

ARQUITETURA SUBTERRÂNEA: UM DIÁLOGO ENTRE O PRIMITIVO E O CONTEMPORÂNEO

UNDERGROUND ARCHITECTURE: A DIALOGUE BETWEEN THE PRIMITIVE AND THE CONTEMPORARY

ARQUITECTURA SUBTERRÂNEA: UN DIÁLOGO ENTRE LO PRIMITIVO Y LO CONTEMPORÂNEO

Ritielly Conceição Silva¹
Fernando Salgado Bernardino²

RESUMO: Esse artigo buscou investigar as potencialidades e os desafios da arquitetura subterrânea e de que modo a neuroarquitetura pode ser incorporada à essa tipologia para garantir o bem-estar humano. Em termos de abordagem, é adotado o tipo qualitativo e exploratório, com procedimentos de pesquisa bibliográfica. O trabalho discute o histórico das construções subterrâneas e seu panorama atual, seus desafios e potencialidades na atualidade, e a análise de como os conceitos e aplicações da neuroarquitetura podem atuar na promoção do bem-estar e qualidade de vida humana nessa tipologia de construção. Por fim, foram analisados projetos que se qualificam enquanto exemplos bem-sucedidos dessas práticas projetuais, que demonstram como esses espaços podem ser confortáveis à permanência humana quando bem projetados. Concluiu-se que, a partir da aplicação correta dos parâmetros de neuroarquitetura investigados, a utilização de espaços subterrâneos para construção de habitações humanas é uma possibilidade viável, principalmente em regiões com condições naturais desafiadoras.

8750

Palavras-chave: Arquitetura Subterrânea. Neuroarquitetura. Conforto Ambiental. Habitação Humana.

ABSTRACT: This article aims to explore the potential and challenges of underground architecture and how neuroarchitecture can be integrated into this typology to promote human well-being. In terms of approach, a qualitative and exploratory approach was adopted, using bibliographical research procedures. The paper discusses the history of underground construction and its current state, including its challenges and potential, as well as an analysis of how the concepts and applications of neuroarchitecture can promote well-being and quality of life in this type of construction. Finally, projects were analyzed that qualified as successful examples of these design practices, demonstrating how these spaces can be comfortable for human permanence when well-designed. It was concluded that, with the correct application of the neuroarchitectural parameters investigated, the use of underground spaces for the construction of human dwellings is a viable possibility, especially in regions with challenging natural issues.

Keywords: Underground Architecture. Neuroarchitecture. Environmental Comfort. Human habitation.

¹Discente em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Independente do Nordeste.

²Mestre, Faculdade Independente do Nordeste.

RESUMEN: Este artículo buscó investigar las potencialidades y los retos de la arquitectura subterránea y cómo la neuroarquitectura puede incorporarse a esta tipología para garantizar el bienestar humano. En cuanto al enfoque, se adoptó un tipo cualitativo y exploratorio, con procedimientos de investigación bibliográfica. El trabajo analiza la historia de las construcciones subterráneas y su panorama actual, sus retos y potencialidades en la actualidad, y analiza cómo los conceptos y aplicaciones de la neuroarquitectura pueden actuar en la promoción del bienestar y la calidad de vida humana en este tipo de construcciones. Por último, se analizaron proyectos que se califican como ejemplos exitosos de estas prácticas de diseño, que demuestran cómo estos espacios pueden ser cómodos para la permanencia humana cuando están bien diseñados. Se concluyó que, a partir de la aplicación correcta de los parámetros de neuroarquitectura investigados, el uso de espacios subterráneos para la construcción de viviendas humanas es una posibilidad viable, especialmente en regiones con condiciones naturales desafiantes.

Palabras clave: Arquitectura subterránea. Neuroarquitectura. Confort ambiental. Vivienda humana.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação do espaço subterrâneo acompanha a trajetória da arquitetura desde seus primórdios. Os primeiros abrigos humanos que iniciaram a história de ocupação desses espaços são as cavernas (Lima, 2012). Conforme Arecchi (2018), foram nesses locais que os primeiros assentamentos foram historicamente encontrados, onde o homem primitivo se dedicou a exploração e adaptação das cavidades naturais, desde fins de moradia, mas também por razões religiosas e de cultos, a partir da modelagem de pedaços de pedra, megálitos e alinhamentos feitos de menhires e dólmenes.

No entanto, uma outra tipologia residencial estudada é a denominada arquitetura escavada ou troglodita, que consiste em cavernas cavadas na rocha ou no solo com função de abrigo (Arecchi, 2018). Segundo o autor, a primeira evidência dessa tipologia foi encontrada no final do período neolítico, no Vale do Rio Amarelo (Huang Ho) na China, onde as casas foram abertas a partir de uma camada espessa de arenito, uma areia calcária fina e endurecida em formato de rocha, que tem uma ótima resistência à erosão, o que facilitou a execução do trabalho. Os traços arqueológicos demonstram a existência de diversas variações de moradia: porões e semi-porões, com armações de madeira, pilares centrais e paredes de ramos entrelaçados, com enchimento.

Para Arecchi (2018), a utilização do subsolo como local construtivo se deu principalmente por questões climáticas, sendo esse habitat um dos mais eficientes na mitigação de condições térmicas prejudiciais a sobrevivência humana. Ademais, outras razões como a integração da arquitetura na paisagem, a economia máxima pelo uso de materiais locais, o jogo

de luz possível, a variedade dos espaços habitáveis, entre outros, também são apontadas pelo autor.

Atualmente, as obras subterrâneas em sua maioria abarcam setores como infraestrutura e serviços. No entanto, com a crescente preocupação com o crescimento populacional e expansão de território, o uso do subsolo como alternativa residencial tem sido pauta de discussões (Bystronski, 2019). Segundo a autora, o alto crescimento vertical na superfície encontra-se no limite da deterioração da salubridade das cidades, e, nesse contexto, a ocupação subterrânea não só atuaria enquanto um novo espaço para habitar, mas também como forma de preservar os centros antigos de grandes cidades.

Nesse sentido, considerando o avanço das tecnologias para obras subterrâneas, associada a intensa ocupação verticalizada da superfície e fatores climatológicos, o uso e a ocupação do subsolo vêm se tornando uma solução cada vez mais viável para a atual sociedade, quando se consideram os custos e impactos desses projetos (Campos *et al.*, 2024).

Além disso, a arquitetura subterrânea contribui para questões sustentáveis, já que tem como principal característica a eficiência térmica (Grimm; Correa, 2019). Nesse contexto de busca por soluções enfrentar os desafios impostos pelo crescimento urbano, mudanças climáticas e escassez de recursos, a arquitetura subterrânea emerge como uma alternativa. E, quando aliada a parâmetros modernos de estudo, como a neuroarquitetura, é um potencial recurso para superação de diversos desafios urbanos contemporâneos (Campos *et al.*, 2024).

8752

Os princípios da neuroarquitetura como iluminação biológica, ritmo circadiano, uso de cores e materiais, painéis de realidade virtual ou imagens de paisagens naturais, materiais, introdução de plantas artificiais para reduzir sensação de confinamento, sons naturais, espaços mais flexíveis e formas orgânicas (Guerra; Chamma, 2023), podem ser incorporados, garantindo que sejam espaços não apenas funcionais, mas também mais confortáveis e humanizados, trazendo uma melhor qualidade de vida. Para a arquitetura, é uma ferramenta que, através do projeto, pode reforçar habilidades cognitivas, estimular a memória e a criatividade, além de reduzir o estresse e efeitos negativos do ambiente (Gonçalves; Paiva, p. 445, 2018).

Por conseguinte, a aplicação dessas diretrizes afirma-se como uma ferramenta que instiga a evolução da arquitetura em sua competência de atribuir qualidade de vida ao ser humano, já que ela já abriga múltiplos recursos que favorecem a relação do indivíduo e o meio (Magalhães e Baesso, 2023). E, quando aplicada ao contexto de espaços subterrâneos, pode

garantir a salubridade e qualidade desses locais para a espécie humana, promovendo a saúde e bem-estar dos habitantes.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo geral o de investigar as potencialidades e os desafios da arquitetura subterrânea e de que modo a neuroarquitetura pode ser incorporada à essa tipologia para garantir o bem-estar humano. Já os objetivos específicos são:

- ✓ Conceituar arquitetura subterrânea, sua origem e desdobramentos atuais;
- ✓ Discutir a aplicabilidade dos conceitos da neuroarquitetura direcionados à arquitetura subterrânea;
- ✓ Analisar estratégias de conforto ambiental aplicados à arquitetura subterrânea;
- ✓ Levantar exemplos de projetos arquitetônicos de arquitetura subterrânea que promovam o bem-estar.

Além de otimizar o uso do território urbano, as construções subterrâneas podem oferecer vantagens significativas em conforto térmico, eficiência energética, preservação da paisagem e até mesmo segurança em situações extremas. Nesse contexto, surge a seguinte problematização: É possível a aplicação de parâmetros de conforto e soluções arquitetônicas capazes de transformar essa tipologia subterrânea em uma alternativa viável e inovadora para as cidades contemporâneas?

8753

2 MÉTODOS

Em termos de abordagem, a pesquisa adotada é qualitativa e exploratória, onde, por meio de revisões bibliográficas, busca-se a compreensão satisfatória dos temas que se relacionam com o estudo proposto. A pesquisa exploratória tem como objetivo descrever e compreender profundamente o fenômeno estudado, permitindo familiarização com o tema e abrindo espaço para novas interpretações, formulação de hipóteses e futuras investigações (Gil, 2010).

Dessa forma, esta pesquisa proporciona uma visão geral, além de atuar no fornecimento de subsídios para análise da problemática proposta. A partir disso, o artigo será composto por uma investigação, a partir de artigos, dissertações e livros que tratam do tema, do histórico das construções subterrâneas e seu panorama atual, a discussão a respeito dos desafios e potencialidades da arquitetura subterrânea moderna, e a análise de como os conceitos e aplicações da neuroarquitetura podem atuar na promoção do bem-estar e qualidade de vida

humana nessa tipologia de construção. Por fim, também serão apresentados projetos que se qualificam enquanto exemplos bem-sucedidos dessas práticas projetuais.

3 DISCUSSÃO

3.1 ARQUITETURA SUBTERRÂNEA: HISTÓRICO E DESDOBRAMENTOS

A história das primeiras obras subterrâneas, segundo Lima (2012), remota ao uso desse espaço para a obtenção de recursos naturais, a partir da construção das minas, sendo a primeira delas cerca de 40.000 anos a. C., em Bomvu, África. Além disso, esses espaços também foram utilizados por diferentes civilizações para fins religiosos, canalização de água até cidades e túneis para estradas, como no Império Romano. Conforme Lima (2012), podem tomar como exemplos os mosteiros e templos budistas na China e Índia, esculpidos na rocha ou montanha.

A prática de escavar o solo como processo construtivo de moradia, silos, sepulturas, sistemas defensivos, é comum e encontrada em diversos locais do planeta. Geograficamente, são achadas evidências desde a Europa Ocidental, até o Extremo Oriente, que remonta ao período paleolítico médio até o calcolítico europeu. Também são encontradas estruturas semi-subterrâneas em tribos da América do Norte, Mesoamérica e América do Sul, desde 5500 anos a.C. (Copé, 2006).

8754

A respeito dos processos construtivos, Copé (2006) afirma que variava conforme a disponibilidade de matéria-prima do entorno, assim como o relevo também condicionaria a forma de implantação dessas estruturas. Ainda, em regiões onde não havia abrigos naturais, ou quanto esses não tinham condições adequadas para sua permanência, esses grupos humanos tinham preferência por terraços ou meia encostas dos morros, onde o declive já atuaria como parede natural desses sítios.

Como exemplo, podem-se citar as casas localizadas em Huang Ho, na China, por volta do final do período neolítico. Conforme afirma Arecchi (2018), essas casas foram escavadas em uma espessa camada de arenito, em formato de “bolso”, com um plano circular e base com diâmetro menor do que o da superfície, o que garante maior proteção contra intempéries. A profundidade era de cerca de 3 metros, e o diâmetro na superfície variava entre 1,80 e 3 metros. O fundo e a parede eram cobertos por cinzas brancas, e a lareira podia ser localizada no centro do sítio ou ao longo da parede (Arecchi, 2018).

Já os materiais, conforme afirmado por Copé (2006), variavam conforme a disponibilidade, mas no levantamento da autora foram observados as seguintes características:

presença de pisos simples de argila endurecida sobre o solo escavado; paredes revestidas de argila, pedra ou tijolos; teto sustentado por postes, que poderiam ser internos ou externos a depressão (ou ambos), e vigas de madeira ou ossos de animais; coberturas do telhado feita de vegetais, argila, madeira ou peles de animais; sustentação da cobertura com muretas em barro ou pedras; bancos escavados nas paredes; presença de buracos para silos e fossas de enterramento abaixo do piso.

No Brasil, segundo Marque (2015), os estudos das estruturas subterrâneas se iniciaram a partir da década de 1960, com escavações do arqueólogo Chmyz em um exemplar no planalto do Rio Grande do Sul. Essas estruturas foram registradas desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, localizadas em regiões de altitudes elevadas e temperaturas frias, geralmente associadas a mata de araucárias. São caracterizadas, em sua maioria, como depressões hemisféricas, entre 2,5 e 20 metros de diâmetro, e estão assentadas em encostas de terrenos inclinados ou no topo de elevações (Schmitz *et al.*, 2010).

A respeito das suas funções, em sua maioria, pode-se identificar como espaços de moradia, a partir de restos arqueológicos que apontavam para essa utilização, mas também poderiam ser utilizados para outros fins, como local para armazenamento de suprimentos ou local de cerimônias, de acordo ao tamanho, forma e localização (Marque, 2015). Segundo Schmitz *et al* (2010), as casas subterrâneas costumavam ter presentes cerâmicas, identificadas como provindas da tradição Taquara/Itararé, e passou a servir como um fóssil guia para indicar sua cultura e até sua população. Foi a partir dessas evidências que se construiu a história da população Jê meridional.

8755

O tamanho dessas estruturas varia entre 4 e 20 metros de diâmetro e profundidade de 1 a 7 metros, sendo localizadas, em maior número, nas áreas mais altas do nordeste do Rio Grande do Sul e sudeste de Santa Catarina, além de exemplares isolados no planalto do Paraná e sudeste de São Paulo (Marque, 2015). Sua forma era dada a partir da escavação do solo em formato circular, onde era preservada uma parte do solo das laterais para a formação de uma espécie de banco (Figura 1), cita a autora (Marque, 2015).

Figura 1 – Visualização em corte das casas subterrâneas da região sul do Brasil.



Fonte: Marque, 2015.

Segundo a descrição de La Salvia (1987), as paredes dessas casas poderiam variar entre retas ou levemente inclinadas e o terreno firme, mas com solo suficientemente macio para ter possibilitado a escavação com ferramentas simples. Já o piso sofria compactação e posterior queima, ficando plano e rígido; o telhado era geralmente estruturado em madeira e com cobertura de palha. Algumas casas pareciam possuir rampas ou escadas, além de possuir banquetas escavadas nas paredes e ter um local destinado a uma fogueira permanente, que servia como fogão (La Salvia, 1987).

8756

As condições que sinalizam o surgimento desse tipo de moradia estão ligadas à expansão da mata com Araucária, sendo uma construção cultural de terras altas, frias e úmidas (Schmitz *et al.*, 2010). Sua existência se estende até o século XIX, onde o planalto passou a ser domínio dos primeiros colonizadores europeus, e foi no século XX, período da mercantilização dos campos, que houve as maiores intervenções na região, descaracterizando e destruindo algumas completamente.

3.1.1 ARQUITETURA SUBTERRÂNEA E SEU PANORAMA ATUAL

Atualmente as obras subterrâneas abarcam setores como infraestrutura e serviços, mas alguns países já utilizam esse espaço para construção de grandes complexos, como a Cidade Subterrânea de Montreal (Figura 2). Segundo Battistelli (2018), a cidade possui 3,6 km² construídos, entre usos comerciais e residenciais, incluindo 80% de todos os escritórios e 35% de todo o espaço comercial do centro, sendo uma rede de galerias que conecta diversas atividades no subsolo.

Figura 2 - Cidade Subterrânea de Montreal



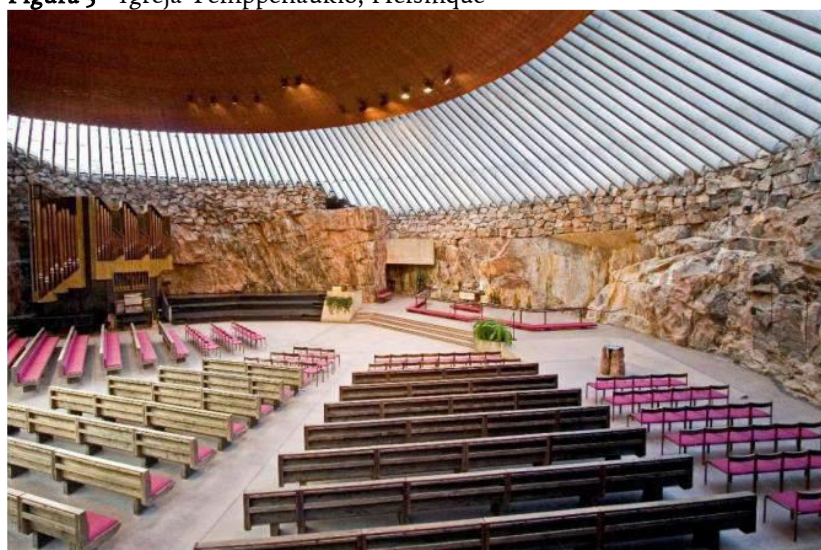
Fonte: Tourisme Montréal, 2016, apud Bystronski, 2019.

Segundo Bystronski (2019), há diversas ligações entre a superfície e os subsolos, que abrigam comércios, serviços e espaços de lazer. Toda essa infraestrutura se deve, principalmente, pelo clima com temperaturas muito baixas, o que torna o uso do subsolo uma alternativa viável para o conforto da população, principalmente no inverno.

Outro projeto de grande porte é o Master-Plan subterrâneo de Helsinque, aprovado em 2010. Desde 1960, conforme Battistelli (2018), a cidade aderiu à utilização de instalações subterrâneas, onde desde então já existem 400 instalações e mais de 200 quilômetros de túneis, que foram distribuídos ao longo de 10.000.000 m³ de espaços subterrâneos. Segundo a autora, toda essa infraestrutura abarca estacionamentos, complexos esportivos, reservatórios de petróleo e carvão, linhas de metrô, entre outros (Figura 3).

8757

Figura 3 - Igreja Temppeliaukio, Helsinque



Fonte: Vahaaho, 2016, apud Battistelli, 2018.

No Brasil, também há uma concentração significativa de infraestruturas subterrâneas, como túneis, metrô e estacionamentos, e zonas antigas da cidade que também abrigam novos usos e áreas comerciais de longa permanência, como Shoppings Centers (Bystronski, 2019). Apesar disso, ainda há empecilhos quanto à adaptação da população a esses espaços, sendo a falta de segurança um fator reportado frequentemente por parte dos usuários brasileiros, conforme Bystronski (2019).

Embora os exemplos citados apontem para o grande potencial de uso do subsolo, ainda há desafios que necessitam ser analisados para garantir a qualidade espacial. De acordo com Bystronski (2019), diversas vezes o subsolo é relacionado a eventos fúnebres ou locais insalubres, onde as experiências dos usuários apontam para insatisfação tanto em termos psicológicos como fisiológicos. Por isso, a utilização de áreas subterrâneas pode se apresentar enquanto uma alternativa ineficiente, caso os aspectos relativos à percepção humana e a sua qualidade de vida não sejam considerados em projeto (Bystronski, 2019).

Porém, apesar do senso comum a respeito da atmosfera do ambiente subterrâneo, Almeida (2018) cita que essas zonas também são espaços que desempenham um papel fundamental em regiões de grande aglomeração humana, sendo solução para cobrir serviços importantes para a malha urbana, como apresentado anteriormente. Ademais, o autor discute que se debruçar sobre esse arquétipo é também tocar em questões ligadas à cultura, sociedade, ambiente e economia.

8758

3.2 A EMERGÊNCIA DA OCUPAÇÃO SUBTERRÂNEA: VANTAGENS E DESAFIOS

O uso do espaço subterrâneo sempre esteve associado às necessidades e desafios relativos à sobrevivência humana, sendo uma solução imposta pelas condições geológicas, aspectos culturais ou de segurança, e, atualmente, há uma grande tendência de reutilizar esses conceitos em termos de ocupação racional e otimizada do espaço subterrâneo (Lima, 2012). Por isso, é importante analisar de que maneira tais projetos podem auxiliar nas demandas da sociedade moderna, ao mesmo tempo que garantem o conforto de quem habita esses locais.

Se considerada as suas características de condicionamento térmico, os ambientes subterrâneos têm a capacidade de serem eficientes energeticamente, visto que o solo possui características que permitem a manutenção da temperatura em níveis confortáveis e estáveis (Bystronski, 2019). Segundo Grimm e Correa (2019), o controle climático se torna mais eficaz e

mais econômico devido à capacidade geotérmica do solo, podendo reduzir até mais que 50% do custo com calefação e refrigeração.

Ademais, as áreas abaixo da superfície oferecem a capacidade de acomodar novos espaços sem invadir a superfície, o que evita o aumento da poluição e a ocupação massiva das áreas verdes, além de oferecerem potenciais abrigos em casos de catástrofes naturais e ataques inimigos (Bystronski, 2019). Dessa forma, pode tornar-se um potencial aliado para a aplicação de construções mais sustentáveis e com menos impacto ambiental, demanda que têm se tornado cada vez mais urgente nas cidades modernas.

Outro ponto relevante é a preservação da paisagem. Como apresenta Battistelli (2018), o uso adequado dos recursos subterrâneos pode ser uma alternativa para garantir a não descaracterização da identidade urbana de uma cidade, como é o caso de Helsinque, que possui seu centro composto por edifícios baixos, em sua maioria (Figura 4). Por isso, a adoção de complexos subterrâneos garantiu a união entre atingir as demandas modernas e preservar as características históricas daquele centro urbano.

Figura 4 - Vista do centro de Helsinque



Fonte: Kayak, 2025.

Entretanto, como aponta Lima (2012), é preciso haver diretrizes já previstas pelo poder público para esse tipo de ocupação, visando a racionalização e compartilhamento de recursos, para que essa expansão ocorra de maneira ordenada. Segundo o autor, elementos como a localização, os acessos e serviços disponíveis devem ser administrados de maneira que garanta um desenvolvimento futuro pautado na sustentabilidade e harmonia.

Outro aspecto relevante para o projeto é ter um sistema de cadastro das possíveis interferências no subsolo, como redes de águas pluviais, esgoto, água, telefonia, fibra ótica,

eletricidade, gás, iluminação, entre outros (Campos *et al.*, 2024). Conforme os autores, esse conhecimento é essencial para reduzir os riscos de danos aos sistemas ou até acidentes em obras.

Mas, para além desses aspectos, tratando-se de ambientes de grande permanência, como as moradias subterrâneas, é preciso ter atenção aos aspectos de qualidade de vida e salubridade dos espaços, para garantir que sejam espaços saudáveis para o habitar humano. Nesse contexto, além dos parâmetros de conforto ambiental, a neuroarquitetura pode atuar como promotora do bem-estar humano.

Alguns princípios da neuroarquitetura, como como iluminação biológica, ritmo circadiano, uso de cores e materiais, atuam na redução da sensação de confinamento que o ambiente subterrâneo pode causar (Guerra; Chamma, 2023). Então, além da promoção de um ambiente salubre à vida humana, também pode-se investir em estímulos à memória e criatividade, além de redução do estresse e outros efeitos negativos (Gonçalves; Paiva, 2018).

3.3 PARÂMETROS DE CONFORTO APLICADOS À MORADIAS SUBTERRÂNEAS

Para garantia de um ambiente confortável e aconchegante aos moradores de edificações subterrâneas, certos parâmetros precisam ser considerados. Em primeira perspectiva, deve-se considerar quão enterrada a edificação se encontra, visto que isso pode impactar a quantidade de luz natural que pode chegar ao espaço. Outra questão a ser apontada é que o controle climático se torna mais eficaz e econômico, já que a capacidade geotérmica do solo pode reduzir mais de 50% do custo com calefação e refrigeração. (Grimm; Correa, 2019). Essa característica é de extrema relevância para garantir o conforto térmico da edificação.

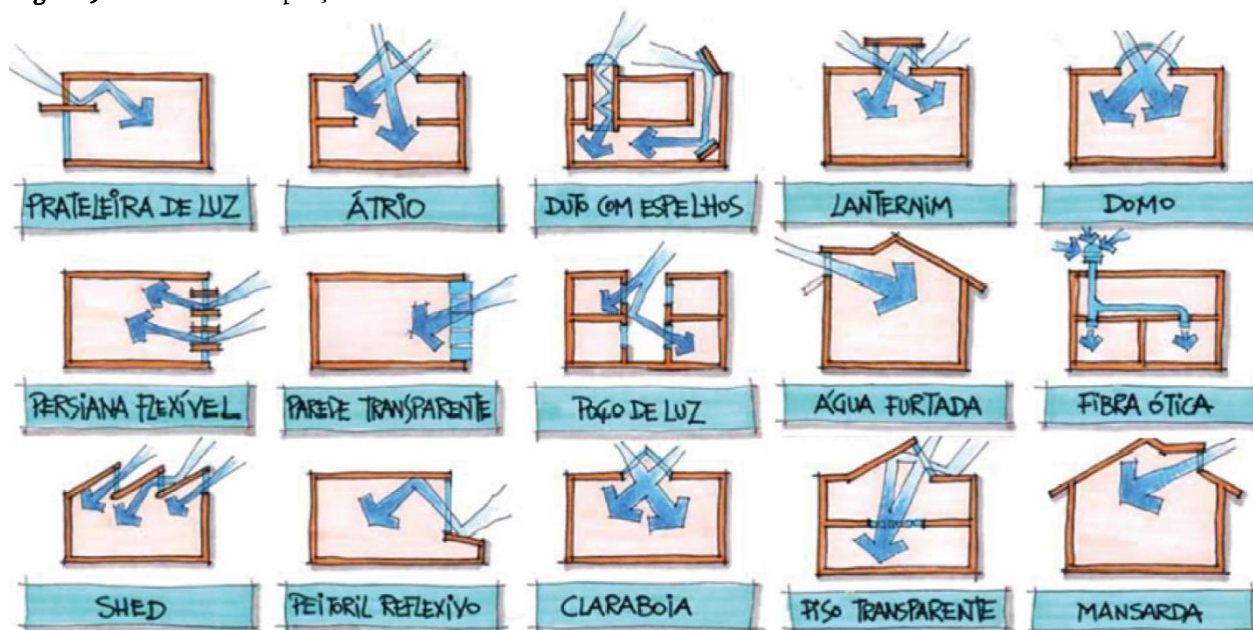
Segundo Almeida (2018), como o edifício subterrâneo está envolvido por uma grande massa de solo, em comparação a tipologia térrea, que verifica grandes oscilações de calor ao longo do dia, ele conta com uma elevada capacidade de retardar o aquecimento por radiação e perda de calor por convecção. Dessa maneira, possuindo um comportamento térmico eficiente em relação às condições externas.

Em contrapartida, Almeida (2018) aponta que essas construções têm a tendência à redução de temperatura no inverno, visto que as brisas frias noturnas têm propensão a se acumular nas regiões mais baixas. Assim sendo, o edifício subterrâneo tem maior probabilidade de ser um ponto de concentração dessas brisas, podendo criar uma ilha de ar frio. Isso é relevante especialmente em regiões com invernos mais rigorosos, e com oscilações maiores de temperatura entre o dia e a noite.

Além disso, a utilização de luz natural pode ser um desafio que exige soluções adaptadas à essa tipologia. Uma das soluções mais típicas são aberturas internas como pátios, estufas anexas ou claraboias, que também atuam como fonte de ventilação cruzada (Grimm; Correa, 2019). Para Almeida (2018), essa tipologia é consolidada em torno do uso desses instrumentos, sendo o principal deles o pátio. Ele atua enquanto mecanismo de captação e controle da iluminação, ventilação e auxílio de conforto visual, além de atenuar as amplitudes térmicas.

Outros sistemas, como a captação de luz no sentido vertical, a iluminação zenital, e elementos condutores de luz, também são estratégias eficientes. Os sistemas condutores de iluminação natural, como apresentado na Figura 5, têm excelente capacidade de transportar a luz entre pontos distantes de onde ela está sendo emitida e, dessa forma, sendo bastante eficiente para ser aplicada em projetos subterrâneos (Bystronski, 2019). Esses elementos garantem a redução na utilização de luzes artificiais, melhorando a eficiência energética do espaço e a qualidade de vida dos habitantes.

Figura 5 - Sistemas de captação de luz



Fonte: Lamberts *et al*, 2014.

Outro ponto relevante é quanto ao conforto acústico. As edificações subterrâneas já possuem naturalmente potencial redutor de ruídos, já que estão abaixo do solo. Mas uma questão a ser observada são as projeções sonoras internas, sendo necessário a utilização de

materiais que tenham propriedades de absorver as ondas e impedir a propagação do som indesejável (Grimm; Correa, 2019).

Mas, para além disso, a arquitetura também consegue atuar diretamente em conceitos psicológicos de percepção do ambiente, que vai além do conforto físico daquele espaço, o que abarca a percepção e a experiência de permanência naquele ambiente. Nesse sentido, a neuroarquitetura tem relação direta, sendo um campo de estudo que tem como objetivo compreender os impactos da arquitetura no cérebro e no comportamento humano, além de proporcionar estratégias relacionadas a isso.

3.3.1 A NEUROARQUITETURA E A PERCEPÇÃO HUMANA DOS ESPAÇOS CONSTRUÍDOS

A neuroarquitetura se estabelece, segundo Paiva (2018), enquanto o campo de estudo que atua na aplicação das teorias na neurociência aos espaços construídos, com o objetivo de compreender melhor os impactos da arquitetura no cérebro e comportamentos humanos. Ao longo dos anos, essa área de estudo vem se aprofundando, e se tornando cada vez mais relevante nos aspectos projetuais, a partir da possibilidade do uso da arquitetura como meio de reforçar habilidades cognitivas, estimular a memória, criatividade, além de reduzir o estresse e efeitos negativos do ambiente (Gonçalves; Paiva, 2018).

8762

Atrelado a isso, a neuroarquitetura busca entender os efeitos emocionais que cada aspecto da forma afeta o processo cognitivo, desencadeando um determinado comportamento (Dionizio, 2022). O objetivo é desenvolver métodos capazes de interpretar a influência dos ambientes construídos, as intervenções que são capazes de afetar o organismo humano e suprir necessidades físicas, psicológicas e emocionais do ser humano (Guerra; Chamma, 2023).

Nesse sentido, a Academia Brasileira de Neurociência e Arquitetura (NEUROARQ Academy) desenvolveu uma metodologia de análise baseada em sete principais variáveis ambientais, sendo elas as cores, aromas, sons, formas, áreas verdes, iluminação e personalização (SARTORI; BENCKE, 2021). Através desses elementos, o lugar é capaz de enviar sinais a mente por meio da interação entre estímulos sensoriais e processamento neural, sendo as respostas variáveis a cada experiência individual, humores, nível de estresse, concentração e a apreensão do espaço (Magalhães; Baesso, 2023).

Entre os elementos discutidos, de acordo a Magalhães e Baesso (2023), todos eles são passíveis de análise enquanto inferentes na percepção, mas atualmente há três elementos de destaque na bibliografia, sendo eles: as emoções, o movimento e a luz.

3.3.1.1 EMOÇÕES, MOVIMENTO E LUZ

Segundo Dionizio (2022), a mente humana se apropria dos espaços a partir de técnicas de percepção, quando o indivíduo organiza e interpreta suas impressões sensoriais para atribuir significado ao meio. Ainda conforme a autora (Dionizio, 2022), utiliza símbolos e signos, que podem ser informações verbais ou não verbais, aliados aos sentidos (visão, audição, olfação, gustação e somestesia), e seus significados são traduzidos pelo campo cognitivo, que gera determinados comportamentos.

Portanto, se cada sujeito interage de maneira específica ao meio, e a arquitetura pode transmitir estímulos individuais, as reações a esses estímulos podem ser definidas também como respostas emocionais (Magalhães; Baesso, 2023). Segundo os mesmos autores, essas reações produzidas no contato com o espaço muitas vezes antecedem à própria inteligência do local. Sendo assim, o ambiente construído é percebido primeiramente através das emoções, como uma resposta inconsciente que julga o espaço a partir das próprias experiências e instintos (Santos, 2023).

Já a respeito do elemento de movimento, Magalhães e Baesso (2023) afirmam que ela é a forma mais recorrente de interação, sendo a noção de lugar associada tanto a maneira como o indivíduo se deslocam pelo espaço, como também sua própria configuração. É por meio da

8763

leitura espacial que o cérebro humano traça as reações ao ambiente, e a partir da interpretação dos espaços em que o corpo se encontra que o processo de apropriação ocorre (Crizel, 2020).

Além disso, a relação entre lugar e locomoção ultrapassa apenas a interação do espaço, mas também se estabelece enquanto essencial da formação de recordações (Magalhães; Baesso, 2023). Nesse sentido, segundo os mesmos autores, a arquitetura deve unir a forma (elementos topográficos) com o movimento (elementos topológicos), com o objetivo de garantir uma melhor percepção e apropriação do espaço.

Conforme Moura e Lopes (2024), um dos principais elementos arquitetônicos é a luz, já que ela permite a percepção das formas e contribui, a partir de suas variações, para a apropriação dos espaços dentro de uma determinada área. Ela concede visibilidade ao meio, produz impressões de textura, profundidade, cor e distância, o que a torna um mapa cognitivo baseado no comportamento da matéria no espaço. Dessa maneira, a luz garante que todos os sinais sejam agregados à percepção do lugar, ganhando assim, o potencial plástico capaz de influenciar a forma como o indivíduo experiencia e apreende o ambiente (Magalhães; Baesso, 2023).

Portanto, pode-se entender a neuroarquitetura diante de dois pontos essenciais: primeiramente de que o espaço modifica o estado mental do usuário, a partir da interação, e segundo que o ser humano é capaz de criar diferentes percepções de um mesmo lugar, a partir de variações de memórias, crenças, culturas, frequência e duração da exposição ao meio (Santos, 2023). Sendo assim, a arquitetura coloca-se, então, em uma posição determinante da experiência do indivíduo ao meio.

3.3.2 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES EM ESPAÇOS SUBTERRÂNEOS

Este tópico busca a análise de projetos arquitetônicos existentes de casas subterrâneas que tiveram como princípio a garantia do bem-estar humano. A partir dos elementos já discutidos anteriormente, foi feita a discussão a respeito dos parâmetros utilizados para atingir os objetivos do projeto.

3.3.2.1 A CASA SUBTERRÂNEA - EINDHOVEN, PAÍSES BAIXOS

Localizada em Eindhoven, nos Países Baixos, em um terreno adjacente a uma reserva natural protegida, essa residência unifamiliar foi proposta para se integrar a paisagem natural (Figura 6). Foi projetada pelo escritório WillemsenU, a edificação conta com 170 m² construídos, e é uma obra de 2023. Outro ponto importante do projeto foi conciliar as normas de zoneamento da área, e garantir uma boa proposta de projeto.

8764

Figura 6 - Vista da Residência



Fonte: Archdaily, 2023

Para alcançar esses parâmetros, a edificação foi rebaixada abaixo do nível do solo, sendo uma parte significativa da estrutura soterrada, e a seção protuberante coberta por uma colina.

Dessa forma, garante que a casa fique oculta e integrada ao ambiente e isso é observado a partir da Figura 6. Por ser disposta em diferentes níveis, cada setor possui diferentes ângulos e vistas da paisagem, além de diferentes incidências de luz, o que provoca uma relação dinâmica com o entorno. Dessa maneira, também se relaciona com elementos de forma e movimento da neuroarquitetura, o que influencia a maneira como o indivíduo percebe e se apropria do espaço.

Também é possível observar o uso de claraboias e pátios internos para incidência de luz solar, o que garante, como estudado anteriormente, o controle de captação e distribuição de luz, reduzindo o uso de iluminação artificial. Além disso, é possível observar que o projeto se integra à paisagem, garantindo o contato à natureza.

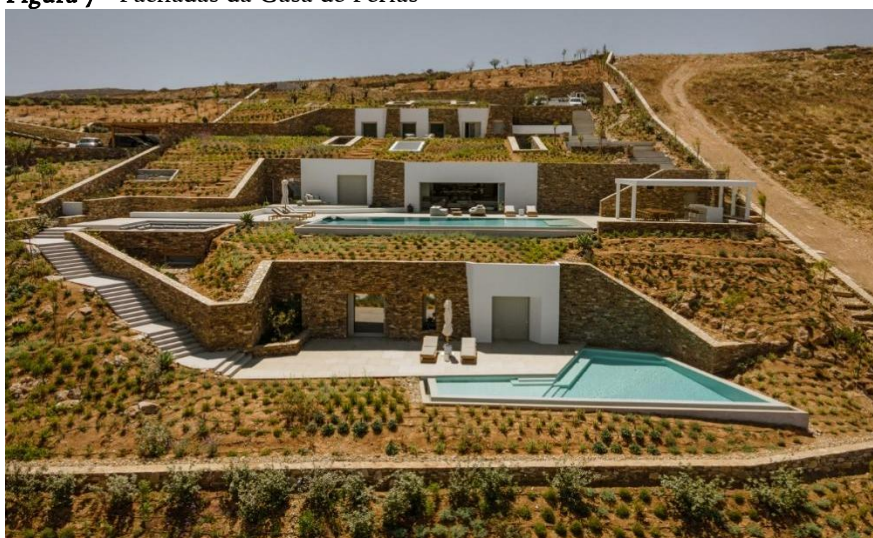
3.3.2.2 CASA DE FÉRIAS SUBTERRÂNEA - ANTIPAROS, GRÉCIA

O projeto apresentado trata de uma casa de férias na ilha de Antiparos, na Grécia. Foi projetada pelo escritório Tsolakis Architects, no ano de 2021, e consta com 800 m². Assentada de forma semienterrada, a residência se desenvolve em vários níveis ao longo de uma encosta íngreme, e teve como principal objetivo o de se integrar a paisagem, tanto com a topografia rochosa, como também com as escolhas de materiais (Archdaily, 2021).

Nos platôs formados pelo projeto se encontram as áreas de lazer, observados na Figura 7, com as piscinas, e a entrada para edificação é composta por grandes vãos em portas de correr transparentes, o que, além de trazer iluminação e ventilação, também reduz a sensação de confinamento dos interiores subterrâneos.

8765

Figura 7 - Fachadas da Casa de Férias



Fonte: Archdaily, 2021.

É possível observar as estratégias de iluminação subterrânea, nesse caso através do uso de poços de luz e claraboias, que promovem iluminação e ventilação aos níveis internos da edificação. Além disso, vale ressaltar que o projeto tem como estratégia a proteção do usuário contra o sol e ventos fortes da região (Archdaily, 2021). Logo, a utilização do espaço subterrâneo, para além da integração com a paisagem, também tem motivações climáticas e de conforto.

3.3.2.3 CASA CHUZHI - SHOOLAGIRI, ÍNDIA

Localizada em Shoolagiri, na Índia, a residência está inserida no condomínio fechado Sanctity Ferme, em um lote caracterizado pela topografia íngreme e rochosa, além de possuir vegetação densa. Projetada pelo escritório Wallmakers no ano de 2022, a solução foi a de uma arquitetura de camuflagem, apresentada na Figura 8, onde os volumes se fundem ao terreno existente (Archdaily, 2023).

Figura 8 - Vista da cobertura



Fonte: Archdaily, 2023.

Em estrutura semienterrada, a edificação é composta por espirais de vigas feitas a partir de material reciclado, fixadas ao longo das três grandes árvores no local. Essas estruturas formam as paredes e o telhado, que é complementado por uma cobertura de vidro (Figura 9). Nesse sentido, a forma do edifício, que se integra ao ambiente tanto em sua estrutura, como sua forma e material, segue os princípios da neuroarquitetura ao propor um ambiente dinâmico e de estímulo aos sentidos.

Figura 9 - Vista interna da residência



Fonte: Archdaily, 2023.

Outro ponto que se enquadra nesse projeto, que discutido anteriormente, são as áreas verdes, já que a edificação, apesar de parcialmente enterrada no solo, é envolta de vegetação e mantém contato com a natureza. Além disso, é possível observar que a estratégia de uso de esquadrias e teto de vidro promovem a entrada de iluminação ao longo do dia, reduzindo a sensação de confinamento.

8767

3.3.2.4 CIDADE ENTERRADA - COOBER PEDY, AUSTRÁLIA

Localizada na Austrália, em uma região caracterizada por verões intensos, com temperaturas que chegam a 52°C, a cidade de Coober Pedy encontrou sua solução no espaço subterrâneo. Com cerca de 2,5 mil habitantes, essa cidade de mineradores tem como característica a maioria das suas moradias e serviços localizados abaixo do solo - cerca de 60% da sua população (Gorvett, 2023).

Além das condições climáticas, outro fator importante para adoção dessa solução são as rochas da região. Segundo Gorvett (2023), sua composição em arenito faz com que a escavação seja simples, podendo ser realizada com pás ou picaretas, visto que o solo é maleável. Por essa razão, as construções precisam estar no mínimo a quatro metros de profundidade, o que também garante a temperatura estável de 23°C.

Além disso, o arenito é estruturalmente estável, sem a necessidade de apoios, o que possibilita a construção de grandes vãos e pés-direitos altos, sem o acréscimo de outros materiais, como é possível observar na Figura 10. Ampliações e reformas podem ser feitas pelos

próprios moradores, proporcionando diferentes personalizações, questão importante para neuroarquitetura.

Figura 10 - Construções subterrâneas



Fonte: Casa Abril, 2020 (adaptado pela autora).

Outro ponto relevante é a economia, já que 70% do consumo de energia vem de origem eólica ou solar. Além disso, não há poluição sonora e luminosa, ponto relevante na garantia do bem-estar humano. Sua umidade relativa também é controlada, já que a profundidade - que propicia o aumento considerável de umidade - aliado ao clima extremamente seco, cria um equilíbrio confortável para permanência (Gorvett, 2023).

8768

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo o de investigar as potencialidades e desafios da arquitetura subterrânea e de que modo a neuroarquitetura pode ser incorporada à essa tipologia para garantia do bem-estar humano. Para tal fim foram realizadas: a conceituação da arquitetura subterrânea e seu histórico; a discussão sobre a aplicabilidade dos conceitos da neuroarquitetura direcionados à arquitetura subterrânea; a análise de estratégias de conforto ambiental também aplicados à essa tipologia e, por fim, o levantamento de exemplos arquitetônicos subterrâneos que promovem a qualidade de vida.

Ao longo da discussão, foi possível perceber que há desafios que precisam ser considerados na construção de espaços subterrâneos, principalmente os que envolvem a salubridade e conforto humano. Apesar disso, as potencialidades, principalmente envolvendo as necessidades atuais das grandes cidades, tornam essa tipologia construtiva uma possibilidade viável de solução para os problemas atuais.

Questões como o conforto térmico, que reduz o uso de climatização artificial, além do isolamento acústico das construções subterrâneas, são as principais vantagens oferecidas. Outro

ponto relevante é a capacidade que essa tipologia possui de se adequar ao entorno, como nos exemplos citados no estudo, o que garante a redução do impacto da edificação para a região, tanto topográfico, com menos movimentação de terra em sua execução, quanto em relação a paisagem, criando um volume que se camufla e se integra ao ambiente.

O artigo respondeu à questão problema proposta - “é possível a aplicação de parâmetros de conforto e soluções arquitetônicas capazes de transformar essa tipologia subterrânea em uma alternativa viável e inovadora para as cidades contemporâneas?” - a partir da discussão dos parâmetros que podem ser aplicados, e também pelos exemplos apresentados e analisados ao longo da pesquisa.

Por fim, conclui-se que, apesar de ainda não ser uma solução aplicada em grande escala nas cidades, principalmente no contexto brasileiro, a utilização de espaços subterrâneos para construção de espaços humanos, principalmente residenciais, é uma possibilidade viável, principalmente em regiões com climas rigorosos ou terrenos com topografia íngreme. E, a partir do uso correto dos parâmetros de conforto e da neuroarquitetura, essas edificações apresentam um espaço agradável para habitação humana.

REFERÊNCIAS

8769

ALMEIDA, Bruno Alexandrino Correia. Arquitetura subterrânea sustentável em climas quentes e secos. 2018. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Artes, Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 2018.

ALVES, L.S; CELASCHI, C.M. A neuroarquitetura e a investigação do caráter terapêutico do espaço. *Oculum Ensaios*, Campinas, v. 21, p. 1-17, 2024.

BATTISTELLI, I.I. O USO DO SUBTERRÂNEO COMO UMA ALTERNATIVA DE OCUPAÇÃO URBANA. 2018. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura, Departamento Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, Utfpr, Curitiba, 2018.

BIASI, J.A.; KRÜGER, E.L. Estudo do desempenho térmico de células-teste enterrada e semienterrada. *Revista PARC, Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 5, n. 2, p. 132-147, 2014.

BYSTRONSKI, Y. de A. VIDA À CIDADE ENTERRADA: dutos de luz para iluminação e auxílio no desenvolvimento de vegetação em espaços subterrâneos. 2019. 288 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Ufrgs, Porto Alegre, 2019.

CAMPOS, G.C de; IYOMASA, W.S; ASSIS, A.P. de; ROCHA, H.C da; BILFINGER, W. Uso e ocupação do espaço subterrâneo: desafios do futuro. In: ZENHA, R.M. *Memória do Ciclo ILP+IPT de Ciência Aplicada, Tecnologia e Inovação em Políticas Públicas 2023*. São Paulo: Instituto do Legislativo Paulista, 2024, 66-76.

CARDEAL, C.C; VIERA, L.R.C. Neurociências como meio de repensar a arquitetura: formas de contribuição para a qualidade de vida. Cadernos de Graduação Ciências Humanas e Sociais, Aracaju, v.6, n.3, p. 55-70, 2021.

Casa CHUZHI / Wallmakers. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/995163/casa-chuzhi-wallmakers>>. Acesso em: 10 de out. de 2025.

Casa Subterrânea em Antiparos / Tsolakis Architects. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/969487/casa-subterranea-em-antiparos-tsolakis-architects>>. Acesso em: 10 de out. de 2025.

A casa subterrânea / WillemsenU. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/1014314/a-casa-subterranea-willemsenu>>. Acesso em: 10 de out. de 2025.

DIONIZIO, F.A.G.F. Neuroarquitetura, psicologia ambiental, design biofílico e feng shui: uma análise comparativa. 1ª edição. São Paulo: CIP, 2022.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GORVETT, Zaria. A cidade onde as pessoas vivem embaixo da Terra por causa do calor. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/articles/crg2leiz7z90>>. Acesso em: 03 nov. 2025.

GRIMM, A.M.A; MONTEIRO, E.C. Conforto ambiental e sustentabilidade para estruturas subterrâneas. IV SIMPAC – Simpósio de Pessoas, Arquitetura e Cidade, 2021. 8770

GUERRA, L.S de J; CHAMMA, P.V.C. Neuroarquitetura e seu papel no ato projetual. Revista VérticeFIB, v.2, p. 1-17, 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Eficiência energética na arquitetura. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LA SALVIA, Fernando. A habitação subterrânea: uma adaptação ecológica. In: WEIMER,

Günter (Org.). A arquitetura no Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1987. p. 7-26.

LIMA, J.J. de. EVOLUÇÃO DAS OBRAS SUBTERRÂNEAS: planejamento, uso, soluções construtivas e novas tecnologias. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construções Cíveis: Excelência Construtiva e Anomalias, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

MARQUE, L.M. de. ARQUITETURA PRÉ-HISTÓRICA: um estudo sobre a estrutura de cobertura das casas subterrâneas dos jê meridionais. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Univates, Lajeado, 2015.

MOURA, M; LOPES, R.G. Neuroarquitetura aplicada aos critérios de projeto de iluminação e conforto do espaço construído. Revista FUMEC, 01 de abril de 2024.

RANGEL, V.L; MATOS, L.B de S. Neuroarquitetura e psicologia das cores: sensações e psicodinâmica no design de interiores. *Revista Geometria Gráfica*, v.5, n.2, p.66-74, 2021.

SANTOS, V.C.M. dos. Neuroarquitetura: como o ambiente construído influencia o cérebro humano. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v.3, n.7, p. 96-113, 2023.

SCHMITZ, P.I; ARNT, F.V; BEBER, M.V; ROSA, A.O; FARIAS, D.S. de. Casas subterrâneas no planalto de Santa Catarina: São José do Cerrito. Instituto Anchietano de Pesquisas, São Leopoldo, p. 7-78, 2010.

SILVA, A.L da. Arquitetura subterrânea: mimese e eficiência térmica. *ArchDaily Brasil*, 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/955131/arquitetura-subterranea-mimese-e-eficiencia-termica>. Acesso em: 14 de maio de 2025.

SOUZA, R.A; PEZZINI, C. Neuroarquitetura: design biofílica aplicado ao espaço construído e o impacto no aspecto mental e físico do indivíduo. *Revista Thêma et Scientia*, v.11, n. 2, p. 334-352, 2021.