

Edifício The Crystal: Desempenho e tecnologias sustentáveis

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.003-001>

Tabata Genovese Shinoda

Ocupação: Estudante de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Grau de formação mais alto: Ensino Médio

Instituição acadêmica: Colégio Cidade de Itu – Anglo.

E-mail: tabatagshinoda@gmail.com

Célia Regina Moretti Meirelles

Grau de formação mais alto: Professor Doutor

Instituição acadêmica: Universidade presbiteriana Mackenzie

E-mail: celiaregina.meirelles@mackenzie.com

RESUMO

A preocupação com a sustentabilidade como fator indispensável nas construções vêm desenvolvendo-se ao longo das últimas décadas, juntamente com o crescente debate sobre a incorporação desta temática na construção civil, de modo que a eficiência e a experiência dos usuários sejam cada vez mais qualitativas e proveitosas. No ramo arquitetônico, há uma grande preocupação em relação ao aprimoramento dos estudos de soluções ecológicas, as quais reinventam técnicas construtivas, materialidades e a aplicação das fontes energéticas. Nesta pesquisa, utiliza-se como metodologia principal o estudo de caso, focado no edifício The Crystal, situado em Londres, no Reino Unido, o qual atualmente abriga a prefeitura da cidade. Neste sentido, o objetivo da pesquisa é analisar a conexão entre a climática local em conjunto com as principais estratégias sustentáveis e tecnológicas aplicadas ao projeto, através de simulações digitais, maquetes físicas e análises críticas. O edifício se caracteriza como uma construção de grande referência no ramo da sustentabilidade, ao ser projetado pela empresa Siemens, como parte do programa “Cidades Sustentáveis de Londres”, sendo premiado devido às suas características de eficiências energéticas e pela aplicação da arquitetura bioclimática em sua concepção. Esta construção, contempla o contexto de desenvolvimento sustentável em diversas temáticas, como em seus sistemas bioclimáticos alimentados por bombas de calor geotérmicas, a utilização de energias renováveis, a efetiva aplicação da ventilação natural e a utilização de materiais altamente eficazes para conforto térmico, as quais, em suma, convertem este projeto como referência na temática da sustentabilidade e serão estudadas e detalhadas dentro desta pesquisa.

Palavras-chave: The Crystal, Estratégias Sustentáveis, Arquitetura Bioclimática.

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o mundo experienciou desastres e catástrofes como resultado do aumento das temperaturas, alimentadas pelo uso de fontes de energia não renováveis, como na queima de combustíveis fósseis para a geração de energia. Ademais, os gases do efeito estufa são um dos principais fatores causadores do aquecimento global, devido ao aprisionamento de calor na atmosfera terrestre e a produção destes gases, resultante da falta de desempenho das construções civis ao longo de suas vidas úteis. Dado este contexto, é imprescindível a inclusão do princípio da aplicação da sustentabilidade na arquitetura como um todo, desde antes do projeto ser construído até a sua demolição. (CLIMATE ACTION TRACKER, 2022)

No ramo arquitetônico, surge esta temática a partir da Agenda 21, realizada em 1992, e os conceitos evoluíram desde então, com o apoio das convenções realizadas pela ONU e, ademais, com as convenções do clima, as “COP” (Convenção das Partes), que ocorrem anualmente. Estes, definem os instrumentos indispensáveis para o planejamento das edificações e fornecem um grande elo de conexão entre a eficiência ambiental e a sustentabilidade urbana. Por outro lado, uma significativa parcela da matriz energética mundial, voltada para o setor construtivo, se utiliza das fontes não-renováveis e, de acordo com o Global Status Report de 2017, acarreta a geração de 40% das emissões de CO₂, além da energia gasta nestes edifícios, que é maximizada quando não se tem a preocupação e/ou utilização das estratégias bioclimáticas, fundamentais para a sustentabilidade.

A arquitetura bioclimática consiste em seu embasamento na utilização de critérios sustentáveis e condições climáticas locais (incidência dos raios solares, localização, ventos e vegetações existentes, por exemplo) como componentes imprescindíveis para a obtenção de um conforto térmico adequado. A partir destas fontes ambientais que são existentes e, em conjunto com a integração e aplicação de estratégias sustentáveis, é possível obter resultados que impactam diretamente na redução dos efeitos dos gases do efeito estufa e na diminuição das consequências do aquecimento global. Assim sendo, faz-se necessário que no setor arquitetônico haja a adequação ao clima, a fim de criar espaços que proporcionem conforto ao ser humano, e que amenizem as sensações de desconforto impostas por climas mais severos (FROTA; SCHIFFER, 2003), além da consideração do conhecimento tradicional da região (COSTA, 2007).

Com este cenário, o objetivo desta pesquisa é avaliar e observar, através de um estudo de caso (tido como metodologia principal), as estratégias sustentáveis e suas aplicações dentro da construção civil pelo mundo, e, analisar como esse sistema se conecta e se integra ao clima local, a partir de experimentações e simulações digitais. Têm-se como objeto da pesquisa o edifício *The Crystal*, antiga sede de exposições da empresa *Siemens* e atual sede da prefeitura de Londres, pois esta construção é considerada uma grande referência na área da sustentabilidade, devido à utilização de estratégias bioclimáticas construídas de forma inteligente e otimizada, voltadas para o conforto ambiental.

Ademais, o projeto alcançou duas certificações, com os patamares mais altos dos padrões de certificações internacionais de sustentabilidade, o LEED Platinum e o BREEAM Outstanding. (WILKINSON EYRE ARCHITECTS, 2022)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de desenvolvimento sustentável foi criado em 1987 no Relatório *Brundtland* apresentado pela ONU, com a preocupação de preservar as reservas naturais devido ao modo de produção extrativista. Com isso, o desenvolvimento sustentável deveria atender “as necessidades do presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras”. Esta definição retrata como a sustentabilidade, em sua essência, é a preocupação de manter o ambiente em que se reside saudável e confortável, com a atenção de manter a integridade do local sem causar a falta de recursos no futuro. (BRUNDTLAND, 1991, p.1)

Segundo Gauzin-Müller (2002), a partir de seus estudos, observa que uma boa parte da matriz energética mundial ainda se utiliza demasiadamente de fontes não-renováveis e que, conseqüentemente, não haverá quantidade de fontes suficientes para futuras gerações. Além disso, de acordo com o Global Status Report, de 2017, o setor construtivo era responsável por 40% das emissões de CO₂ e, a energia gasta nesses edifícios é maximizada quando não há integração com estratégias bioclimáticas, consideradas uma solução preferível a fim de minimizar os gastos energéticos, além de promover conforto e aumentar a vida útil das construções. Estas estratégias são definidas como aquelas projetadas com base no clima local e, ao mesmo tempo, pretendem promover o conforto térmico (CRES, 2017), além de serem ponderadas desde o início do projeto, associado ao estudo climático. (FROTA, 1979) (GIVONI, 1992)

Em complemento deste pensamento, Schmid (2005), cita em seu livro sobre sua percepção no decurso das descobertas científicas e tecnológicas ao passar dos séculos. Ademais, o autor também destaca o descuido e o esquecimento dentro da construção civil para com as características pré-estabelecidas e determinantes de um certo local: “houve contribuições efetivas ao desempenho energético, já que os conhecimentos em isolamento térmico e ventilação também avançaram. Entretanto, conhecimentos tradicionais de adaptação ao clima local foram sendo esquecidos.” Para mais, Schmid também se posiciona à forma que as construções são planejadas “à elegância das formas nem sempre correspondia a elegância das soluções técnicas.”, além da ênfase da falta de planejamento de estratégias sustentáveis quando aponta o seguinte pensamento “as pretensas máquinas de morar e trabalhar dependiam de portentosos sistemas de climatização”.

Assim, o conforto ambiental na Arquitetura e Urbanismo tem como um de seus principais objetivos a viabilização dos assentamentos humanos, em associação às condições básicas e necessárias de habitabilidade, estas que se adequam às condicionantes do meio ambiente natural, além do social,

econômico e cultural (SCHMID, 2005). Em adição, a qualidade de vida em uma moradia está intrinsecamente ligada às técnicas construtivas aplicadas à ela e, por conseguinte, ao projeto de arquitetura adotado. A contribuição das técnicas passivas e bioclimáticas incorporadas desde o início deste planejamento possibilita uma incrementação direta no conforto térmico e ambiental, além de viabilizar a minimização do uso das tecnologias ativas, de modo a contribuir diretamente com o meio ambiente. (KEELER; BURKE, 2010).

Em entrevista ao CAU do Rio de Janeiro, Richar de Dear (2020, internet) destaca que as “estratégias bioclimáticas devem ser implementadas de formas passivas e, como consequência, diminuir o consumo de energia nas edificações”. Além disso, Gurgel (2012, p. 41 e 42) também recomenda em seu livro a inserção das estratégias passivas em diferentes tipos de clima. A título de exemplo, no clima frio recomenda como estratégia passiva: “uma maior exposição solar pelo edifício”; “criar um envelope para manter o calor dentro do edifício”; “evitar a infiltração do ar frio”; “proteger portas de acesso externo dos ventos frios”; “evitar a perda de calor por condução (isolamento térmico)”; “promover a circulação do ar quente por convecção”.

Outro exemplo de solução para climas frios é segundo Lee Lanterman (2014), no qual destaca a sistemática de bombas de calor, que apresentam os mesmos princípios da geotermia e, portanto, tem a função de transferir a temperatura da Terra para a parte interna das edificações. A bomba é constituída por um sistema fechado que trabalha de forma inversa ao clima e, por isso, em locais de frio intenso o calor pode ser coletado a poucos metros da superfície, sendo levado para as unidades transformadoras a fim de apanhá-lo para conceder maior aquecimento. Da mesma maneira, em climas de calor intenso o processo se tornará inverso e o sistema capta o frescor da terra com a intenção de refrescar o edifício.

Em suma, a aplicação da arquitetura bioclimática torna-se imprescindível no ramo das construções, devido à sua extrema importância para com a sustentabilidade e com a viabilização da forma de morar e, pode ser definida como o estudo que visa a harmonização das construções com as características bioclimáticas de cada local, para otimizar a utilização dos recursos naturais disponíveis, tais como a luz solar e o vento, gerando conforto e, conseqüentemente, a promoção de uma relação harmônica entre a paisagem e a construção, levando como pauta o microclima e seus recursos naturais disponíveis. (NEVES, 2006).

Nesta pesquisa, outra temática que será abordada é a de construções que aplicam o conceito “Quase Zero Energia” (*Net-zero energy*). Este tipo de edificação pretende viabilizar a economia de energia, com a integração funcional de todos os sistemas da edificação, sendo esses: a geração de energia, automação predial, isolamento térmico e condicionamento do ar interno, todos integrados no projeto bioclimático. Preferencialmente, a energia neste conceito provém de fontes renováveis com a possibilidade de produção no próprio edifício, como o uso de painéis fotovoltaicos. (TORCELLINI et al., 2006)

3 METODOLOGIA

3.1 REVISÃO DA LITERATURA

A recapitulação da literatura será realizada por todo o estudo, a partir da pesquisa dos conceitos de energia net-zero, eficiência energética, características da arquitetura bioclimática e sustentabilidade na arquitetura.

3.2 VISITA TÉCNICA AO LOCAL

Visita às dependências do edifício, realizada em julho de 2022, com financiamento próprio, para a coleta de dados e entrevista com técnicos e representantes do local.

3.3 SIMULAÇÃO DIGITAL COM OS SOFTWARES ENVI-MET E ANDREW MARSH

Simulação digital produzida a partir do Software “Envi-Met”, que permite a compreensão das dinâmicas no clima urbano e seus impactos, a partir da morfologia urbana, da configuração do solo e dos efeitos provocados pela utilização da vegetação. O estudo foi realizado no laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campus Higienópolis, a fim de avaliar os tópicos de insolação no entorno da edificação. Já a simulação realizada pelo software “Andrew Marsh” é voltada para o estudo da estratégia bioclimática proposta para a insolação solar, com o foco nas fachadas, durante os solstícios de verão, inverno e os equinócios, a fim de maior compreensão e visualização das zonas críticas e a soluções propostas no projeto.

3.4 SIMULAÇÕES EM MAQUETES FÍSICAS

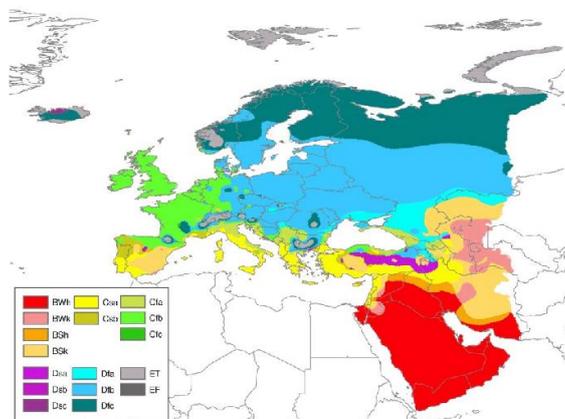
Análise das estratégias de ventilação a partir da utilização de dois modelos físicos em escala reduzida para o entendimento da relação das aberturas, como a ventilação, o efeito chaminé e os caminhos dos fluxos de ar dentro de diferentes espaços, definidos pelo volume interno da edificação. As maquetes foram expostas em experimentos com fumaças direcionadas (com o intuito de simular um túnel de vento), em busca do entendimento em relação aos caminhos dos fluxos de ar, por meio de fotografias tiradas no laboratório de conforto ambiental da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na região de Londres, situada no sudeste da Inglaterra, o clima é influenciado pelo oceano, com um clima marinho ameno e úmido, sem estação seca e com verões quentes. Já a precipitação intensa ocorre durante o inverno, sendo considerado ameno, e dominado por ciclones de latitude média. A sazonalidade é moderada, com a classificação de Köppen-Geiger como “Cfb - clima oceânico temperado” (KÖPPEN ET AL.,2006). Segundo a base climática do WeatherSpark (2023), o verão é curto com "inverno longo, muito frio e de ventos fortes". Ao longo do ano, as temperaturas oscilam

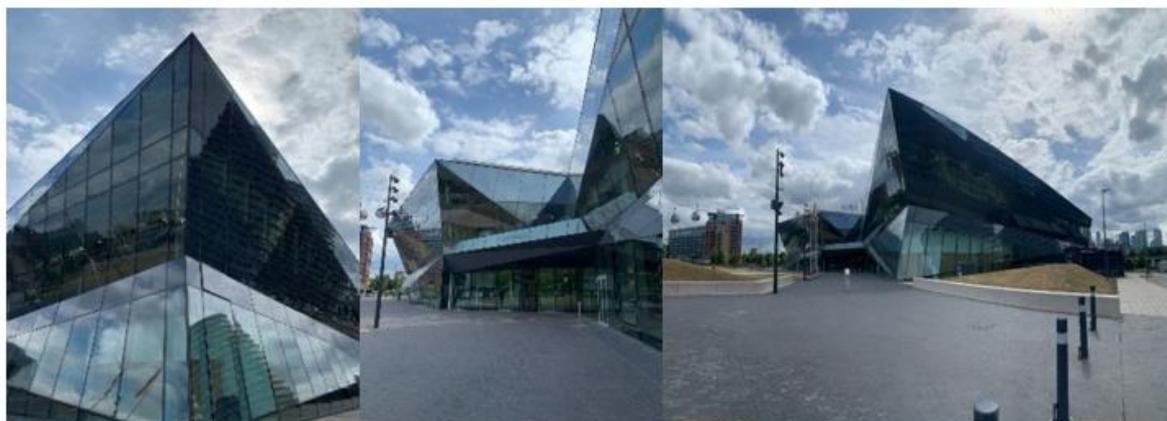
entre “4 °C a 23 °C”, em situações de anormalidade, e podem variar abaixo de zero, "de -1 °C a 29 °C".

Figura 1. Zonas Climáticas de Köppen-Geigen



Fonte: Köppen et al. (2006)

Figura 2: Vistas externas do edifício The Crystal



Fonte: fotografias produzidas pela autora (SHINODA,TABATA), realizadas na visita técnica ao local (Julho,2022)

O edifício possui uma área de 6,3 mil metros quadrados, sendo projetado em 2011, pelo escritório de Wilkinson Eyre Architects, primordialmente, era um grande centro de exposições, pesquisas e conferências da empresa Siemens, com o intuito de fomentar novas descobertas e debates sobre inovação, qualidade de vida e “desenvolvimento urbano sustentável”. Porém, em meados de 2022, a prefeitura de Londres se instaurou no local.

Figura 3. Atual vista interna do local



Fonte: foto produzida pela autora (SHINODA, TABATA), realizada na visita técnica (Julho, 2022)

Figura 4. Antigo centro de exposições



Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022)

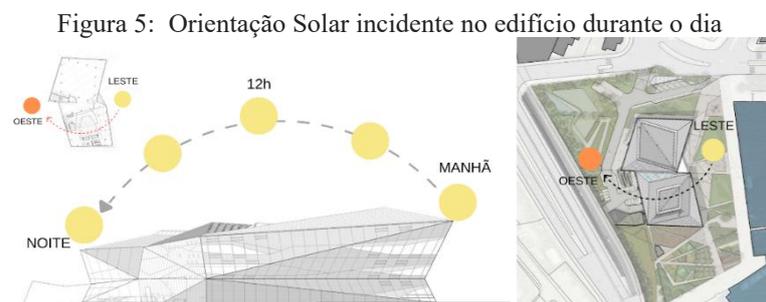
Atualmente, a construção encontra-se com poucos locais destinados à visitação pública, devido à preservação da segurança para com a prefeitura. Na Figura 3, encontra-se o atual pátio central, onde se construiu algumas salas de reuniões para o governo de Londres e, na Figura 4, pode-se perceber o mesmo local, porém, com seu antigo propósito, destinado ao antigo centro de desenvolvimento urbano sustentável da Siemens. As antigas instalações do edifício detinham exposições interativas relacionadas à arte, urbanismo e tecnologia, uma grande variedade de shows audiovisuais, que aconteciam pela fachada do edifício, além de conferências como o programa Habitat da ONU, em 2012, e a conferência “Digital Life Design Cities” (SIEMENS AG, 2012), além de eventos de lançamentos voltados à tecnologia e sustentabilidade. (WILKINSON EYRE ARCHITECTS, 2022)

5 ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS DO EDIFÍCIO

A fim de compreender esta temática, o estudo da insolação do projeto, situado em Londres, no Reino Unido, foi realizado a partir de uma simulação digital, no software Andrew Marsh e, para isto, foi importante situá-lo de modo georreferenciado, levando em consideração suas geometrias, entradas, aberturas e as posições das fachadas, que serão analisadas abaixo.

Assim, como mostra a elevação do edifício na Figura 5, estas fachadas foram projetadas de modo a se pensar no conforto do usuário: o principal acesso do edifício fica ao leste, onde o sol nasce e é mais ameno, ao meio-dia, o sol está sobre as aberturas zenitais, localizadas na cobertura e, ao final

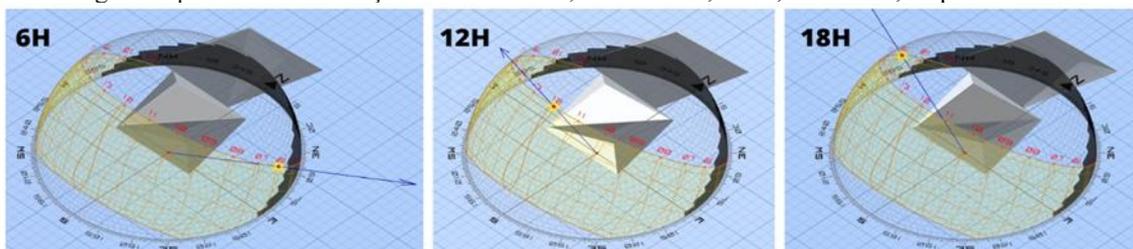
do dia, o sol da tarde ilumina as escadas entre os andares e saída do prédio, o que ocasiona uma iluminação suave nestes espaços de transição, como mostra a figura 5 (AKBAR, 2021) (QI *et al.* 2022).



Fonte: QIU *et al.*,2022

O desenvolvimento do mapeamento dinâmico da luz natural, através do software Andrew Marsh, tem como objetivo analisar os períodos de insolação e suas obstruções, as quais impactam diretamente nas fachadas do edifício, durante três épocas do ano: solstício de inverno, solstício de verão e equinócios. A partir do georreferenciamento do projeto em Londres e da inserção do modelo 3D da cobertura, no aplicativo “Dynamic Overshadowing”, foi possível inferir os períodos de incidência luminosa nas fachadas (Tabela 1), pois, o grau de sombreamento no ponto escolhido no aplicativo é quantificado com base na porcentagem do céu que está ocluída no período e na data escolhida. (ANDREW MARSH, 2016)

Figura 6: períodos de insolação na fachada sul, mais crítica, às 6h, 12h e 18h, respectivamente



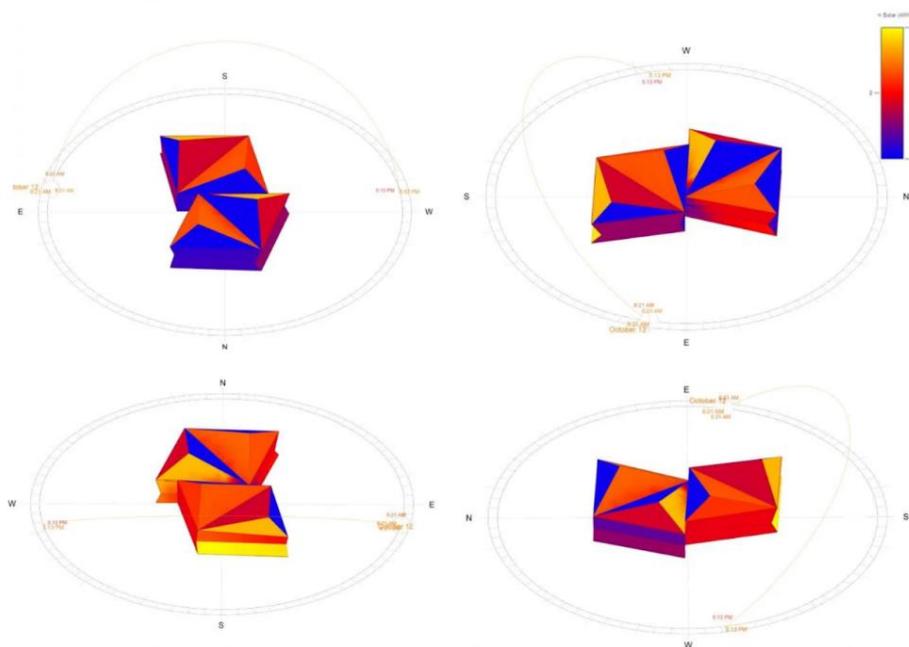
Fonte: da autora (SHINODA, TABATA), imagens retiradas da simulação digital - Andrew Marsh (2023)

Tabela 1. Planilha de maior insolação nas fachadas, a partir da simulação digital

PERÍODO DE MAIOR INSOLAÇÃO NAS FACHADAS			
Fachada	Solstício de Verão	Equinócios	Solstício de Inverno
Norte 0°	Entre 4h e 20h	Entre 7h e 18h	Mínima insolação
Leste 90 °	Entre 4h e 17h30	Entre 6h e 15h	Entre 8h10 e 13h
Sul 180°	Entre 5h30 e 19h30	Entre 6h e 18h	Entre 8h10 e 15h40
Oeste 270°	Entre 8h10 e 20h10	Entre 10h e 17h50	Entre 11h50 e 15h40

Fonte: Elaborada pela autora (SHINODA, TABATA) a partir dos resultados obtidos no software Andrew Marsh (2023)

Figura 7: Estudo da incidência solar realizado no Solar GIS



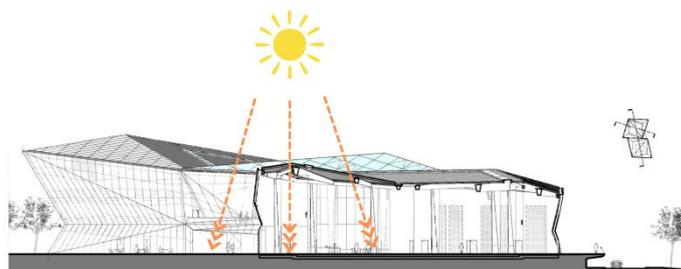
Fonte: QIU *et al.*,2022

Ao observar a Figura 7, observamos que edifício recebe uma quantidade uniforme de incidência solar e, além disso, no entorno imediato, não há edifícios que obstruem este dado, pois ao redor da construção há uma área plana extensa, com jardins e áreas para caminhadas e passeios públicos. A fachada norte é a mais fria. Por outro lado, a fachada sul está voltada para o alto ganho solar devido ao ângulo do sol. Estas informações foram confirmadas pelos autores deste trabalho, através dos dados apresentados na planilha 1, pela simulação digital no software Andrew Marsh, bem como confirmadas por Qiu *et al.*(2022), exibidas nos diagramas da Figura 7.

A solução adotada para a minimização dos efeitos das fachadas em vidro não se tornarem críticas foi o melhor aproveitamento da incidência solar, a partir de sua envoltória, pois foi aplicado um vidro solar de alto desempenho. Estes, “são vidros duplos com três tipos de painéis distintos, os quais permitem em média de 70% da entrada da luz visível, e o gás argônio isolante no vazio entre os painéis minimiza a passagem de calor”. No projeto, portanto, apenas "30% da energia solar passa pelos vidros e o edifício não é superaquecido, além de se obter um ótimo conforto térmico". (WILKINSON EYRE ARCHITECTS, 2022) (SIEMENS, 2013)

Outro recurso utilizado para promover a entrada de luz natural foi a inserção das claraboias, as quais também proporcionam o aumento do aquecimento interno, após sua exposição ao sol durante o dia. A posição de inserção destas claraboias são estratégicas e eficientes, por estarem localizadas nos pontos os quais a exposição solar é mais incidente pela cobertura. (GLA,2022)

Figura 8: Corte do edifício com a indicação da incidência solar através das clarabóias



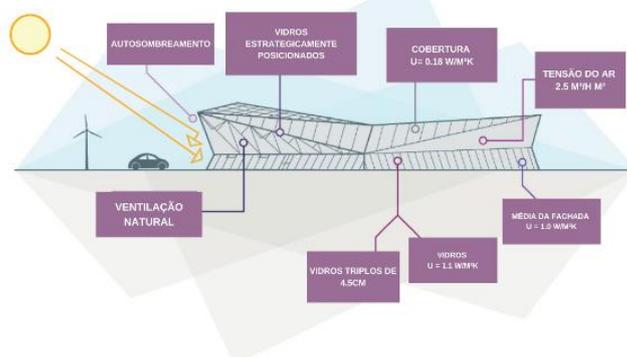
Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022) adaptado pela autora - Archdaily

Para a concepção do edifício, o elemento inspirador foi a natureza, percebida em sua geometria em formato de cristal, com duas formas de paralelogramos que contam com múltiplas facetas triangulares. Porém, “além do efeito estético, as angulações de todo o edifício, tanto em sua cobertura como em suas fachadas, são estratégias para minimizar a incidência direta do sol e para diminuir o superaquecimento da construção”, como destacam os autores QIU *et al.*, 2022.

A estrutura do edifício se utiliza do aço, a partir da utilização de um pré-fabricado de peso mínimo cortado em CNC, dos painéis de vidros, os quais permitem maximizar o aproveitamento da luz natural, e o concreto armado, que é utilizado nas 160 estacas de fundação em formato de hélice que sustentavam o edifício (os pisos também se constituem de concreto). (ABTEC BUILDING TECHNOLOGIES, 2022)

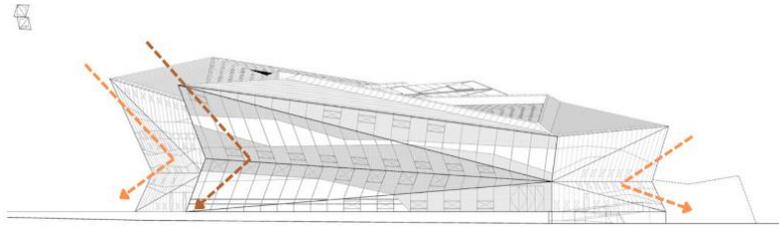
Outra estratégia aplicada para reduzir o efeito do superaquecimento e da alta incidência do brilho solar, foi a inserção dos vidros das claraboias, feitas a partir de janelas de vidro reflexivos, estes que reduzem significativamente o ganho de calor devido às suas propriedades. Em vista disso, é possível perceber o efeito do auto sombreamento nas elevações abaixo, nas Figuras 9 e 10, pois, para minimizar a "penetração direta dos raios solares através dos painéis de vidro, o vidro refletivo é usado nas superfícies, que estão voltadas para o sol, enquanto o vidro transparente é usado nas faces afastadas do sol, em direção ao solo." (GLA, 2022)

Figura 9: Estratégias da envoltente do edifício



Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022) adaptado pela autora (SHINODA, TABATA) - Archdaily

Figura 10: Auto Sombreamento na elevação do edifício



Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022) - adaptado pela autora (SHINODA, TABATA) - Archdaily

Na angulação da cobertura, são "dispostos 1.580 m² de painéis solares fotovoltaicos", que cobrem dois terços da cobertura, sendo que 20% da energia do edifício é gerada pelas placas solares. Todo o uso de energia utilizado no edifício é monitorado constantemente, e, cada quilowatt de eletricidade usado pode ser medido. (WILKINSON EYRE ARCHITECTS, 2022)

Figuras 11 e 12: Painéis solares fotovoltaicos da cobertura

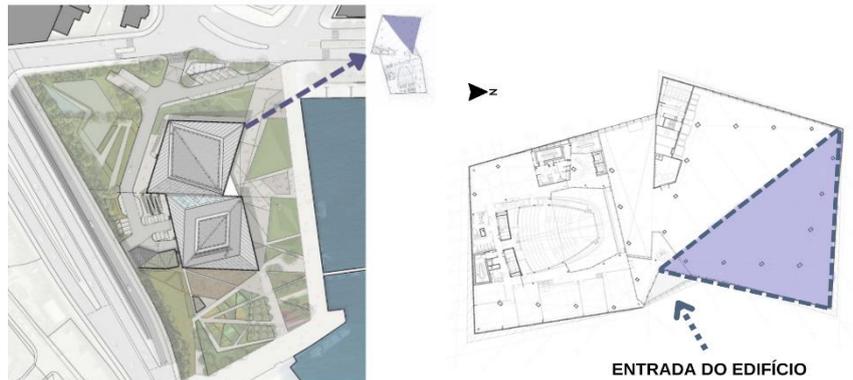


Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022)

Assim sendo, as estratégias sustentáveis adotadas por todo o projeto, como as placas solares, as aberturas zenitais na cobertura e a sua geometria, são influenciadas diretamente pelas condições climáticas locais (como por exemplo, as posições do sol sobre o edifício ao longo do dia) e, ao mesmo tempo, buscam promover o conforto térmico aos usuários.

Seguidamente, para o estudo das estratégias de ventilação aplicadas no interior do edifício, foram realizadas duas maquetes físicas em escalas reduzidas, para o entendimento da relação das aberturas com os fluxos de ar no interior do edifício, através da experimentação no laboratório de conforto ambiental, da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Ambos os modelos foram adaptados e reproduzidos a partir da planta do térreo, com suas aberturas, indicada abaixo (Figura 13).

Figura 13. Indicação na planta de implantação



Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022 b), adaptado pela autora (SHINODA, TABATA) - Archdaily

Para a primeira experimentação (Figura 14), foi realizada uma maquete de maior escala, tendo como principal objetivo a análise da ventilação e a percepção dos caminhos do fluxo de ar nas aberturas nas fachadas, consideradas totalmente abertas para este primeiro estudo. É possível observar este fluxo através do uso de incensos, posicionados na parte inferior, e a saída da fumaça direcionada até a abertura zenital da cobertura e nas janelas superiores.

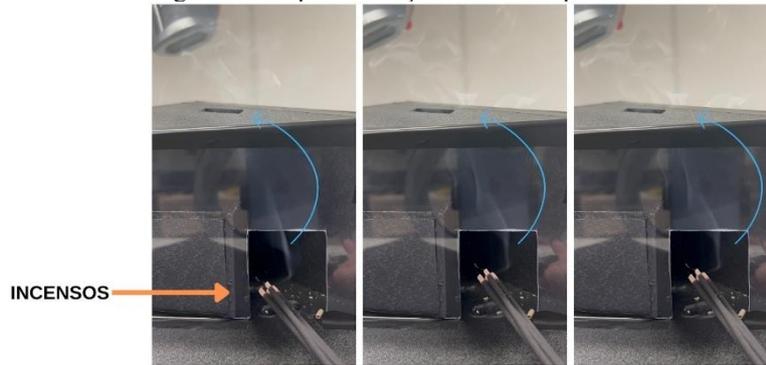
Figura 14. Experimentação com a Maquete 1



Fonte: Fotos realizadas pela autora, 2023. (SHINODA, TABATA)

Para a segunda experimentação (Figura 15), foi realizada uma adaptação, e considerou-se uma maquete de menor escala, apenas com a abertura zenital da cobertura (com sua angulação reduzida), pois sua finalidade era compreender sobre os vórtex de ar e túneis de vento no interior do edifício, em uma área que possui um grande fluxo de pessoas. Nesta escala, também é possível observar a fumaça direcionada através do uso dos incensos, porém, a saída da fumaça acima da abertura zenital (a qual representa o ar quente) é de forma mais densa e concentrada. O vórtex de ar se forma devido às barreiras físicas (como as paredes do edifício e as construções existentes, como as novas salas de reuniões).

Figura 15. Experimentação com a Maquete 2



Fonte: Fotos realizadas pela autora (2023)

Estes dois modelos comprovam a eficiência da ventilação natural nos projetos de arquitetura quando são pensados em conjunto, esta estratégia busca a economia com ar condicionado e promove a renovação do ar, melhorando a qualidade do ar no interior dos ambientes. E, portanto, este é um dos itens deste projeto que se soma ao restante das estratégias sustentáveis.

Figura 16. Esquema de ventilação cruzada



Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022 b), adaptado pela autora (SHINODA, TABATA) - Archdaily

Figura 17. Abertura das janelas para ventilação



Fonte: QIU *et al.*, 2022

A solução adotada para os espaços que possuem um grande fluxo de pessoas, como a cafeteria e o antigo centro de exposições (agora transformado em salas de reuniões e em um espaço religioso), é garantir a ventilação natural, devido às aberturas nas fachadas do edifício, como mostra a Figura 17, e exibidas nos experimentos com as maquetes físicas (Figuras 14 e 15). Já para os espaços estritamente fechados, como as salas administrativas, se utiliza a ventilação mecânica.

Para o sistema de aquecimento e resfriamento do edifício (Figura 18), há bombas de calor geotérmicas, as quais bombeiam a água por canos que penetram no solo em até 150 metros de profundidade. As duas bombas de calor geotérmicas fornecem água quente e fria, e as bombeiam para

tubos sob o piso para aquecimento ou resfriamento. A água fria passa por uma viga montada no teto, de modo que, quando o ar quente suba atinja a viga resfriada, esfrie e desça, trazendo o ar gelado para os que estão abaixo. (GLA ,2022)

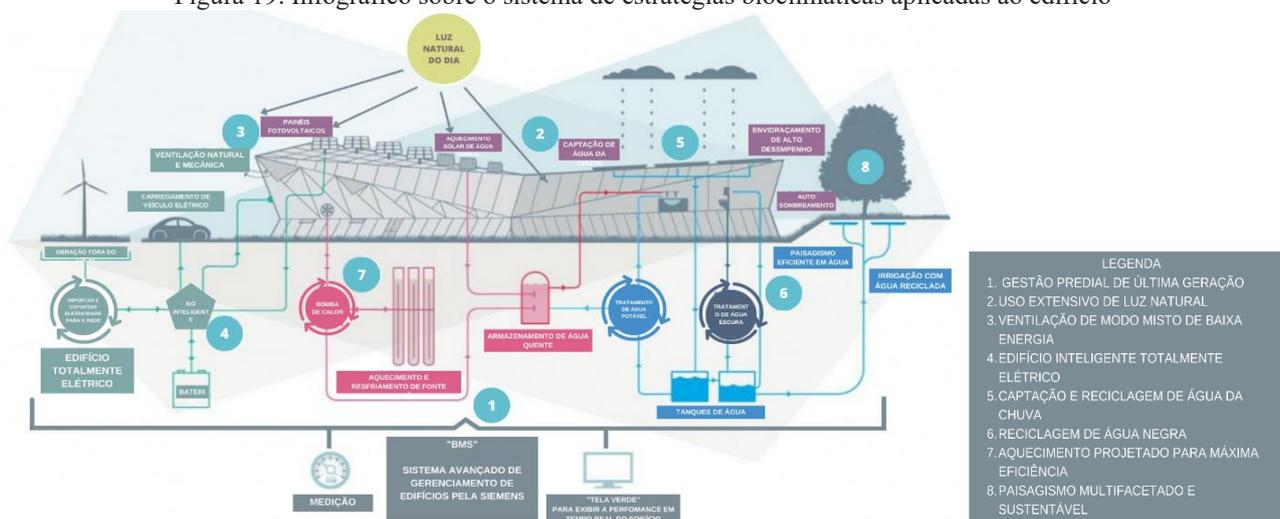
Figura 18. Sistema de aquecimento e resfriamento do edifício



Fonte: GLA (2022)

A energia é recuperada a partir de rodas térmicas. O ar de saída passa por um disco absorvedor de calor que então gira na corrente de ar de entrada, aquecendo o ar fresco. Cerca de 60% da saída de calor ou energia de resfriamento é recuperada. Ao usar fontes de calor 100% naturais, o edifício dispensa fontes externas. (GLA, 2022)

Figura 19. Infográfico sobre o sistema de estratégias bioclimáticas aplicadas ao edifício



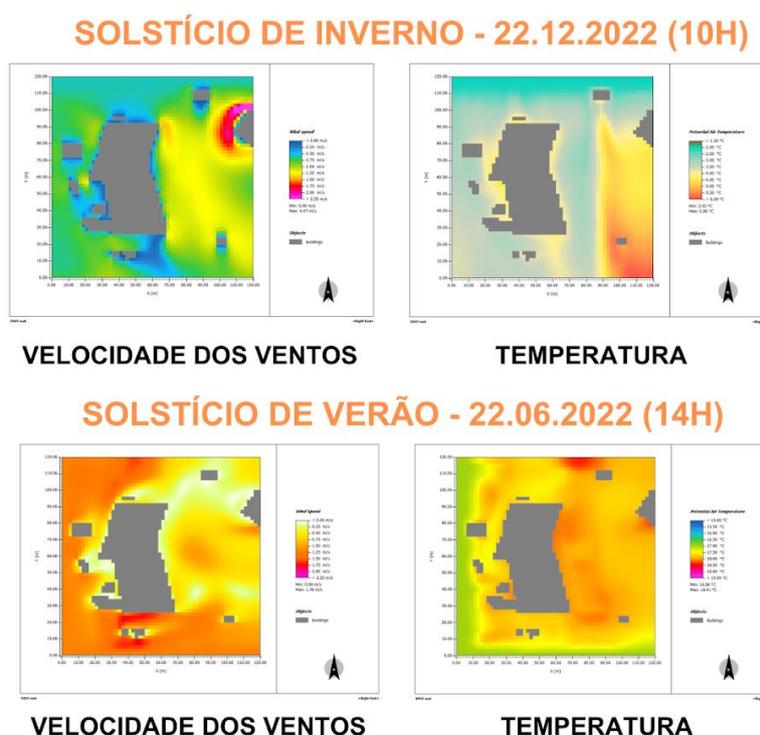
Fonte: Wilkinson Eyre Architects, releitura e tradução realizadas pela autora, 2022 (SHINODA, TABATA)

No sistema acima (Figura 19), pode-se perceber diversos tipos de sistemas sustentáveis e tecnológicos, como o planejamento para a água. Para a água da chuva, que é coletada pelas angulações da cobertura do edifício, há um tanque subterrâneo de armazenamento de 30m³, pois, após a coleta, esta água será tratada por meio de filtração e desinfecção ultravioleta. Já em relação à água negra, que necessita de uma maior atenção, há um tanque biológico, pois esta vai ser reciclada em duas zonas de tratamento e dois filtros. Após o tratamento desta água negra, ela é utilizada para irrigar os jardins no entorno do edifício e descarga dos banheiros. (WILKINSON EYRE ARCHITECTS, 2022)

O sistema aplicado ao edifício no projeto do The Crystal (Figura 22), com suas estratégias bioclimáticas e tecnológicas em toda sua extensão, levaram ao escritório Wilkinson Eyre Architects a conquista das mais altas certificações ambientais reconhecidas mundialmente, o LEED Platinum e o BREEAM Outstanding. Estas certificações possuem diversos requisitos e estratégias que necessitam ser alcançadas, sendo o propósito primordial destas certificações a conquista de construções altamente sustentáveis, confortáveis e eficientes. (WILKINSON EYRE ARCHITECTS, 2022)

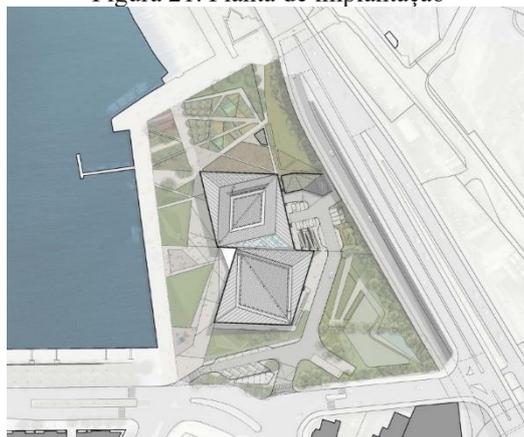
Para a constatação sobre a influência do entorno e das condições climáticas existentes sobre as decisões de projeto foi realizado uma simulação digital no software ENVI-Met, que permite a extração de dados climáticos a partir do desenho do entorno, que é concebido a partir da inserção da vegetação, das construções existentes, nas superfícies analisadas e dos materiais utilizados em cada local.

Figura 20. Análises digitais no software Envi-Met, da velocidade dos ventos e da temperatura, durante o solstício de inverno e de verão)



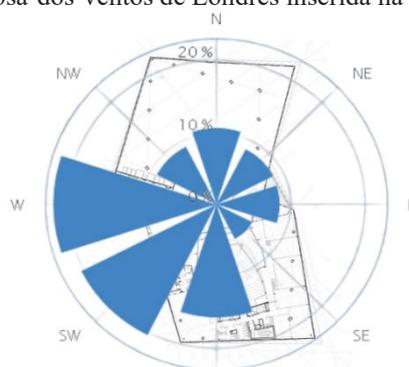
Fonte: da autora (SHINODA, TABATA), imagens retiradas da simulação digital - ENVI-MET(2023)

Figura 21. Planta de implantação



Fonte: Wilkinson Eyre Architects (2022)

Figura 22. Rosa-dos-ventos de Londres inserida na planta do térreo



Fonte: Archdaily (2023) e World-Weather (2023), adaptado pela autora (SHINODA, TABATA)

Nas simulações analisadas pelo Envi-met (Figura 20), as velocidades médias dos ventos no entorno do edifício, tanto no inverno quanto no verão, ocorrem entre 7 km/h (no verão) e 16 km/h (no inverno), e os autores QIU et al.(2022), encontram uma velocidade média de 14 km/h. As temperaturas analisadas, a partir da simulação digital no entorno do edifício, foi em média de 2 a 5 °C no solstício de inverno e de 15,5 °C no solstício de verão. Os dados retirados a partir da simulação do software, em relação às médias de temperatura e velocidade dos ventos, são compatíveis com as médias da cidade de Londres no ano de 2022, como situa a base climática do WEATHERSPARK (2023)

Por conseguinte, a partir da rosa-dos-ventos, representada na Figura 22, (WORLD WEATHER, 2023), pode-se perceber que os ventos são mais frequentes a partir do oeste, com 21,9%, e do sudoeste, com 20,4%, e o vento menos frequente vem do sudeste, com 5,4%, o que confirma os dados obtidos pela simulação do Envi-Met.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As emissões de efeito estufa vêm impactando drasticamente a mudança climática e em especial no grande centro urbano. Visto isso, cabe aos edifícios contribuírem para a minimização deste efeito. Porém, infelizmente, a solução encontrada por muitas empresas em obras de grande porte é o gasto



excessivo com ar condicionado em locais frios. No exterior, porém, a evolução desse braço sustentável da arquitetura é notável. Observa-se que há grande interesse no desenvolvimento de novas tecnologias em busca de soluções inovadoras e criativas, como o projeto do The Crystal, que apresenta uma alta eficiência energética, por meio de suas soluções inteligentes e sustentáveis.

Neste sentido, o estudo de caso do edifício The Crystal busca justamente avaliar e explicar de que forma as novas cidades inteligentes conseguem implementar novos recursos tecnológicos sustentáveis em suas construções de forma coerente e eficaz, que não agridam o meio ambiente e que proporcionem conforto e bem-estar para os habitantes através da arquitetura, sem a necessidade de tecnologias custosas, obsoletas e não renováveis. Todavia, é importante destacar que a cópia destas estratégias utilizadas para com edifícios construídos no hemisfério norte em clima frio, não se aplica para locais tropicais de clima quente, ainda que sejam sustentáveis, como, por exemplo, o uso das peles de vidro não seria uma estratégia eficaz para locais tropicais, tendo em vista o seu superaquecimento nos ambientes durante o verão.

Juntamente com o conceito de futuro da sustentabilidade em edifícios buscado pela Siemens e, com o desejo de construções mais confortáveis e inteligentes, o projeto do edifício The Crystal se destaca como uma grande referência, pois estabelece uma interação entre o interno e externo através da adoção de práticas sustentáveis avançadas, através das diversas tecnologias presentes no edifício para reduzir os custos e consumo de energia, sem depender exclusivamente de sistemas passivos. As aberturas nas fachadas e na cobertura, sua geometria e a vegetação presente ao redor, potencializam a relevância da conexão entre o meio ambiente e a arquitetura. Através do estudo de caso e das problemáticas apresentadas, permite-se clarear a razão da importância da pesquisa e da análise de soluções inovadoras que estão pelo mundo, em busca de cidades cada vez mais habitáveis, inteligentes e que se preocupam com o meio ambiente. Ao oferecer um estilo de vida urbano inovador e sustentável, o edifício The Crystal é uma grande referência inspiradora para uma nova maneira de se viver a arquitetura.



REFERÊNCIAS

ABTEC BUILDING TECHNOLOGIES. *Case Study Crystal Clear*, 2022. Disponível em: <<http://www.abtecbt.com/crystal-london/>>. Acesso em 15 abr. 2023.

AG, SIEMENS. *Siemens opens urban development center – The Crystal in London*. London, 19 set. 2012. Disponível em: <<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-opens-urban-development-center-crystal-london-worlds-largest-exhibition>>. Acesso em 13 jan. 2023.

AKBAR, F. *The Crystal by Wilkinson Eyre. Building study & report - iukl*. Londres, 1 set 2021. Disponível em: <https://issuu.com/farahimakbar/docs/assignment_4_-_group_2>. Acesso em 10 jan.2023.

ARUP. *World first for Siemens Crystal*, 2013. Disponível em: <<https://www.arup.com/news-and-events/world-first-for-siemens-crystal>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BRUNDTLAND, GRO. *Nosso Futuro Comum 1987*. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992. 2ª ed. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

CLIMATE ACTION TRACKER. *About Climate Action*. Disponível em: <<https://climateactiontracker.org/>>. Acesso em: 11 mar. 2022.

COMFORT, CLIMATE ANALYSIS AND BUILDING DESIGN GUIDELINES. *EUA: Energy And Buildings*, 18 jun. 1992, Mensal. Disponível em: <https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_6454.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

DARSAN, BABU. *The Crystal by Wilkinson Eyre Architects: A pavilion in a park - RTF: Rethinking the future*, 29 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4224-the-crystal-by-wilkinson-eyre-architects-a-pavilion-in-a-park/>>. Acesso em 9 set. 2022.

DE DEAR, Richard. *Ventilação natural, proteção solar e as melhores práticas projetuais para combater o calor*. 2020. Disponível em: <<https://www.caurj.gov.br/ventilacao-natural-protECAo-solar-e-as-melhores-praticas-projetuais-para-combater-o-calor/>>. Acesso em: 5 abr. 2022.

FROTA, Anésia Barros. *Clima e projeto do ambiente térmico*. FAUUSP–São Paulo, 1979.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique. *Sustainable architecture and urbanism: concepts, technologies, examples*. Springer Science & Business Media, 2002.

GIVONI, B. *Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines*. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GLA-GREATER LONDON. *THE CRYSTAL: One of the World's Most Sustainable Buildings*. London, 2022. Disponível em: <<https://www.thecrystal.org/about/>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

GURGEL, Miriam. *Design passivo: guia para conhecer, entender e aplicar conforto ambiental com baixo consumo energético*. Editora Senac: São Paulo, 2021.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis*. Porto Alegre: Bookman Editora, 2010.



KÖPPEN, W.; GEIGER, R.; *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LEE, Sunggyu; LANTERMAN, H. Bryan.; LOYALKA, K; JAMES G., Speight; *Handbook of Alternative Fuel Technologies*. Boca Raton: CRC, 2014, p. 437-458.

MARSH, ANDREW. *Dynamic Overshadowing*. Disponível em: <<https://andrewmarsh.com/software/shading-box-web/>>. Acesso em: 01 ago. 2023

NEVES, Letícia de Oliveira; *Arquitetura Bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-03012007-232857/publico/dissertacaoNEVES_compactada.pdf>. Acesso em: 06 maio. 2023.

QIU, Jia Choose *et al. Passive Green Building Case Studies Poster & Booklet G3*. 2022. Disponível em: <https://issuu.com/joanna1025/docs/gsb_d_g3>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SCHMID, Aloísio Leoni. *A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído*. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SIEMENS. *The Crystal: one of the most sustainable buildings in the world*. 2015 Disponível em: <<https://www.thecrystal.org/wp-content/uploads/2015/04/The-Crystal-Sustainability-Features.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SIEMENS. *The Crystal sets the benchmark for sustainable building*. London, 15 jul. 2013. Disponível em: <<https://news.siemens.co.uk/news/the-crystal-sets-the-benchmark-for-sustainable-building>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

TORCELLINI, Paul *et al. Zero energy buildings: a critical look at the definition*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2006.

UNEP. *Towards zero-emission efficient and resilient buildings – Global Status Report 2016*. United Nations Environment Programme (UN Environment), 2016.

WEATHERSPARK. *Clima e condições meteorológicas médias em Londres no ano todo*. 2023. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/45062/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Londres-Reino-Unido-durante-o-ano#Figures-WindDirection>>. Acesso em 10.Jun.2023.

WILKINSON EYRE ARCHITECTS. *The Crystal - London*. 2022. Disponível em: <<https://www.wilkinsoneyre.com/projects/the-crystal>>. Acesso em: 20 mar. 2022

WILKINSON EYRE ARCHITECTS b. *The Crystal - London*. 2022. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects>>. Acesso em: 25 set. 2022.