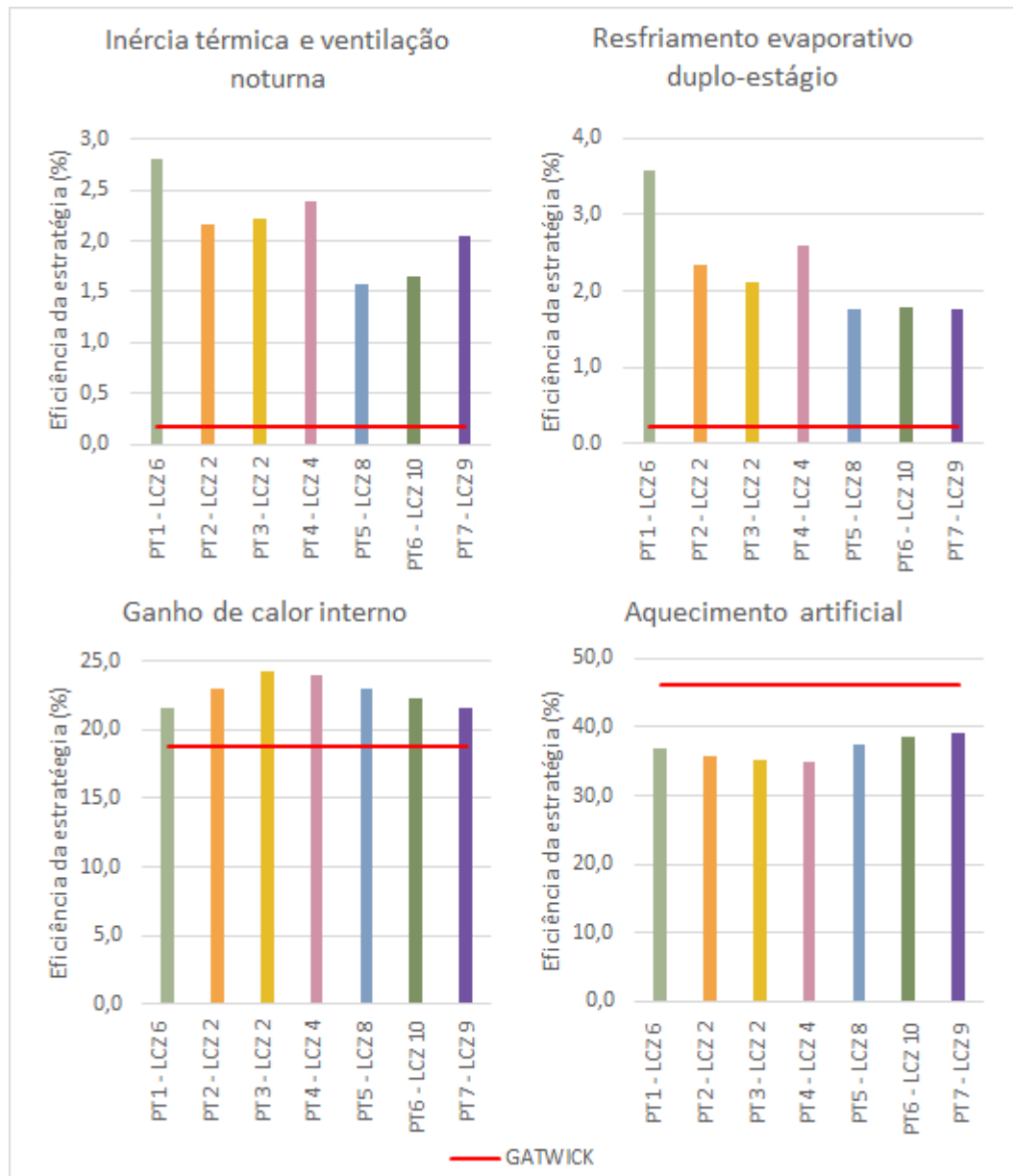


Figura 9 - Eficiências das estratégias bioclimáticas do transecto leste-oeste

Fonte: os autores (2018)

Na análise entre pontos do transecto, é possível observar que os pontos centrais apresentam maior eficiência para a aplicação da estratégia de ganho de calor interno e menores valores para aquecimento artificial em relação aos pontos mais afastados. A estratégia bioclimática de ganho de calor interno é indicada para temperaturas de 13 a 20 °C, enquanto a de aquecimento artificial engloba todas as temperaturas inferiores a 20 °C.

Assim, a estratégia de aquecimento é mais abrangente e sua maior eficiência, sobretudo nos pontos 5, 6 e 7, indicam maior desconforto térmico causado pelo frio

nestes locais. Nestes pontos os cuidados com ganho de calor interno apresentam menor eficiência em função das médias de temperaturas serem ali mais baixas.

De modo geral, observa-se que as estratégias de resfriamento são mais eficientes nos pontos 1, 2 e 3. Ainda que afastadas do centro urbano, são classificadas como LCZs 2 e 6, portanto são consideravelmente mais urbanizadas que os pontos da outra extremidade do transecto. Os pontos 5, 6 e 7 localizam-se em regiões mais permeáveis e de menor densidade urbana, classificadas como LCZ 8, 10 e 9.

Entretanto, embora mais eficientes nas regiões a leste do ponto 4, as estratégias de resfriamento não apresentam valores tão significativos, sendo que quando somadas, para o ponto 1, atingem apenas 18,3% de eficiência. Ainda que pequeno, esse valor é bastante superior aos 11,1% do ponto 6, e mais ainda em relação à média de Gatwick, de 2,5% de horas de resfriamento.

Esses valores refletem a diferença entre aplicação de estratégias de projeto em diferentes zonas climáticas locais. Apesar das estratégias de resfriamento mostrarem a influência de ilhas de calor na cidade londrina, destaca-se que a estratégia de resfriamento artificial, sugerida em casos de temperaturas de bulbo seco acima de 28 °C, mostrou-se insignificante em todo o transecto leste-oeste.

4.3.2 Transecto norte-sul

As porcentagens das eficiências de cada estratégia bioclimática geradas pelo Climate Consultant nas cartas psicrométricas para os pontos localizados no transecto norte-sul estão apresentadas, de forma resumida, na tabela 7. As cartas psicrométricas completas estão apresentadas no Apêndice B. A geração das estratégias bioclimáticas estão em conformidade com as 7707 horas anuais que são comuns a todos os pontos do transecto.

Tabela 7 - Eficiência das estratégias bioclimáticas do transecto norte-sul

Estratégia	PT8		PT9		PT4		PT10		PT11		GATWICK	
	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%
1	832	9,50	907	10,35	940	10,73	1360	15,53	573	6,54	484	5,53
2	447	5,10	405	4,62	381	4,35	250	2,85	379	4,33	161	1,84
3	336	3,84	254	2,90	266	3,04	128	1,46	266	3,04	33	0,38
4	391	4,46	299	3,41	308	3,52	148	1,69	308	3,52	35	0,40
5	341	3,89	309	3,53	276	3,15	109	1,24	140	1,60	39	0,45
6	378	4,32	326	3,72	309	3,53	127	1,45	188	2,15	39	0,45
7	114	1,30	76	0,87	93	1,06	86	0,98	221	2,52	15	0,17
8	255	2,91	218	2,49	236	2,69	139	1,59	321	3,66	33	0,38
9	2472	28,22	2520	28,77	2723	31,08	2958	33,77	2363	26,97	2212	25,25
10	604	6,89	622	7,10	623	7,11	640	7,31	626	7,15	657	7,50
11	464	5,30	455	5,19	457	5,22	464	5,30	447	5,10	334	3,81
12	70	0,80	70	0,80	69	0,79	52	0,59	73	0,83	72	0,82
13	7	0,08	11	0,13	4	0,05	0	0,00	0	0,00	6	0,07
14	21	0,24	8	0,09	4	0,05	59	0,67	142	1,62	1	0,01
15	5	0,06	0	0,00	5	0,06	1	0,01	69	0,79	0	0,00
16	3676	41,96	3632	41,46	3422	39,06	2946	33,63	3931	44,87	4626	52,81

Fonte: os autores (2018)

Para visualização gráfica dos resultados, selecionou-se as horas de conforto (Figura 10) e as estratégias que apresentaram maiores desvios padrão entre os pontos. Assim como para o transecto leste-oeste, as estratégias que apresentam maior desvio padrão no transecto norte-sul são: inércia térmica e ventilação noturna, resfriamento evaporativo duplo-estágio, ganho de calor interno e aquecimento (Figura 11).

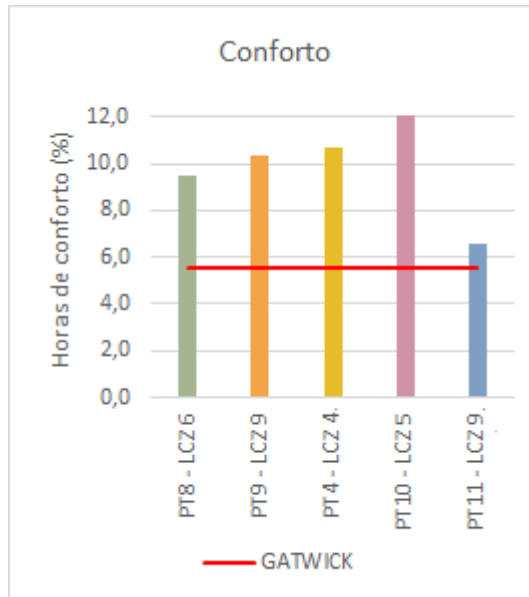


Figura 10 - Horas de conforto térmico do transecto norte-sul

Fonte: os autores (2018)

As informações plotadas na figura 10 revelam um aumento na temperatura média da cidade. Segundo os parâmetros de conforto da ASHRAE 2005 utilizados no trabalho, os dados da estação oficial Gatwick se mostram mais desconfortáveis por apresentarem valores de temperatura mais frios do que os registrados para cada ponto no ciclo entre 2017 e 2018.

Dessa forma, surge a necessidade de adaptações no ambiente construído para compensar essas variações no microclima. Tal necessidade pode ser confirmada na tabela 7 e figura 11, ao observar a diminuição da eficiência da utilização de aquecimento artificial e o aumento da eficiência das estratégias relacionadas a resfriamento.

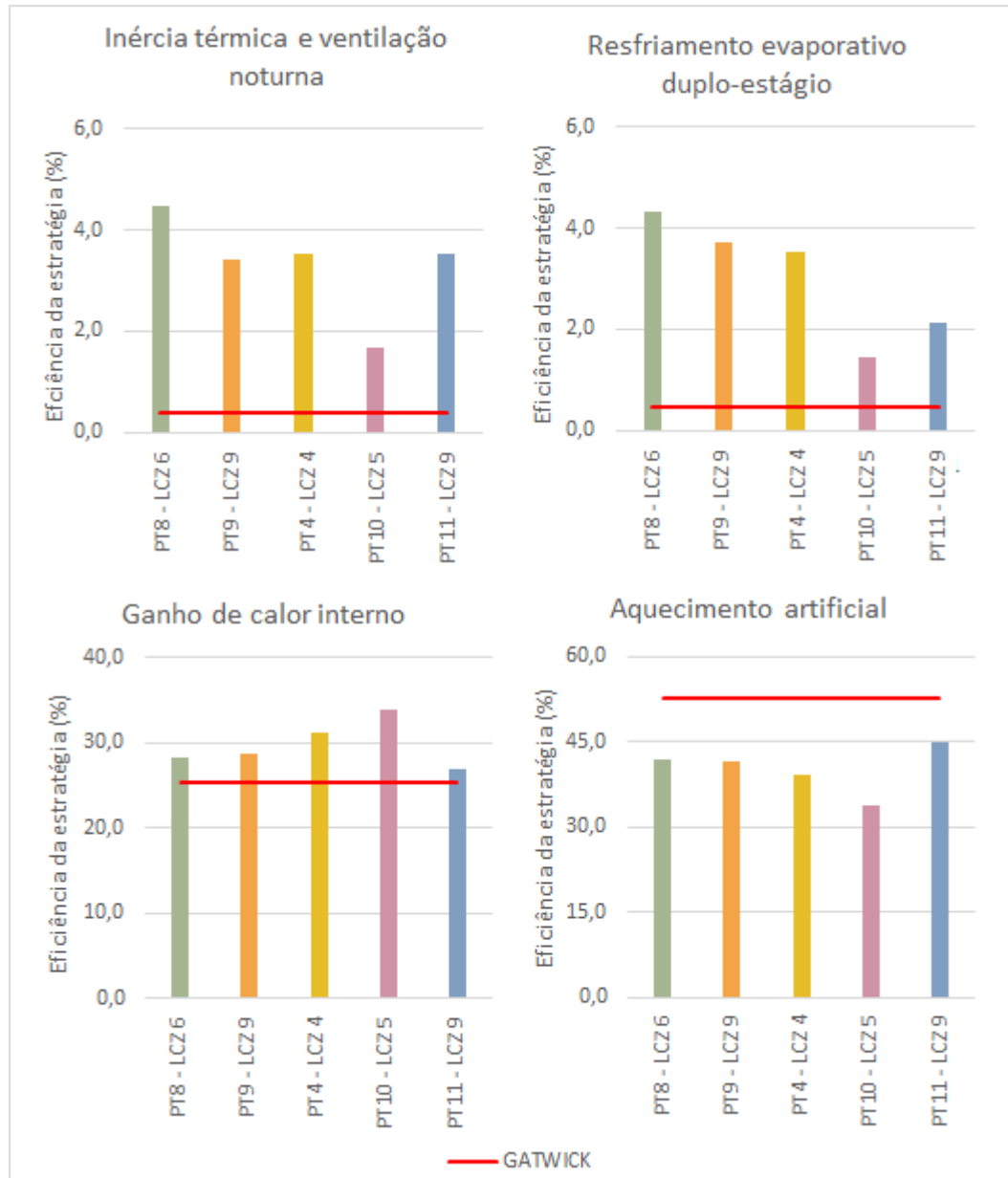


Figura 11 - Eficiência das estratégias bioclimáticas do transecto norte-sul

Fonte: os autores (2018)

Com base nos gráficos da figura 11, nota-se que os pontos centrais apresentam os maiores valores de eficiência para a aplicação de estratégias de ganho de calor interno e os menores valores de eficiência de aplicação de estratégias de aquecimento. Tais resultados são condizentes com os dados de temperatura encontrados, uma vez que os pontos 4 e 10 estão localizados na região mais quente do perímetro urbano de Londres, Inglaterra.

Em relação as zonas mais perimetrais do transecto norte-sul, observa-se que as regiões situadas ao norte (representadas pelos pontos 8 e 9) são mais quentes do

que as regiões localizadas ao sul do transecto (ponto 10). Assim estratégias de resfriamento são melhores empregadas para os pontos mais ao norte.

Destaca-se também que, embora os pontos 9 e 11 sejam classificados como LCZ 9, o número de horas confortáveis para o ponto 9 corresponde a quase o dobro de horas do número de horas confortáveis para o ponto 11 (Figura 10). Com relação as técnicas de resfriamento, elas se apresentam muito mais eficientes para o ponto 9 ainda que os dois pontos apresentam valores próximos para aplicação de técnicas de aquecimento.

As estratégias de umidificação, desumidificação, resfriamento artificial e proteção contra o vento apresentaram valores inferiores a 1% de eficiência de aplicação para todos os pontos.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O clima urbano nas grandes cidades se apresenta em função das características da morfologia do espaço urbano. Em Londres, na Inglaterra, objeto de estudo deste trabalho, é notável a influência da envoltória da edificação para caracterização do clima local. Áreas permeáveis, maior espaçamento entre construções e menor altura das edificações são fatores que contribuem para reduzir os efeitos das cidades no clima.

Por meio da análise de resultados obtidos nesse trabalho constata-se o efeito da urbanização no clima urbano de Londres, sobretudo nas regiões mais centrais, próximas às LCZs 1 e 2. Através das estratégias bioclimáticas geradas, confirma-se a hipótese de que o clima urbano de uma metrópole apresenta variações significativas o bastante para alterar as diretrizes projetuais arquitetônicas de edificações ao longo de sua extensão.

As regiões centrais, marcadas por edificações altas e pouco espaçadas, apresentaram maiores temperaturas entre os pontos. Em relação às estratégias, estas maiores temperaturas refletiram em maior conforto, uma vez que Londres é uma cidade onde o maior desconforto térmico se deve pelo frio. Ao mesmo tempo, mostraram aumento do desconforto causado pelo calor, obtendo maiores eficiências em estratégias de resfriamento em comparação com as regiões periféricas.

No entanto, observa-se algumas inconsistências nos dados utilizados como base para a realização desse trabalho. Primeiro cita-se que o mapa com a caracterização de zonas climáticas locais de Londres proposta por Geletic não é coerente com os princípios definidos por Stewart e Oke. Geletic utiliza o valor de 50 metros como raio mínimo de influência para a formação de uma LCZ enquanto Stewart e Oke sugerem um valor mínimo na ordem de 400 metros.

Outra questão é a disponibilidade de dados climáticos para cada LCZ. O Weather Underground, embora possibilite o acesso a estações meteorológicas em diversos pontos da malha urbana, apresenta irregularidades em seu registro histórico de dados.

A falta de dados completos disponibilizados pelo Weather Underground, a não divulgação dos erros associados a cada estação, além de não conhecimento da situação de instalação da estação podem ter contribuído para resultados imprecisos. Ressalta-se a influência das demais variáveis climáticas, indisponíveis nas estações selecionadas como radiação solar e intensidade do vento, citadas na revisão deste trabalho, cuja ausência pode ter influenciado nos valores de eficiência das estratégias bioclimáticas geradas.

Por fim, o Weather Underground não possui estações meteorológicas com dados climáticos longevos o bastante que possibilitem a caracterização de anos típicos (TRY) para cada LCZ. Assim os resultados do trabalho foram obtidos em função dos dados climáticos para o período de um ano. Ainda que as eficiências das estratégias bioclimáticas geradas comprovem que existem diferenças conforme a morfologia do espaço urbano, cartas psicrométricas geradas com dados de ano típico permitem obter maior confiabilidade nos resultados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho revela a necessidade de estudos complementares que permitam validar a hipótese das diferenças na aplicação de estratégias bioclimáticas em função das diferentes LCZs de uma metrópole. Como sugestão propõe-se repetir a metodologia com novas fontes de dados meteorológicos. O ideal configura em estabelecer uma rede de estações meteorológicas próprias e que as mesmas estivessem dispostas em transectos pré-estabelecidos para melhorar a regularidade das comparações dos valores de eficiências das estratégias bioclimáticas geradas pelo Climate Consultant versão 6.0.

REFERÊNCIAS

2030 PALETTE. Página institucional. Disponível em <<http://2030palette.org/>>. Acesso em 16 de set. 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações**. 2003.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, Malden, v. 23, p. 1–26, 2003.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning. **Standard 90-1975, Energy Conservation in New Building Design**. 1975.

BARBIRATO, Gianna M.; SOUZA, Léa C. L.; TORRES, Simone C. **Clima e cidade: a abordagem climática para subsídio para estudos urbanos**. Maceió, AL: EDUFAL, 2007. 164p.

BELL, Michelle L.; DAVIS, Devra L.; FLETCHER, Tony. A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution. **National Center for Biotechnology Information**, Jan. 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241789/>>. Acesso em 04 de jun. 2018.

BITTENCOURT, Leonardo. S. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos**, Maceió, EDUFAL, 1988.

BOHNENSTENGEL, S. I.; EVANS, S.; CLARK, P. A.; BELCHER, S. E. Simulations of the London urban heat island. **Royal Meteorological Society**. 14 jun. 2011. Disponível em <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/qj.855>>. Acesso em 06 de jun. 2018.

BRAGG, Melvyn. The fire of London. **BBC**, 11 Dez. 2008. Disponível em: <<https://www.bbc.co.uk/programmes/b00ft63q>>. Acesso em 05 jun. 2018.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

CORREA, Celina B. **Arquitetura bioclimática - Adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural**. Vitruvius, 2002. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590>> Acesso em: 30 mai. 2018

COUTO, Hudson de Araújo. **Ergonomia aplicada ao trabalho - Guia prático**. Belo Horizonte: Ergo Editora, 2007.

DANTAS, Antônio A. A.; CARVALHO, Luiz G.; CASTRO NETO, Pedro. **Radiação solar**. Departamento de Engenharia/Universidade de Lavras, Lavras, MG, 2009.

DEKAY, Mark; BROWN, G. Z. **Sol, Vento e Luz - Estratégias para o projeto de arquitetura**. 2a.ed. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2004.

DESIGNING BUILDINGS. **Mechanical ventilation of buildings**. Disponível em <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Mechanical_ventilation_of_buildings>. Acesso em 25 de out. 2018.

DUARTE, Denise. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006.

ENERGY DESIGN TOOLS. Página institucional. Disponível em <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>>. Acesso em 02 de jun. 2018.

ENERGY PLUS. Página institucional. Disponível em <<https://energyplus.net/>>. Acesso em 02 de jun. 2018.

ENERGY MODELS. Internal Heat Gains. Disponível em <<http://energy-models.com/internal-heat-gains-ihg>>. Acesso em 24 de out. 2018.

ENERGY SAVER. **Evaporative cooling – two stage evaporative cooling**. Disponível em <<https://www.drenergysaver.com/cooling-systems/evaporative-cooling/two-stage-evaporative-cooling.html>>. Acesso em 19 de out. 2018.

FROTA, Anestesia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 8ª ed. São Paulo, SP: Nobel, 2007. 243 p.

GAWC – GLOBALIZATION AND WORLD CITIES RESEARCH NETWORK. **The World According to GaWC.** 2012. Disponível em <<http://www.lboro.ac.uk/gawc/gawcworlds.html>>. Acesso em 07 de jun. 2018.

GELETIC, Jan. **Mapa de zonas climáticas locais de Londres**, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/310774923_Local_climate_zones_in_London>. Acesso em 10 jun. 2018.

GELETIC, Jan; LEHNERT, Michal. **GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities.** Moravian Geographical Reports. Set. 2016.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in Building and Urban Design.** Jhon Wiley & Sons, Inc. 1998.

GOULART, Solange V. G.; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis, SC, 1997.

HOME ENERGY. **Cooling and air-conditioning.** Disponível em <<http://www.homeenergy.org/show/article/nav/coolingandair/page/5/id/1301>>. Acesso em 22 de out. 2019.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Glossário**, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Glossary.pdf>. Acesso em 30 mai. 2018.

INWOOD, Stephen. **A HISTORY OF LONDON.** 1ª ed. Basic Books, 1998. 1136p.

KALOUSTIAN, Noushing; BECHTEL, Benjamin. Local climate zoning and urban heat island in Beirut. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON COUNTERMEASURES TO URBAN HEAT ISLAND, 4., Singapura, 2016. **Anais...** Singapura, Elsevier, 2016.

KOENIGSBERGER, Otto H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, Steven V. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.** Paraninfo S.A., Madrid, Espanha, 1977.

KOLOKOTRONI, Maria; GIANNITSARIS, Iannis; WATKINS, Richard. **The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies**. Solar Energy, v.80, p. 383-392. 2006.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de Edificações**. Apostila do curso de Engenharia Civil da UFSC, 2005.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3a ed. ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MANZANO-AGUGLIARO, Francisco; MONTOYA, Francisco G.; SABIO-ORTEGA, Andrés; GARCÍA-CRUZ. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **49**, issue C, p. 736-7.

MARRON INSTITUTE. **The Urban Expansion of London**. Nova Iorque, EUA, set. 2012. Disponível em: <<https://marroninstitute.nyu.edu/blog/the-urban-expansion-of-london>>. Acesso em 05 de jun. 2018.

MELLO, Fernando M.; DORNELES, Ramires L.; SANTOS, Eudes V. dos; COSTA, Grasielle T. da; ROSA, Larissa; DIAS, Érica K. A importância de estratégias bioclimáticas aplicadas no projeto arquitetônico. In: 5º FÓRUM INTERNACIONAL ECOINNOVAR, 1ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO, Santa Maria - RS, 2016. **Anais...**Santa Maria - RS, CISL, 2016.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MET OFFICE. **Heathrow Climate**. Novembro 2012. Disponível em: <<https://www.metoffice.gov.uk/public/weather/climate/gcpsvg3nc#?tab=climateTables>>. Acesso em 05 de jun. 2018.

MILNE, Murray; LIGGETT Robin; ALSHAALI, Rashed. **A new design tool for visualizing the energy implications of California's climates**. Energy Development and Technology/University of California. 2007.

MONTEIRO, Carlos Augusto de F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo, Instituto de Geografia/USP, 1976.

MUMFORD, Lewis. **A Cidade Na História: suas origens, transformações e perspectivas**. Martins Fontes, 4ªed. 1998.

OLGYAY, Viktor. **Design with climate – bioclimatic approach to architectural regionalism**. Nova Jersey: Princeton University Press, 1963.

OLGYAY, Viktor. **Design with climate – bioclimatic approach to architectural regionalism**. 4ª ed. Nova Jersey: Princeton University Press, 1973.

ONS – OFFICE FOR NATIONAL ESTATISTICS. **Population of London**. 2011. Disponível em: <<https://www.ons.gov.uk/aboutus/populationoflondon>>. Acesso em 07 de jun. 2018.

PROCEL. PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética nas edificações, 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em 05 mai. 2018.

PROJETEEE. **Estratégias Bioclimáticas**. Disponível em <http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>>. Acesso em 12 de set. 2018.

PROUSSARD, Emmanue; GREPMEIER, K; MEERSSEMAN, X; E TRIM, M. **Guide for a building energy label. Promoting bioclimatic and solar constructon and renovation**. Ed. Moutot, Paris, 2003.

REDDAWAY, Thomas F. **The Rebuilding of London after the Great Fire**. 1ªed. Londres: Jonathan Cape, 1940. 333p.

ROMERO, Maria A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo, SP: Pro-editores, 2000.

ROUMPANI, Flora; HUDSON, Polly. The evolution of London: the city's near 2000 year history mapped. **The Guardian**, 15 maio 2014. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/cities/2014/may/15/the-evolution-of-london-the-citys-near-2000-year-history-mapped>>. Acesso em 04 jun. 2018.

RUDOLFSKY, Bernard. **Architecture without architects**. Nova Iorque: Doubleday & Company. 1964.

SANTAMOURIS, Mat. **Environmental design of urban buildings: an integrated approach**. 1ª ed. Routledge, 2006. 352p.

STEWART, Iain S., OKE; Tim R. **Local Climate Zones for Urban Temperature Studies**. Bulletin of the American Meteorological Society. 2012.

SZOKOLAY, Steven V. **Environmental Science Handbook for architects and builders**. Lancaster: Construction Press, 1980.

UGEDA JÚNIOR, João Carlos; AMORIM, Margarete C. C. T. **Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas**. Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo, v. especial, p. 160-173, 2016.

WATSON, Donald; LABS, Kenneth. **Climatic Building Design. Energy- efficient building principles and practice**. McGraw- Hill Book Company. 1983.

WATTS, Peter. London's bomb sites redevelopment. **The Guardian**. 02 set. 2015. Disponível em <<https://www.theguardian.com/cities/2015/sep/02/blitz-london-bomb-sites-redevelopment>>. Acesso em 04 de jun. 2018.

WEBB, Simon. London's ancient history. **The Guardian**. 12 ago. 2011. Disponível em <<https://www.theguardian.com/travel/2011/aug/12/londons-ancient-history>>. Acesso em 04 de jun. 2018.

WHITE, Matthew. The Industrial Revolution. **British Library**, 14 out. 2009. Disponível em: <<https://www.bl.uk/georgian-britain/articles/the-industrial-revolution>>. Acesso em 04 de jun. 2018.

WUNDERGROUND. Disponível em: <<https://www.wunderground.com/>>. Acesso em 10 de dez. 2018.

YOW, Donald M.; CARBONE, Gregory J. The urban heat island and local temperature variations in Orlando, Florida. **Southeastern Geographer**, Athens, v. 46, n. 2, p. 297–321, 2006.

APÊNDICE A

CARTAS PSICROMÉTRICAS GERADAS PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO TRANSECTO LESTE-OESTE

PONTO 1 – LCZ 6

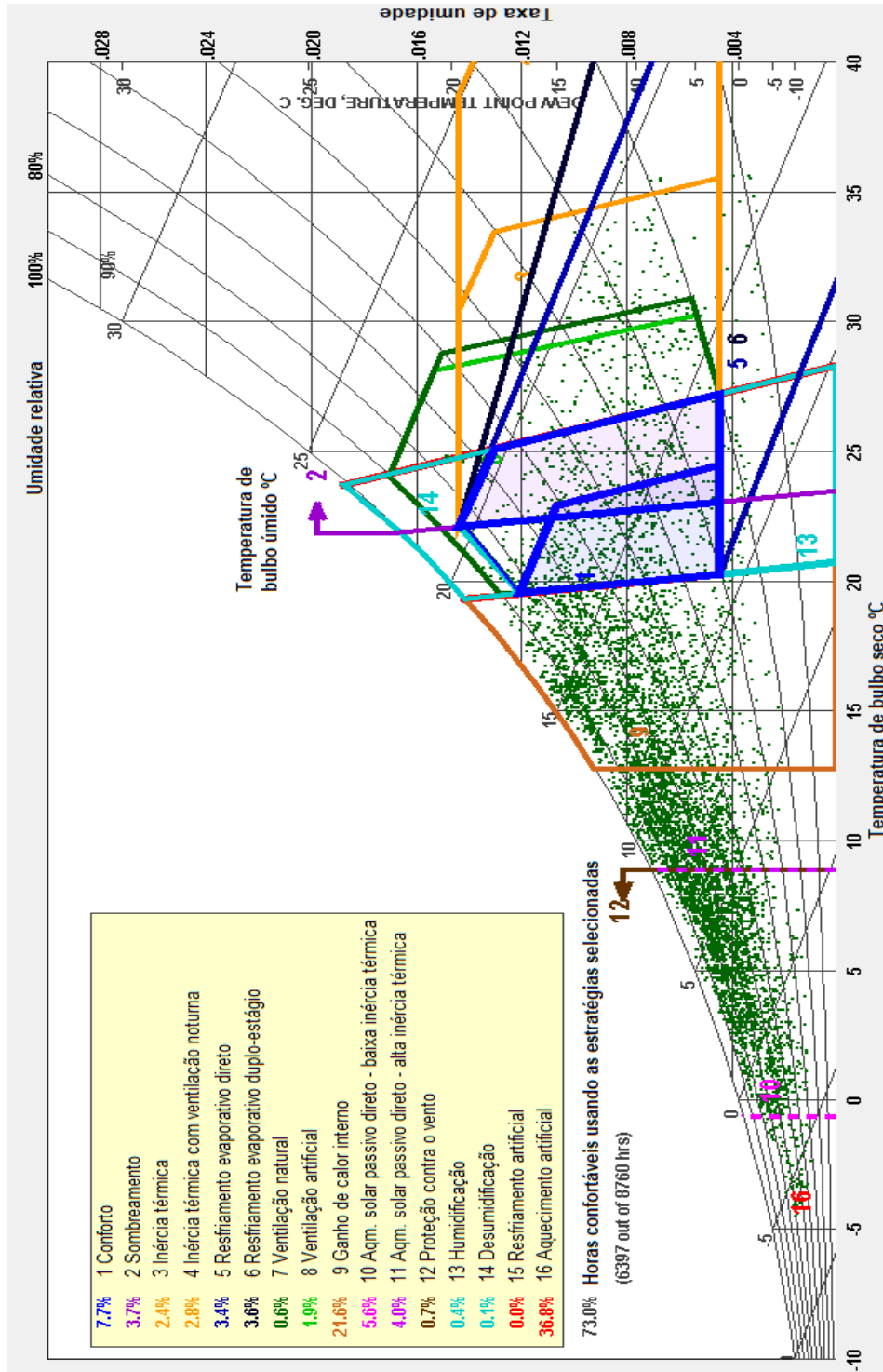


Figura A.1 - Carta psicrométrica para o ponto 1
Fonte: os autores (2018)

A.2 PONTO 2 – LCZ 2

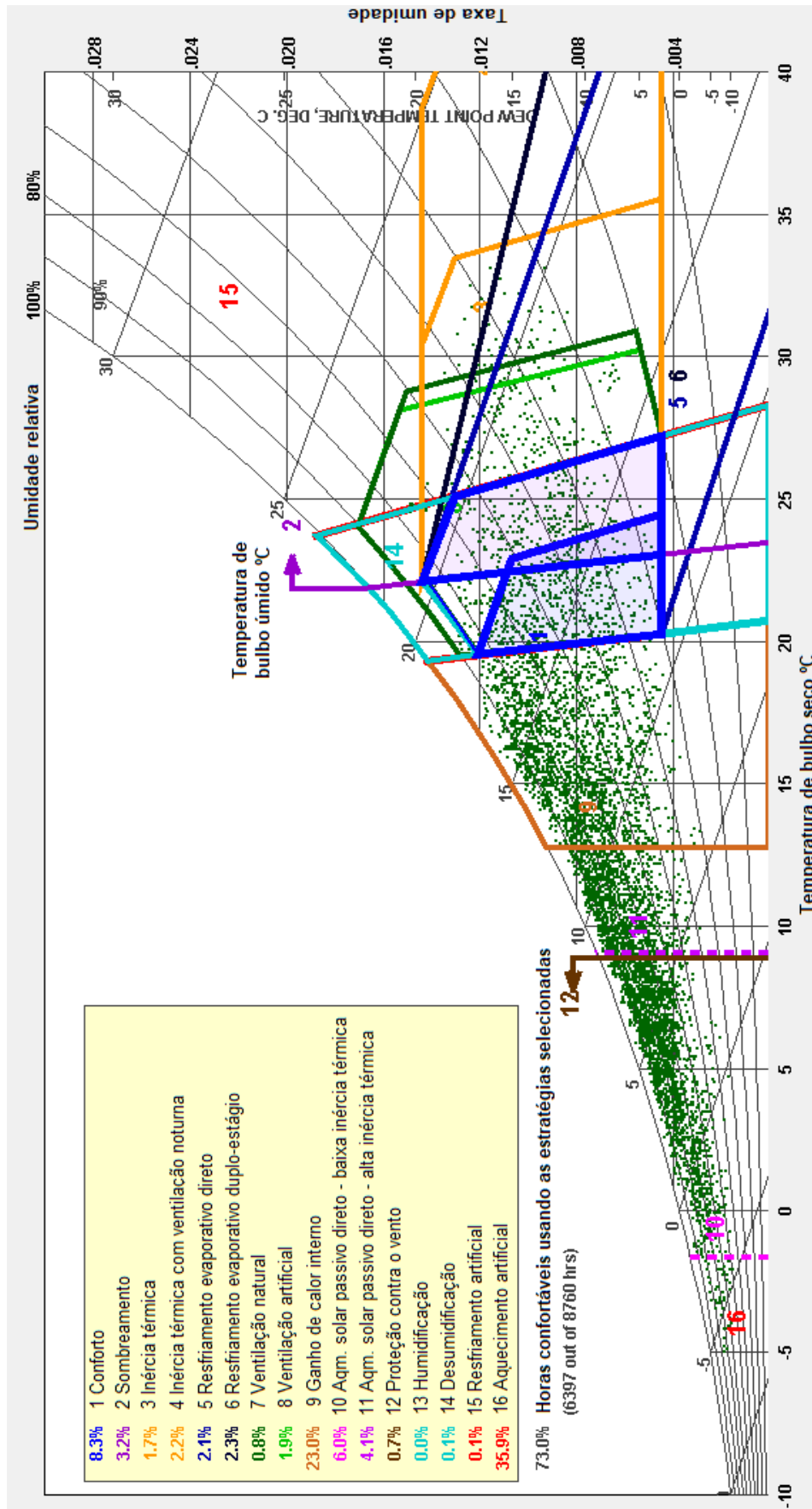


Figura A.2 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 2
 Fonte: os autores (2018)

A.3 PONTO 3 – LCZ 2

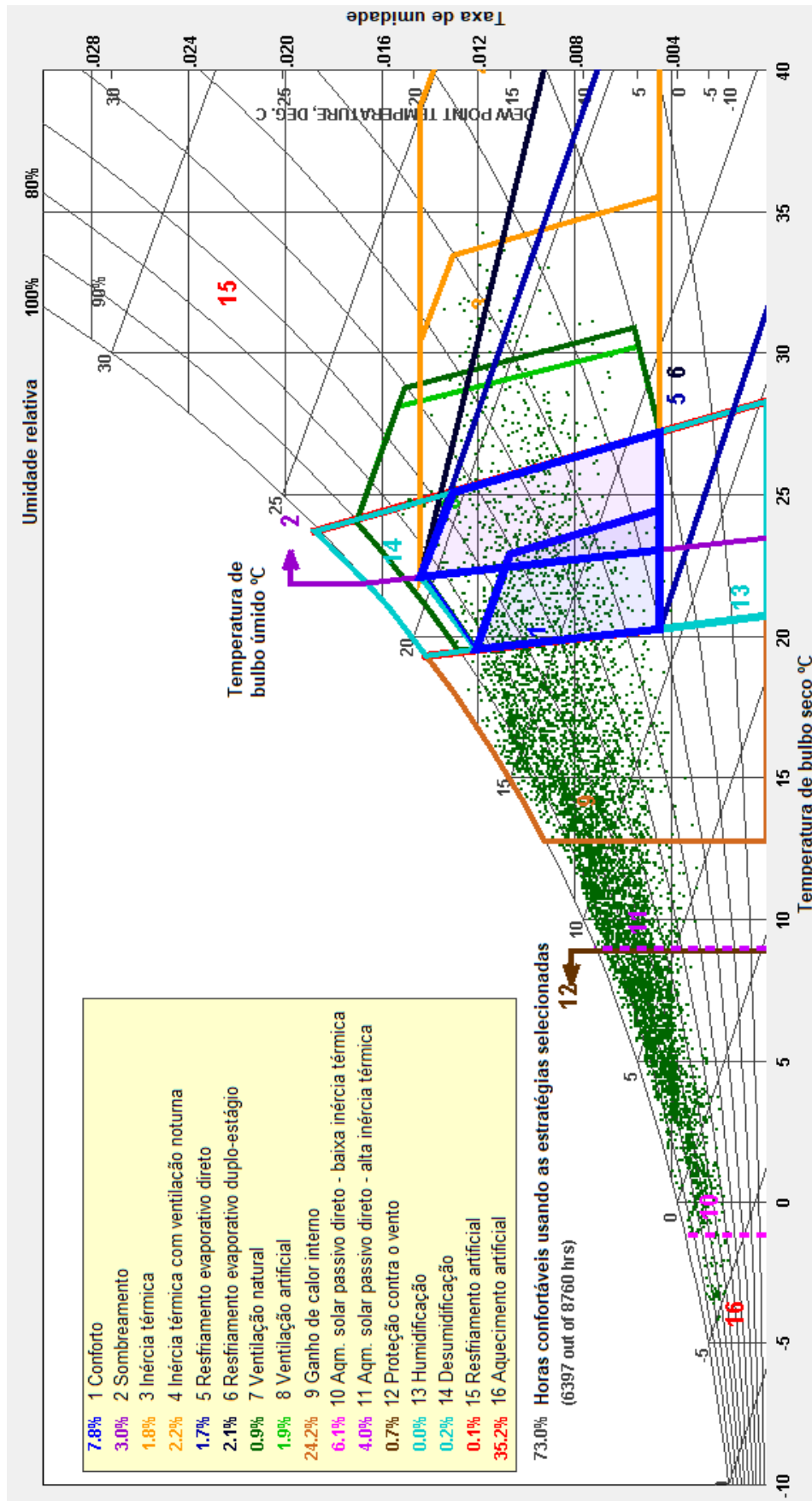


Figura A.3 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 3
 Fonte: os autores (2018)

A.4 PONTO 4 – LCZ 4

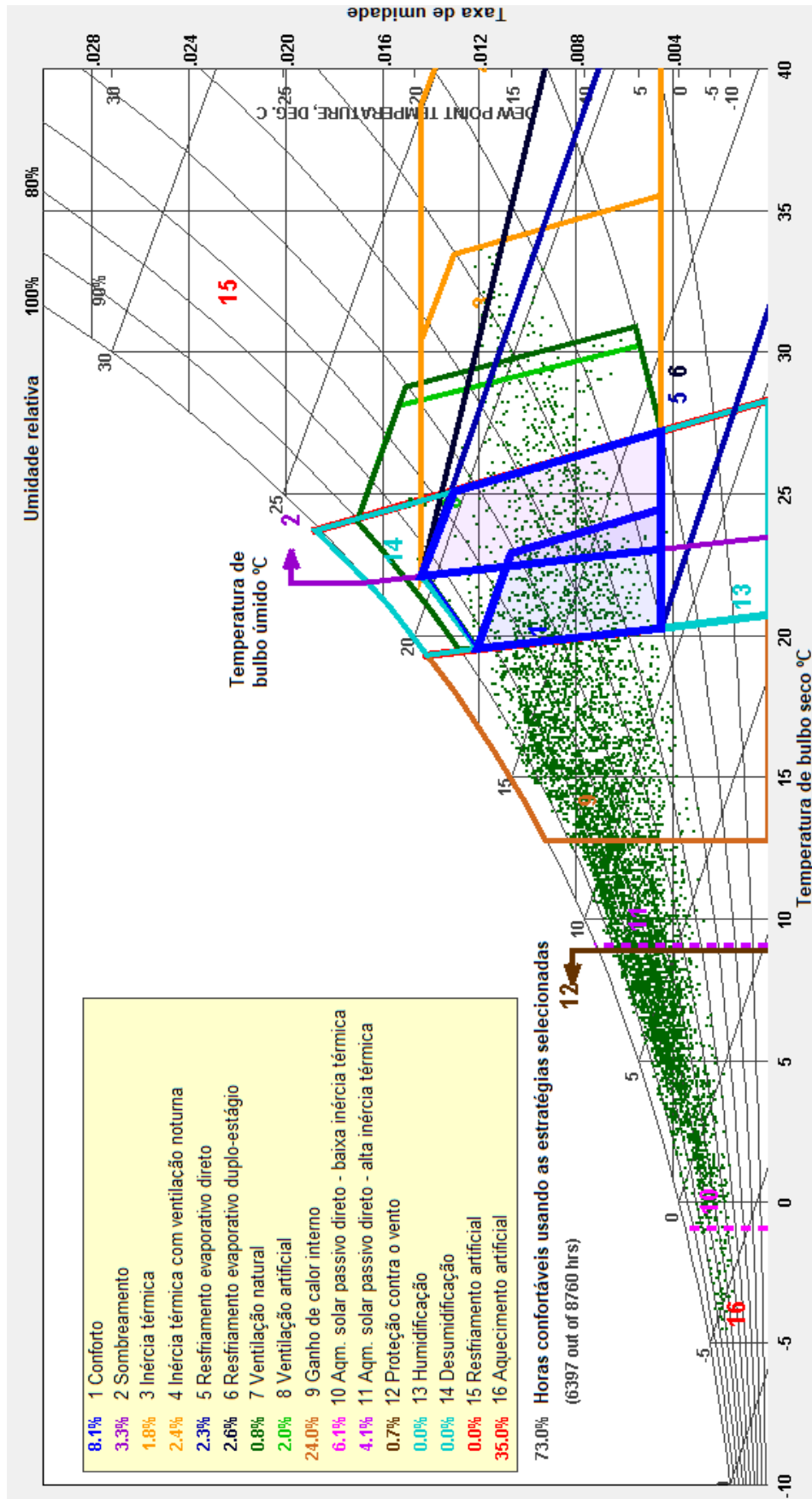


Figura A.4 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 4
Fonte: os autores (2018)

A.5 PONTO 5 – LCZ 8

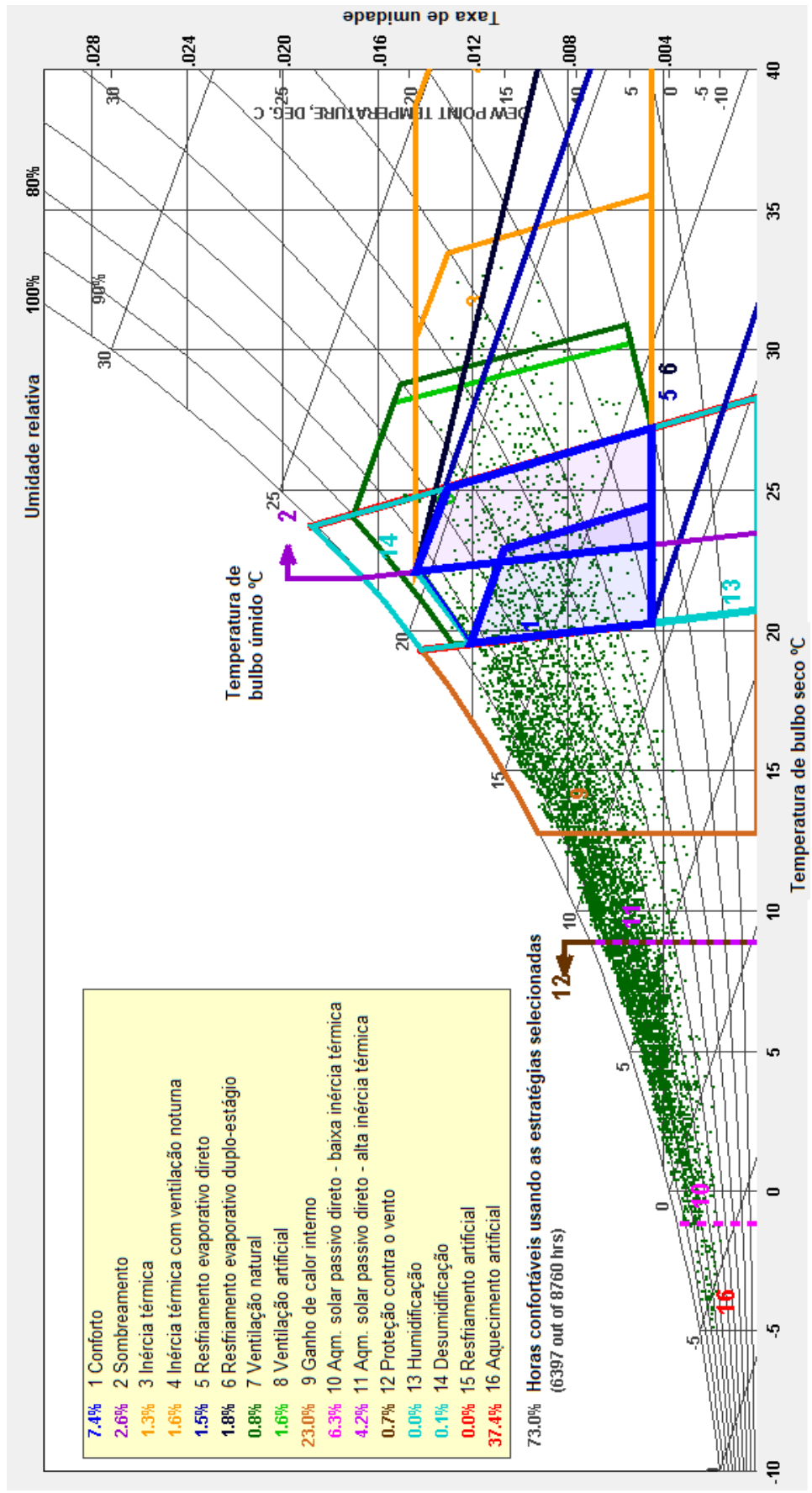


Figura A.5 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 5
 Fonte: os autores (2018)

A.6 PONTO 6 – LCZ 10

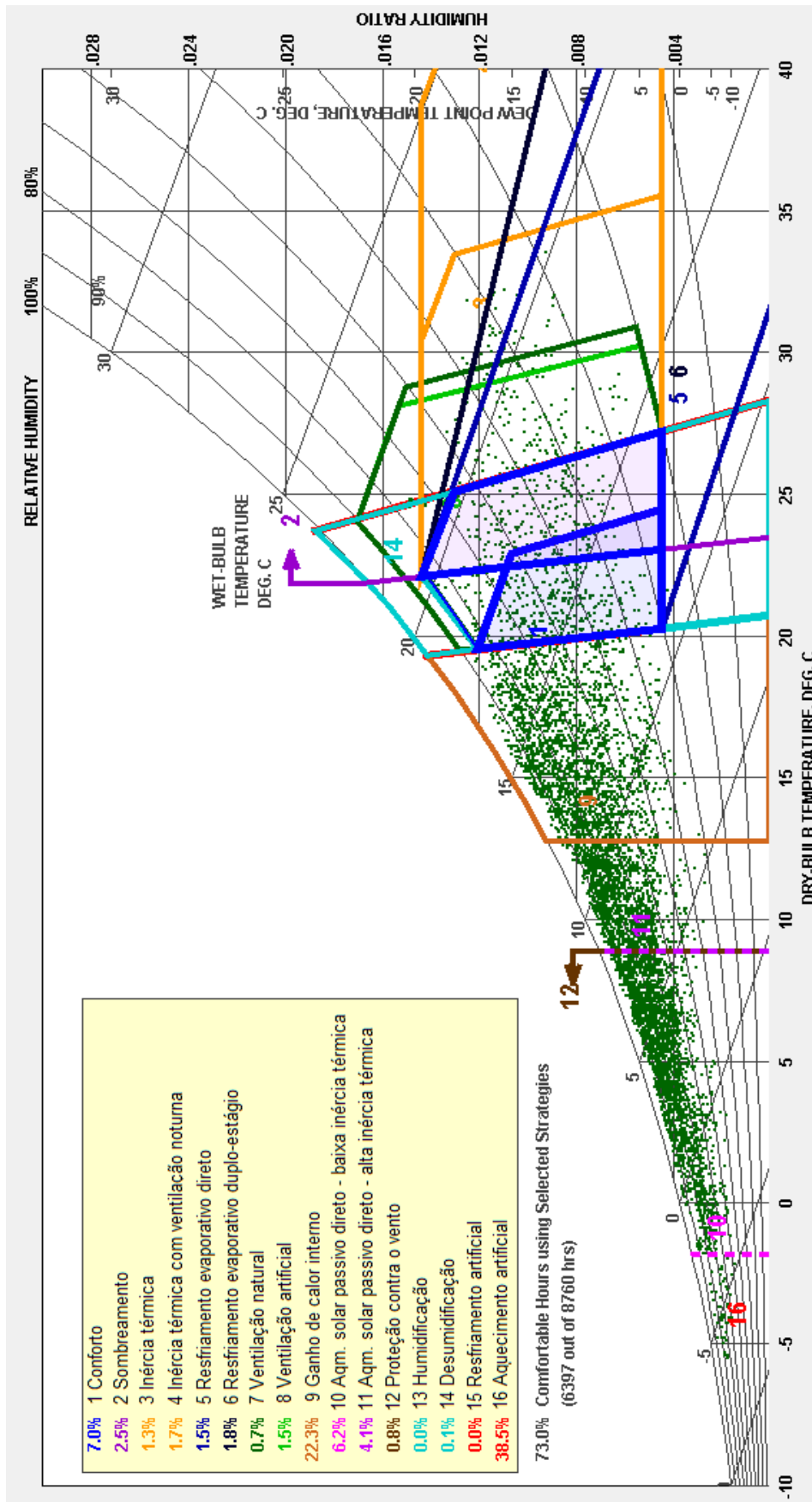


Figura A.6 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 6
 Fonte: os autores (2018)

A.7 PONTO 7 – LCZ 9

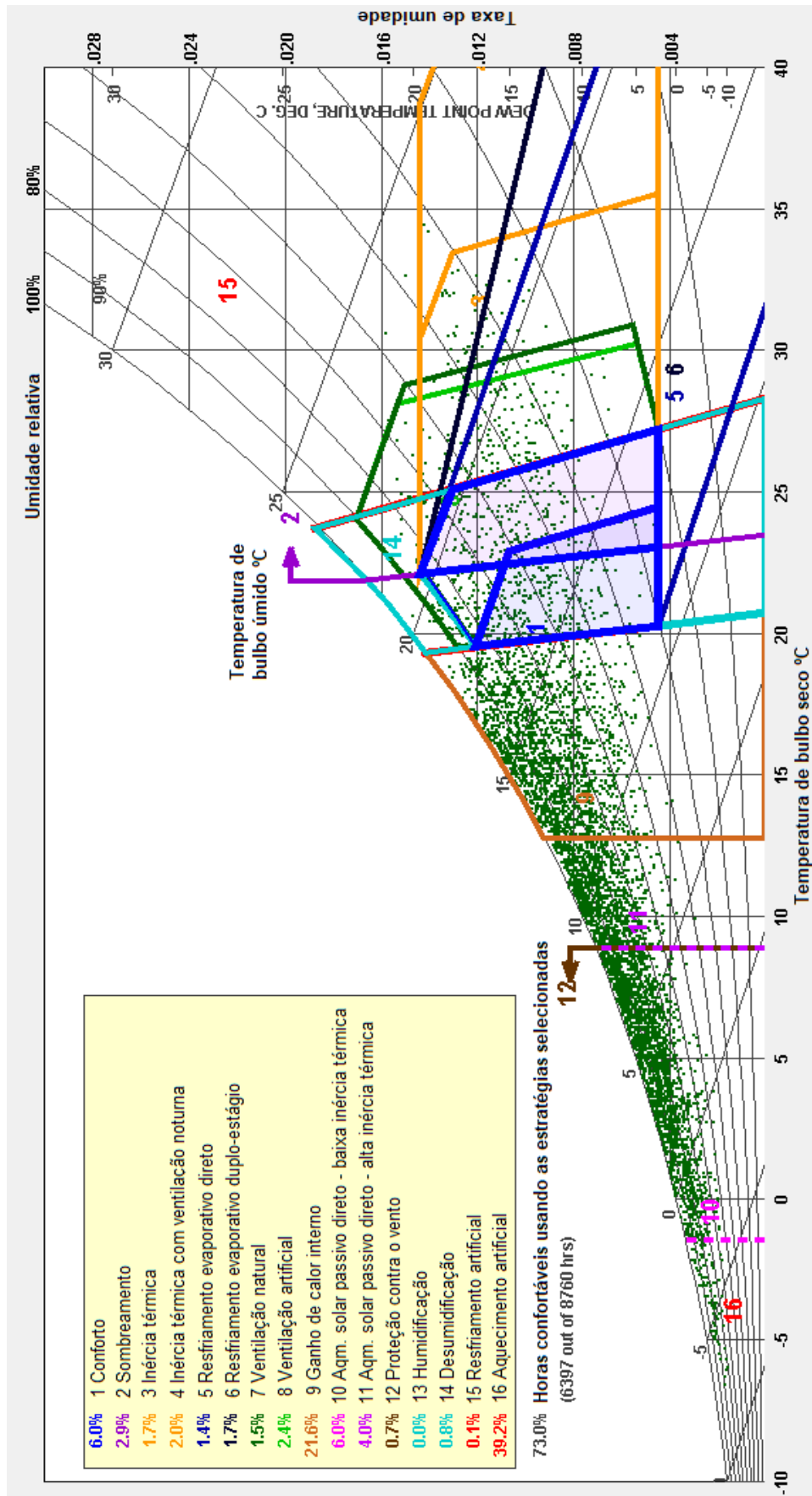


Figura A.7 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 7
 Fonte: os autores (2018)

A.8 ESTAÇÃO OFICIAL – AEROPORTO GATWICK

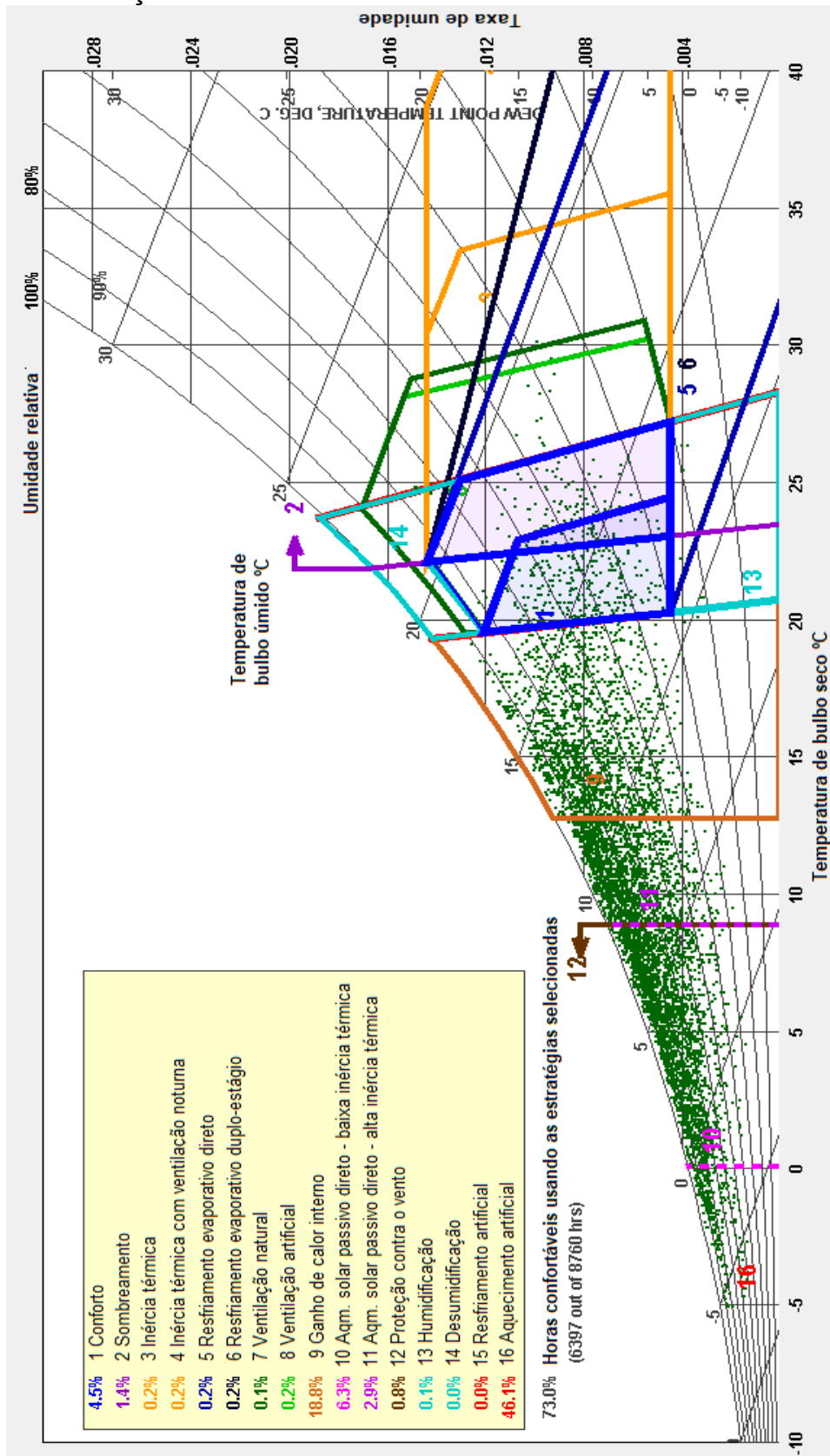


Figura A.8 – Carta psicrométrica gerada para a estação oficial Aeroporto Gatwick conforme dados de horas do transecto L-O
Fonte: os autores (2018)

APÊNDICE B

CARTAS PSICROMÉTRICAS GERADAS PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO TRANSECTO NORTE-SUL

B.1 PONTO 8 – LCZ 6

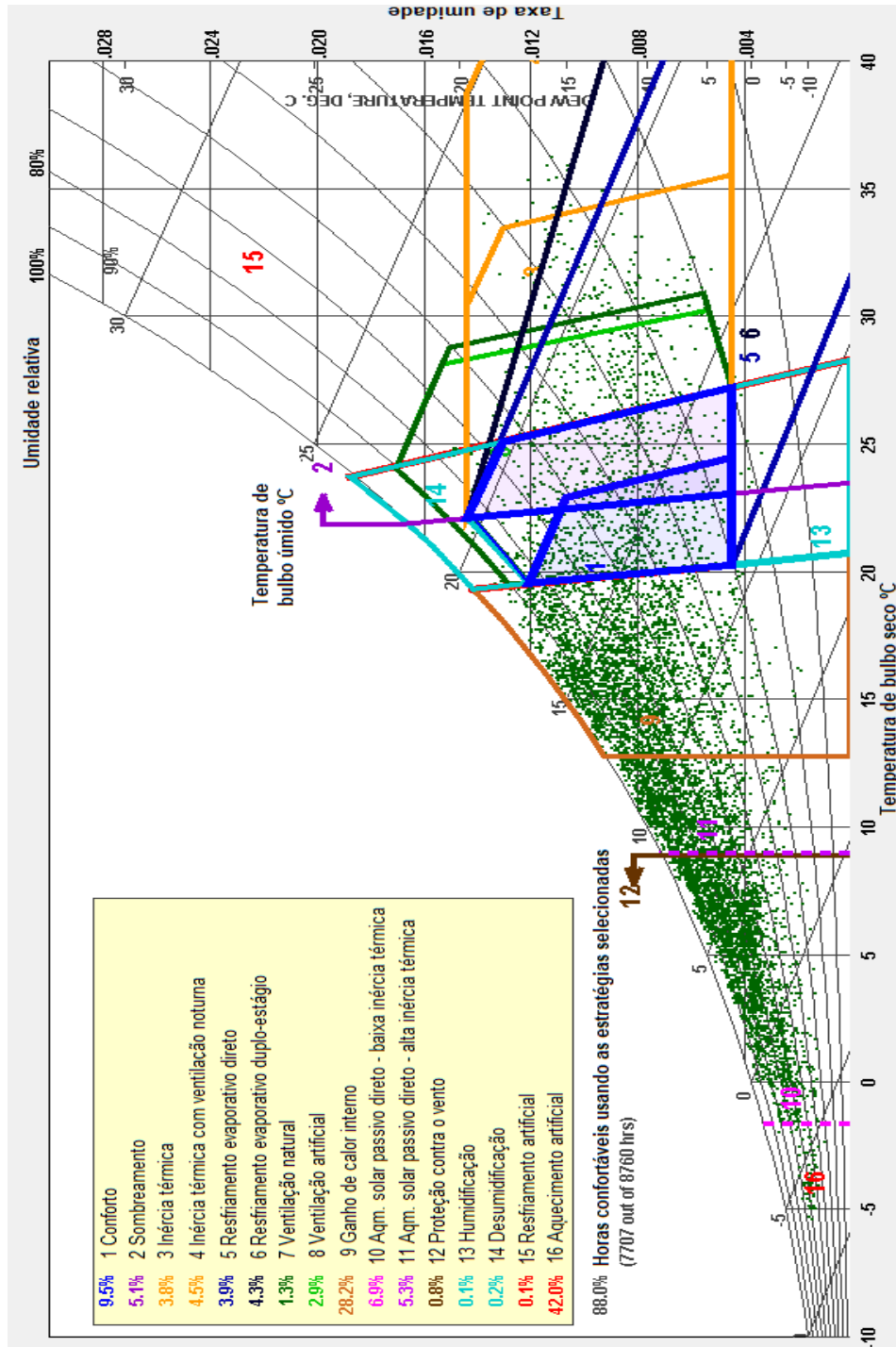


Figura B.1 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 8
Fonte: os autores (2018)

B.2 PONTO 9 – LCZ 9

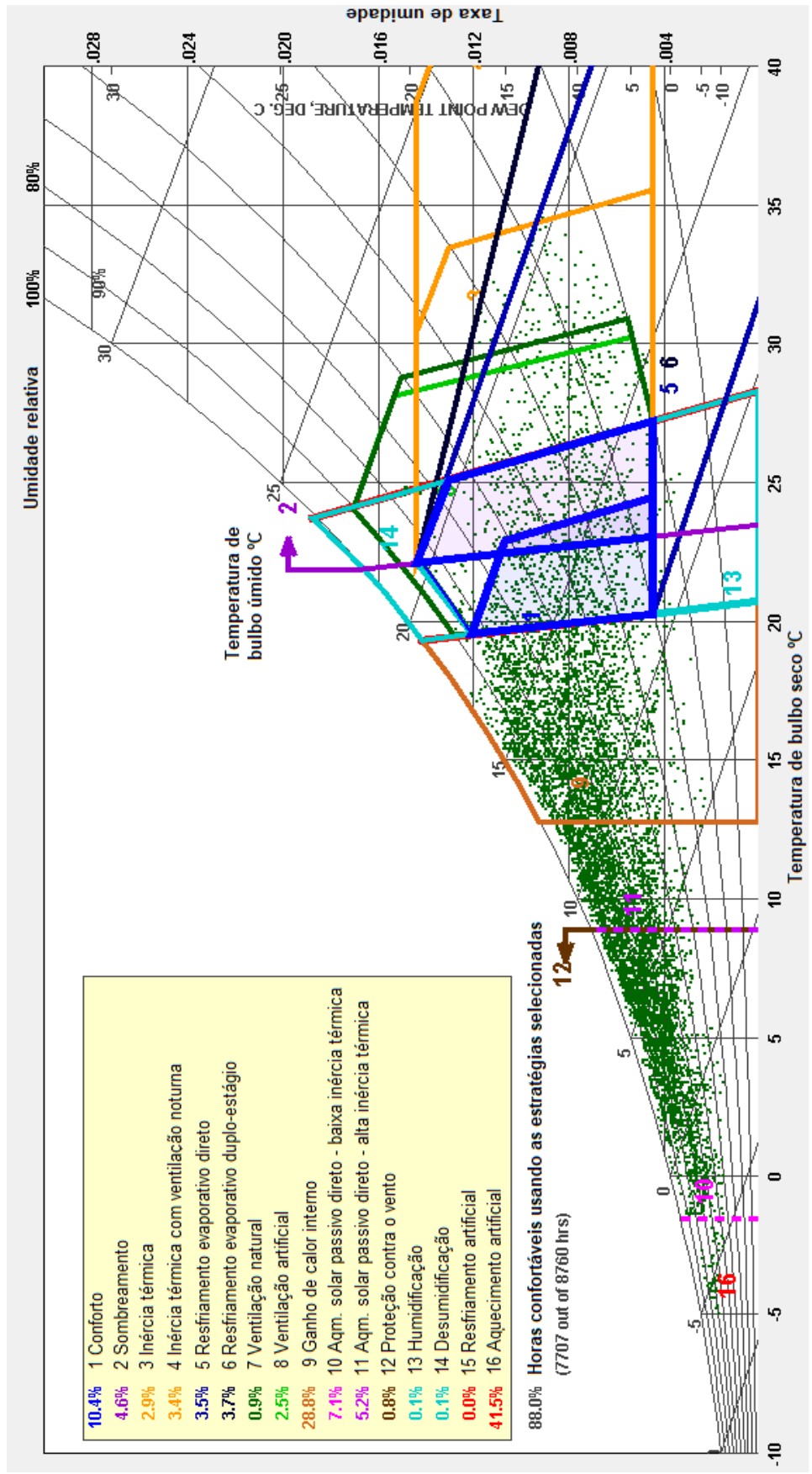


Figura B.2 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 9
 Fonte: os autores (2018)

B.3 PONTO 4 – LCZ 4

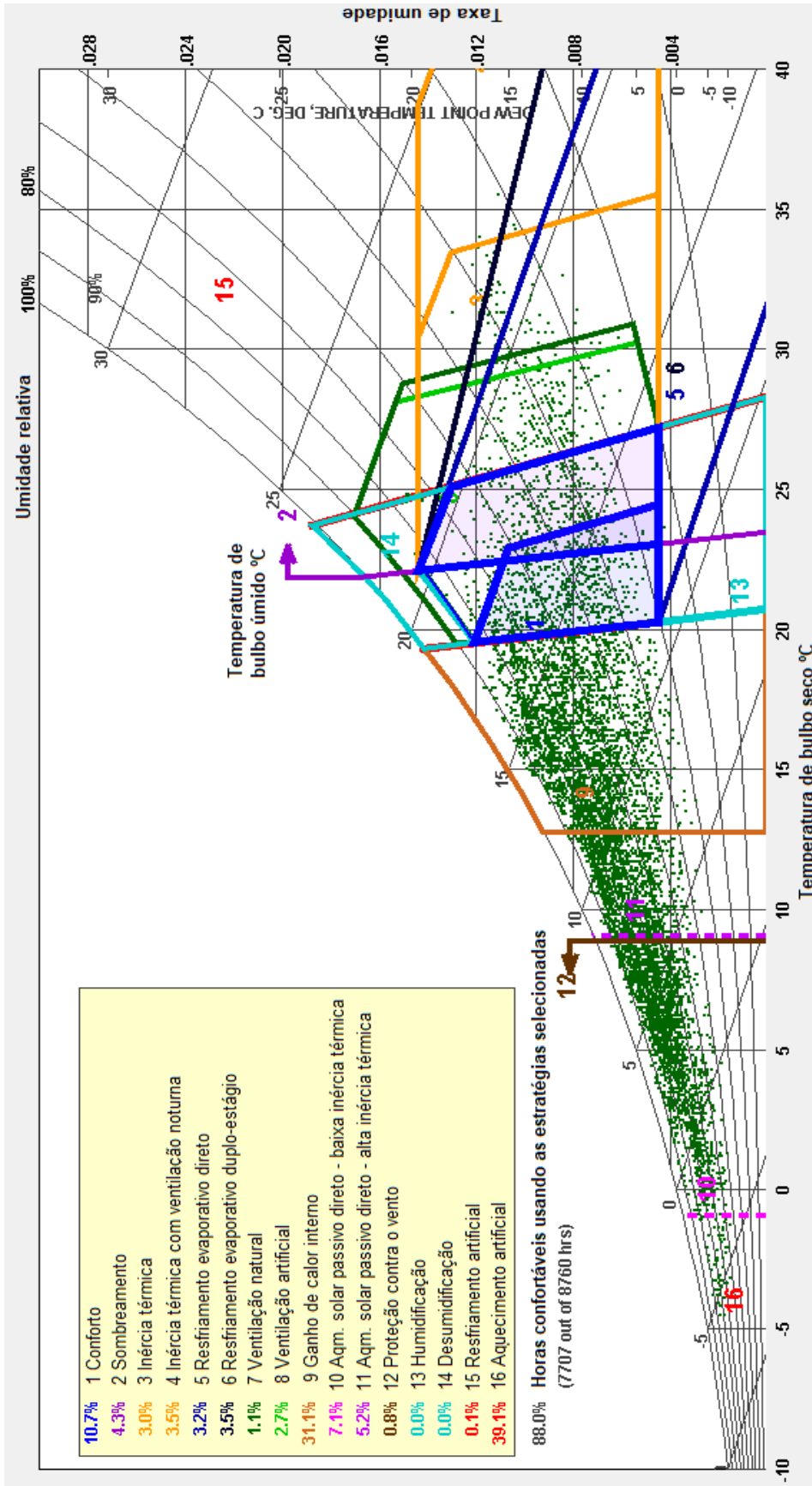


Figura B.3 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 4
 Fonte: os autores (2018)

B.4 PONTO 10 – LCZ 5

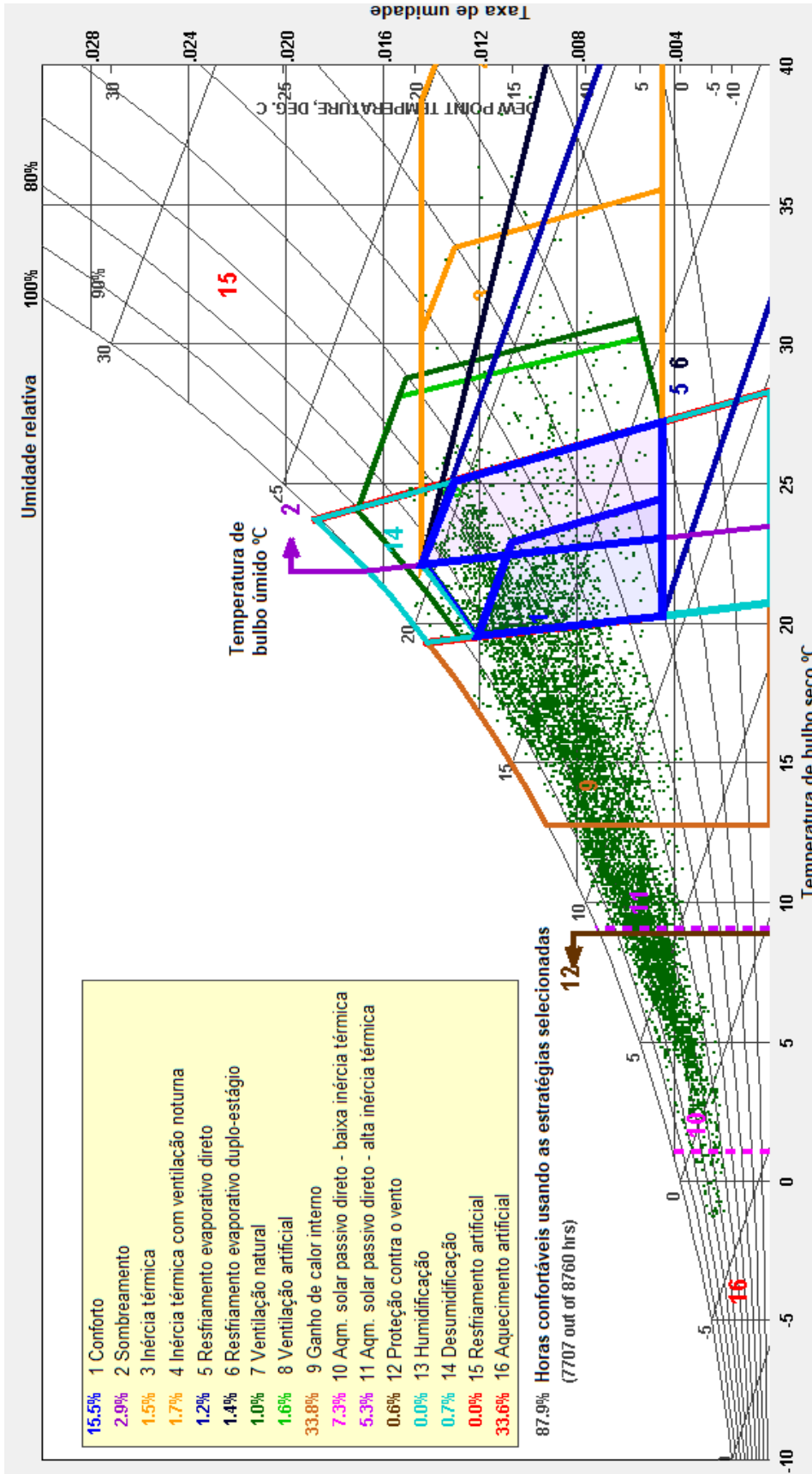


Figura B.4 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 10
Fonte: os autores (2018)

B.5 PONTO 11 – LCZ 9

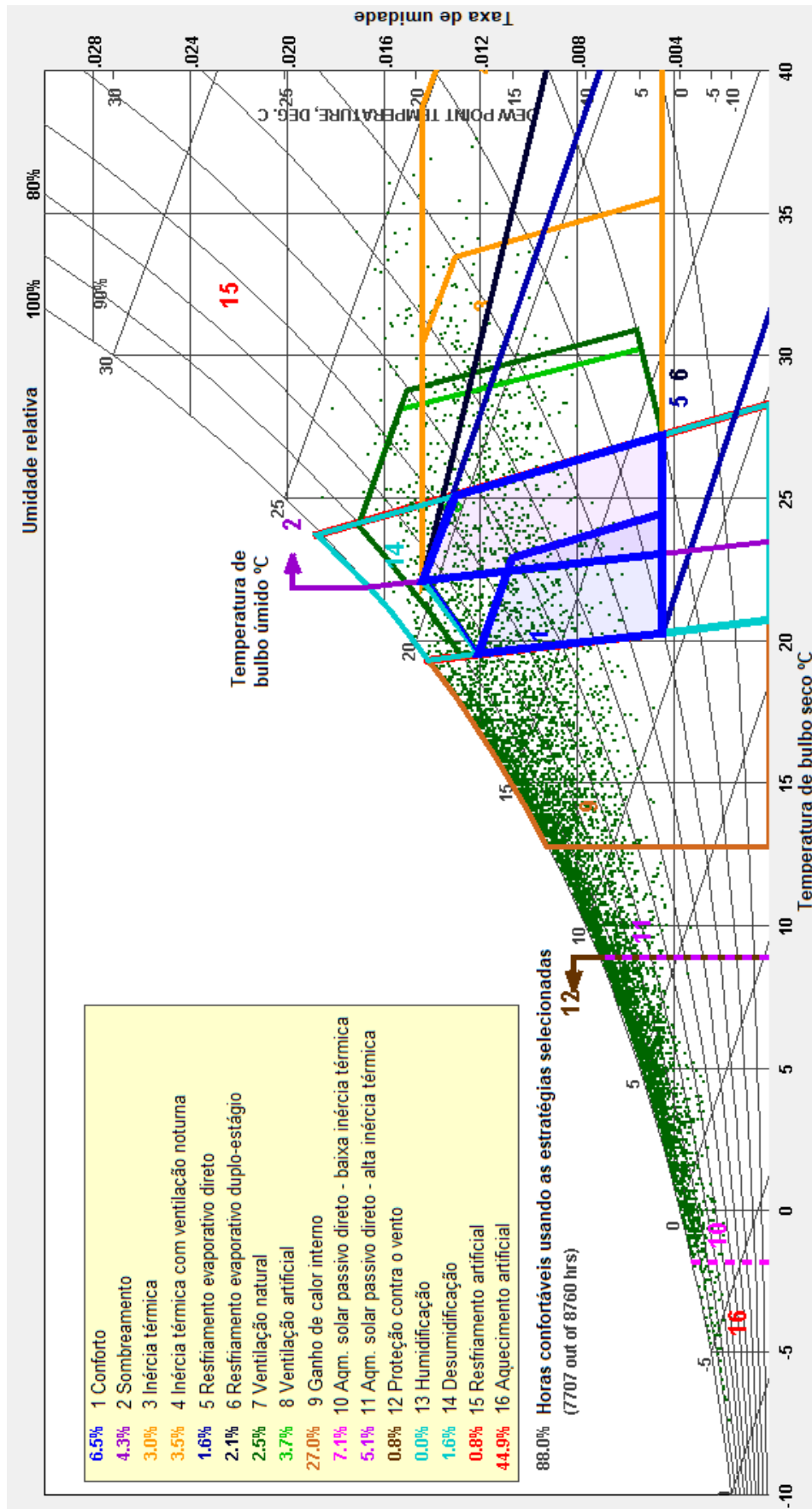


Figura B.5 – Carta psicrométrica gerada para o ponto 11
 Fonte: os autores (2018)

B.6 ESTAÇÃO OFICIAL – AEROPORTO GATWICK

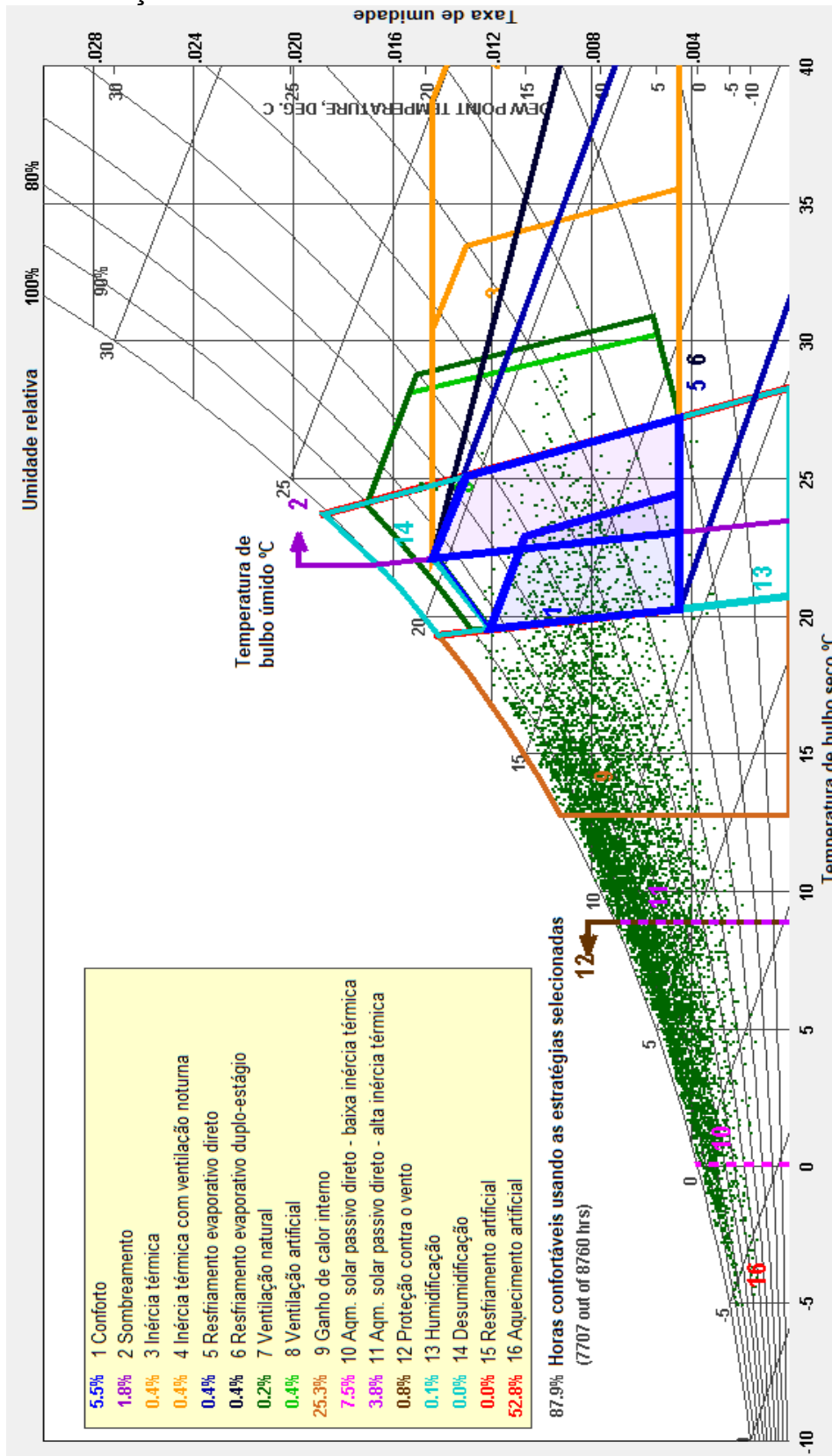


Figura B.6 – Carta psicrométrica gerada para a estação oficial Aeroporto Gatwick conforme dados de horas do transecto N-S
Fonte: os autores (2018)