XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

O uso de tubo de luz solar para captação de luz natural em meio ao cenário urbano das favelas: O Caso da Favela da Rocinha - Rio de Janeiro, Brasil

El uso de tubos de luz solar para la captación de luz natural en el entorno urbano de las favelas: el caso de la Favela de Rocinha - Rio de Janeiro, Brasil

The use of solar light tubes for natural light capture in the urban environment of favelas: the case of Rocinha Favela - Rio de Janeiro, Brazil

Iluminação natural e artificial / *Iluminación natural y artificial/ Natural and Artificial Lighting*

Pereira, Paulo André.
Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, paulo.pasp@gmail.com
Costa do Carmo, Mariana.
Arquiteta e Urbanista, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, marianacrm1@gmail.com
Silva Barbosa, Eliane.
Doutora em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, eliane.barbosa@fau.ufr.br

Resumo

A captação de luz natural, em meio ao cenário urbano adverso das favelas, é um desafio. A proximidade das edificações promove obstruções externas que reduzem a entrada de luz e com isso, uma redução na qualidade de vida dos moradores e no conforto do ambiente construído. O objetivo deste artigo é analisar a captação de luz natural em cenários urbanos de favelas e apresentar como estratégia projetual a utilização de tubos de reflexão de luz, no contexto da Favela da Rocinha na cidade do Rio de Janeiro. O estudo surgiu a partir do projeto para um concurso internacional de estudantes de arquitetura, resultando em premiação. Ao projeto, foram somados estudos bibliográficos sobre tubos reflexivos, incluindo pesquisa sobre materialidade dos coletores, tubos e difusores, além de visitas à campo acrescentadas de observação direta e registros. O estudo resultou em proposta de implementação de tubos de luz, a partir das coberturas das edificações.

Palavras-chave: Tubo de luz solar. Captação de luz natural. Iluminação Natural. Favela da Rocinha.

Resumen

La captación de luz natural, en medio del escenario urbano adverso de las favelas, representa un desafío. La proximidad de las edificaciones genera obstrucciones externas que reducen la entrada de luz, lo que provoca una disminución en la calidad de vida de los habitantes y en el confort del entorno construido. El objetivo de este artículo es analizar la captación de luz natural en contextos urbanos de favelas y presentar, como estrategia proyectual, el uso de tubos reflectores de luz, en el contexto de la Favela de Rocinha en la ciudad de Río de Janeiro. El estudio surgió a partir de un proyecto para un concurso internacional de estudiantes de arquitectura, que resultó premiado. Al proyecto se sumaron estudios bibliográficos sobre tubos reflectores, incluyendo investigación sobre la materialidad de los colectores, tubos y difusores, además de visitas de campo con observación directa y registros. El estudio resultó en una propuesta de implementación de tubos de luz desde las cubiertas de las edificaciones.

Palabras clave: Tubo solar. Captación de luz natural. Iluminación natural. Favela de Rocinha.

Abstract

The capture of natural light, within the adverse urban conditions of favelas, is a challenge. The proximity of buildings causes external obstructions that reduce light entry, thereby diminishing residents' quality of life and the comfort of the built environment. The objective of this article is to analyze the capture of natural light in urban favela settings and to present as a design strategy the use of light reflection tubes, in the context of the Rocinha Favela in the city of Rio de Janeiro. The study emerged from a project developed for an international architecture student competition, which resulted in an award. The project was complemented by bibliographic studies on reflective tubes, including research on the materiality of collectors, tubes, and diffusers, as well as field visits with direct observation and documentation. The study resulted in a proposal for the implementation of light tubes starting from the rooftops of the buildings.

Keywords: Solar light tube. Natural light capture. Daylighting. Rocinha Favela.

Introdução

O artigo parte da problemática quanto à disponibilidade de iluminação natural em território com alta densidade populacional e construtiva, tendo como objeto de estudo a Favela da Rocinha, inserida na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro. A partir disso, apresenta como objetivo analisar a captação de luz natural em cenários urbanos de favelas e apresentar uma proposta projetual para a utilização de tubos de reflexão de luz no contexto dos becos da Rocinha.

O estudo inicializa com a compreensão de como a proximidade entre as construções e o desenho urbano impactam negativamente na salubridade e no conforto ambiental dos moradores. A falta de acesso à luz natural pode gerar consequência na qualidade de vida e deixar a população mais vulnerável a doenças como a tuberculose, que registra no local um dos maiores índices do país (COFEN, 2016).

A forma de urbanização aglomerada, com pouco distanciamento entre as edificações, é um fator preponderante para compreender a falta de iluminação nas moradias da favela, apesar da grande disponibilidade de luz natural na cidade do Rio de Janeiro. A luz natural, antes de atingir o interior da edificação, recebe influência do entorno e este pode gerar obstruções externas construídas ou naturais. O tamanho das aberturas, assim como as cores do entorno, também são fatores que podem influenciar na captação de luz natural no interior (Vianna e Gonçalves, 2001).

Com base na predominância de uso residencial na Favela da Rocinha, destaca-se que as moradias, em sua grande maioria, não conseguem atingir o desempenho recomendado pela NBR 15757 – 1: 2021. A norma estabelece que as edificações residenciais devem receber iluminação natural proveniente diretamente do exterior ou indiretamente através de recintos adjacentes.

A pesquisa combina investigações teóricas, técnicas e empíricas, propondo soluções práticas para ampliar a incidência de luz natural nos becos da favela e com isso, melhorar a captação de luz natural no interior das moradias. A proposta é inovadora para espaços urbanos e consiste na aplicação de tubos de reflexão de luz nos becos da Rocinha. A solução é prática, feita com materiais de fácil acesso e sem necessidade de desapropriações ou demolições. Com isso, acredita-se que a solução pode ser viável e apresentar fácil aceitação por parte dos moradores, além da possibilidade de ser replicável em larga escala.

O projeto foi premiado como vencedor das Américas no concurso "*International VELUX Award for Students of Architecture 2024"*, apoiado pela UIA - União Internacional de Arquitetos, na categoria "*daylight in buildings"*, e apresentado pelos autores na "*2024 EAAE Anual Conference"* da *European Association for Archictetural Education*, na Universidade de Münster, Alemanha, reforçando sua relevância como uma intervenção sustentável ao utilizar recursos renováveis em cenários urbanos densos na América Latina. Foram adicionados à proposta estudos bibliográficos e levantamentos que permitiram, por meio deste artigo, consolidar a estratégia projetual como uma opção viável para captação de luz natural em meio ao cenário apresentado.

Método

O artigo integra pesquisa e prática projetual, já que parte dos estudos teóricos se correlacionam com uma intervenção de projeto, sendo a combinação entre teoria e prática almejada na qualidade dos resultados em arquitetura e urbanismo (Moreira Neto, 2022). A metodologia baseia-se em uma abordagem de pesquisa qualitativa e experimental. O roteiro metodológico inclui cinco etapas: [1] revisão bibliográfica; [2] levantamentos (dados e físico); [3] análise gráfica; [4] simulação no heliodon e [5] elaboração de desenhos em elevação. A análise gráfica, as simulações e desenhos de projeto são apresentados nos resultados. As principais técnicas utilizadas foram: pesquisa documental, observação direta não estruturada, simulação com maquetes e desenhos conceituais, que resultaram na elaboração de desenhos da Favela da Rocinha, análise da insolação dos becos e proposta de intervenção.

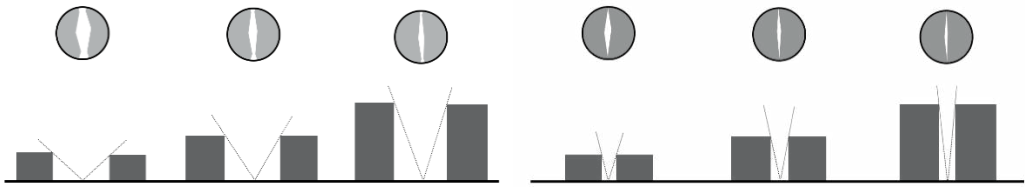
Revisão Bibliográfica

A maior parte dos materiais teóricos de iluminação natural disponíveis concentram-se em referências voltadas para ambientes internos, incluindo o uso de tubos de luz. Diante disso, a pesquisa bibliográfica foi direcionada para obras que abordam a iluminação natural no meio urbano, com ênfase em estudos e técnicas que possam fundamentar a captação de luz natural em cenários urbanos densamente ocupados.

A pesquisa bibliográfica também contemplou dados para compreensão do funcionamento dos tubos de luz, incluindo o entendimento das partes que compõem o tubo e sua aplicação prática em projetos. Destaca-se que não foram encontrados registros de aplicação dos tubos de luz em áreas externas, assim, foi utilizada a dinâmica de funcionamento dos tubos para interiores de edificações para aplicação na escala urbana.

O conceito de recintos urbanos é explorado por Mascaró e Mascaró (2009) e Oke (2006) ao relacionar a proporção entre a altura das edificações e o espaço livre entre elas e ainda a sua intrínseca relação com o fator visão de céu. Com isso, quanto menor a distância entre as edificações e maior for sua altura, menor é o ângulo que configura a área visível do céu (Figura 1), caso que acontece na Favela da Rocinha, impactando a captação de luz natural e, além disso, no conforto térmico por reduzir a permeabilidade ao vento.

Figura 1: Diagrama Fator Visão de Céu em função da distância entre as edificações.



Fonte: Elaboração dos autores (2024), com base em Mascaró e Mascaró (2009)

A captação de luz natural no interior das edificações é resultante de três componentes: componente celeste, componente de reflexão externa e componente de reflexão interna (Vianna e Gonçalves, 2001). No caso da Rocinha, a componente celeste fica prejudicada devido ao baixo fator visão de céu e à reflexão externa reduzida em função da baixa transmitância, pois as paredes são, em sua maioria, de tijolos cerâmicos sem revestimento ou com emboço sem pintura, resultando em cores escuras com baixa reflexão de luz. A questão da topografia e dos sombreamentos a partir das obstruções externas é um ponto importante, como destacam Vianna e Gonçalves (2001):

> A proximidade entre as construções e o perfil geométrico dos "canyons" urbanos de alta densidade também afeta de maneira problemática a luminosidade no interior dos espaços construídos. Isto ocorre porque os raios solares serão barrados e, principalmente, por diminuírem a parcela visível do céu por dentro dos edifícios. (Vianna e Gonçalves, 2001, p.23).

O tubo de luz solar é composto por três partes: (I) o coletor, responsável por redirecionar a luz para o interior do tubo; (II) o tubo, com diferentes possibilidades de materiais (como lentes, tubos reflexivos, tubos prismáticos ou sistemas de núcleo sólido), sendo a ele atribuída a função de transportar a luz para o espaço a ser iluminado e dependendo do percurso do tubo, ele pode conter conexões para facilitar o desvio e alcance da área a ser iluminada; (III)

o difusor, parte final do tubo, encarregado de difundir a luz no espaço pretendido (Malet-Damour *et al.,* 2020).

Os coletores podem apresentar diferenças quanto à propriedade dos materiais, podendo ter propriedades refrativas ou refletivas, podem funcionar por meio de métodos passivos ou ativos. O funcionamento por meios ativos apresenta alta eficiência, mas alto custo em função do uso de rastreadores solares (Malet-Damour *et al.,* 2020). Os coletores passivos, apesar da menor eficiência, foram utilizados para os estudos de aplicação na Favela da Rocinha devido, principalmente, ao menor custo quando comparado aos ativos.

Os coletores reflexivos, adotados como solução, utilizam materiais refletivos, como metais flexíveis espelhados, para redirecionar a iluminação máxima em direção à abertura do tubo de luz. Este modelo não concentra a luz, diferente dos modelos refrativos, mas otimiza o fornecimento de iluminação. Essa tipologia de coletor se apresenta como uma boa solução para compensar a presença de uma máscara de sombra próxima à abertura do tubo. O uso de metais flexíveis espelhados no tubo de luz, favorece a distribuição e direcionamento da luz coletada. Para aumentar a eficiência na captação de luz para o tubo, os coletores cilíndricos de policarbonato com prismas apresentam bom desempenho para raios de luz de baixa incidência, de 10° a 25°. Quanto aos difusores, esses redirecionam e redistribuem a luz captada pelo tubo e podem ser prismáticos. (Malet-Damour *et al.,* 2020).

Levantamento de dados

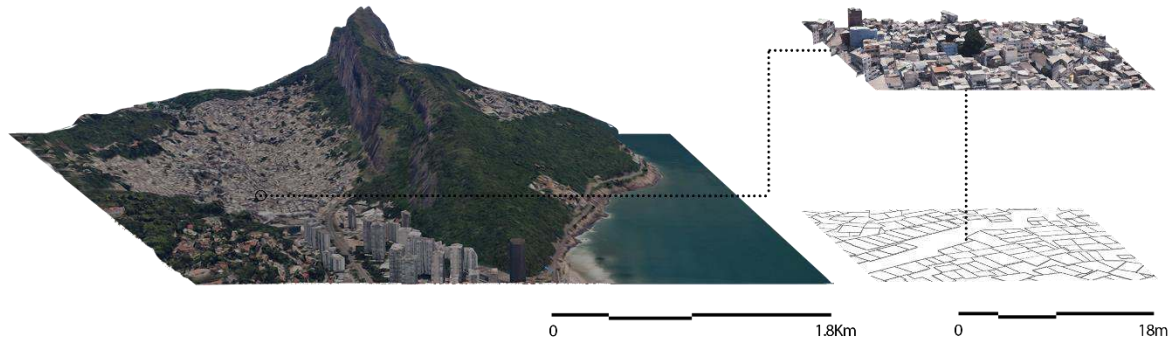
A Favela da Rocinha, localizada na Zona Sul do Rio de Janeiro, Brasil, abriga pessoas de baixo poder aquisitivo e está inserida entre bairros de alto padrão, considerada a maior favela brasileira em população (CENSO, 2022). Assim, esse território é símbolo de resistência e acolhe uma população que sofre com a exclusão social (Machado Vilani et al., 2014). A origem da Rocinha está ligada à busca por moradias acessíveis como alternativa aos altos preços do mercado imobiliário formal da cidade, por meio da autoconstrução em desacordo com normas urbanísticas (Machado Vilani *et al*., 2014).

A partir de consultas a mapas da região, por meio de sites de geolocalização, foi possível uma primeira abordagem sobre as características morfológicas e ambientais do lugar. A cidade do Rio de Janeiro possui clima quente e úmido (Bernardes, 1952), sendo quente por conta de sua localização geográfica entre os trópicos (Luiz Cruls, 1892) e úmido por conta da massa de ar frio vinda do Oceano Atlântico (Armond, *et al*. 2017), que acarreta uma predominância da

característica de céu parcialmente nublado, mas com presença de alta radiação solar durante todo o ano (METEOBLUE, 2024).

A figura 2 expõe uma imagem esquemática da favela da Rocinha, seu tecido urbano e entorno, evidenciando sua alta densidade construtiva em meio a uma cidade com grande desigualdade socioespacial.

Figura 2: Território da Favela da Rocinha e seu entorno.



Fonte: Elaboração dos autores (2024-2025), com base em imagens do Google Earth (2024) e planta cadastral do Município do Rio de Janeiro (2019)

A cidade está inserida na Zona Bioclimática 4A (NBR 15220-3:2024), o que orienta a adoção de estratégias como ventilação natural e sombreamento no planejamento urbano, devido à grande presença de raios solares na região (PROJETEEE, 2024; Lambert *et al*., 2014). A condição de céu predominante na cidade, parcialmente nublado, é influenciada pelo clima e permite grande disponibilidade de iluminação natural difusa durante todo o ano.

Levantamento físico

O levantamento físico ocorreu por meio de visita *in loco* aos espaços em julho do ano de 2024, época em que o Sol se encontra no solstício de inverno. A pesquisa de campo caracterizou-se por uma observação direta não estruturada, realizada em conjunto com um morador da comunidade e teve início na parte alta da favela, indo em direção à parte mais baixa, sendo possível observar as dinâmicas sócio-culturais e as características morfológicas, como os cânions urbanos e os becos mais internos.

O local é cortado por uma via principal, a Estrada da Gávea, que conta com muitos espaços comerciais, além de ser a via por onde chegam os serviços públicos. Foi observado que, ao

adentrar no tecido urbano da favela, os becos são estreitos, sendo em muitos pontos possível circular apenas uma pessoa por vez. Nesses locais, quase não há a presença de incidência solar e é possível perceber uma maior umidade do ar, assim como muitos pontos de umidade nas paredes. Por meio de registros fotográficos realizados no local, foram feitas anotações sobre a proporção dos becos e a partir disso, identificados três padrões de morfologia (figura 3).

Figura 3: Fotos dos becos da favela da Rocinha.

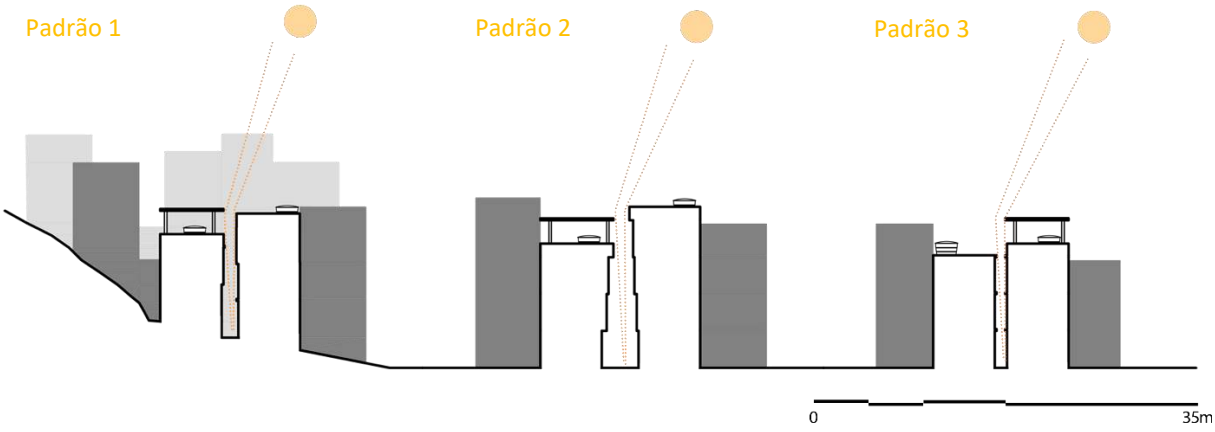


Fonte: Elaboração dos autores (2024-2025).

Resultados

A partir dos levantamentos físicos realizados e da identificação dos três padrões morfológicos na Rocinha, foi realizada uma análise gráfica com desenhos esquemáticos elaborados do lugar (já ilustrados na figura 3 e representados graficamente na figura 4 abaixo).

Figura 4: Edifícios em diferentes elevações topográficas.



Fonte: Elaboração dos autores (2024-2025).

O primeiro padrão ocorre em função da topografia, por conta de um relevo acidentado, as edificações ficam umas sobre as outras, prejudicando a passagem de luz. O segundo, com os edifícios dispostos em escalonamento, aproveitando-se dos beirais, e com isso, reduzindo a passagem de luz, uma vez que a visão do céu é limitada. O terceiro é quando os edifícios seguem um alinhamento, formando uma barreira e configurando um ambiente com pouca disponibilidade de luz natural.

Simulação da incidência solar

Estudos realizados com o equipamento heliodon mostraram como a trajetória do sol se comporta em diferentes épocas do ano na latitude da Cidade do Rio de Janeiro (latitude de 22°83'): solstício de verão e solstício de inverno, em um cenário proposto da favela em análise. Para a compreensão da incidência da luz do dia nos becos, foi elaborada uma maquete do padrão morfológico 3 e submetido a uma simulação da disponibilidade da incidência da radiação solar direta no Rio de Janeiro em cinco horários distintos (7h, 9h, 12h, 15h, 17h). As simulações se restringiram a análise dos cenários, o tubo de luz não foi testado neste estudo. A figura 5 apresenta a incidência solar no modelo físico elaborado, e observa-se que, no solstício de verão, com maiores alturas solares, a incidência é maior, mas ainda assim, prejudicada devido ao alto sombreamento do entorno das edificações.

Figura 5: Simulação de sombreamento no heliodon.



Fonte: Elaboração dos autores (2024-2025).

A disponibilidade de luz reduz gradativamente ao longo do ano, sobretudo no solstício de inverno. Contudo, dada a condição morfológica do local, a incidência solar nos becos ocorre de maneira escassa em todas as épocas do ano, uma dificuldade observada não apenas pelo desenho do lugar, com baixa visão de céu, mas também pelo baixo nível de refletância dos materiais de superfície das paredes das moradias, geralmente compostas por blocos

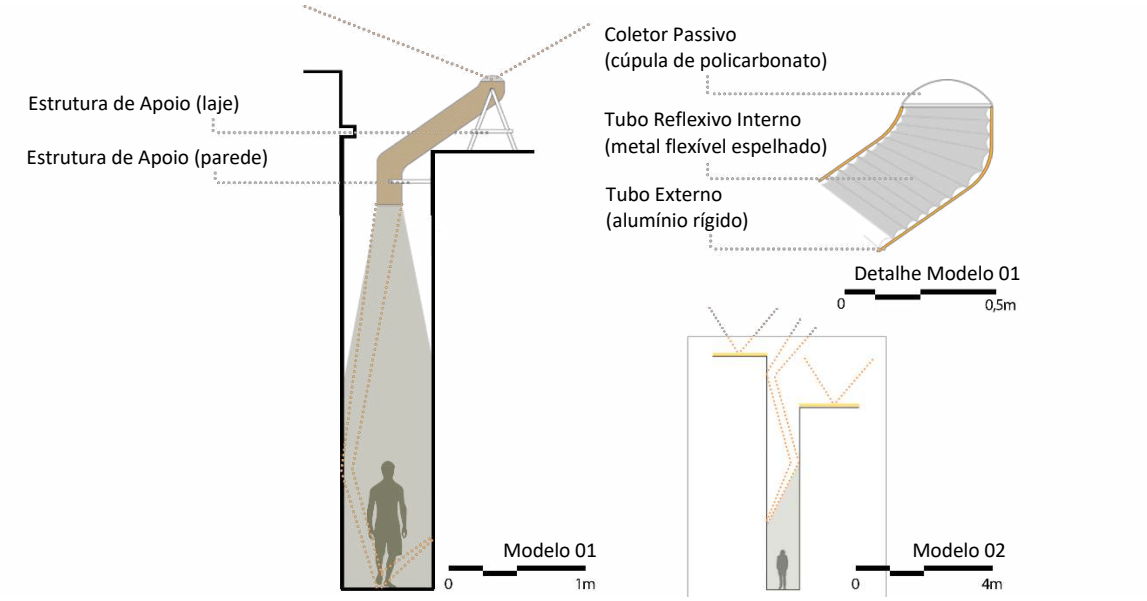
cerâmicos ou emboços sem revestimentos, materiais que possuem uma média de refletância de 13% a 48% (Vianna e Gonçalves, 2001).

Proposta projetual

A partir das pesquisas bibliográficas e levantamentos, foi desenvolvida uma estratégia projetual capaz de melhorar a baixa captação de iluminação natural nos becos. A proposta parte da premissa de que o recurso é de fácil instalação e pode ser replicável, tendo em vista o contexto de construções irregulares da favela e a autoconstrução como modelo dominante.

A escolha do local de fixação nas lajes das edificações minimiza a interferência do entorno, permitindo que a estrutura se adapte à morfologia construtiva do local. O tubo de luz apresenta um coletor passivo (cúpula) reflexivo cilíndrico em policarbonato, o tubo é de metal flexível espelhado (interno) e para garantir o percurso, deve contar com duas conexões (desvios) para que o difusor prismático alcance o beco a partir das lajes e redistribua a luz nos espaços almejados (Figura 6). das edificações.

Figura 6: Detalhamento do tubo de luz solar.

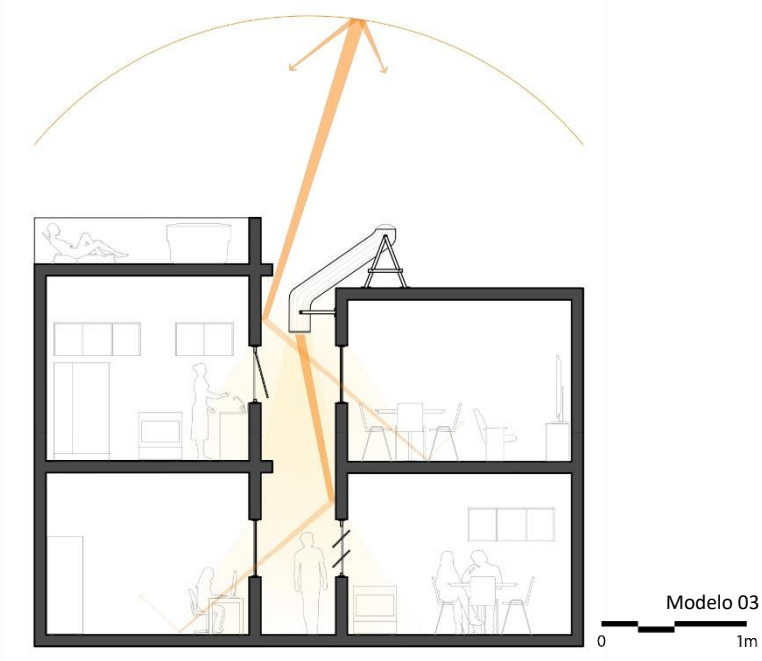


Fonte: Elaboração dos autores (2024).

Para a instalação, foram idealizados suportes de aço fixados no centro das lajes que sustentam um tubo de aço rígido. O tubo deve contar com uma superfície brilhante no interior; essas superfícies por sua vez, “refletem a luz especularmente (como se fosse um espelho) e exibem

qualidades similares à fonte original" (Romero, 2001, p.70). Assim, a reflexão da luz pelo tubo deve conduzir à aparência da luz do céu difusa do lugar. Essa solução já é amplamente utilizada em ambientes internos e, nesse contexto, a proposta é inovadora, uma vez que a instalação será feita em ambientes externos. Assim, ao aumentar a luz natural nos becos, as aberturas das moradias voltadas para esses espaços ampliarão a captação de luz natural (Figura 7).

Figura 7: Corte esquemático do beco da favela com o funcionamento do tubo de luz e as residências



Fonte: Elaboração dos autores (2024).

Os estudos de incidência solar nos becos verificaram a diferença na distribuição da luz do dia nas diferentes superfícies do território. Assim, propõe-se que os tubos conduzam iluminação natural de pontos com maior tempo de incidência de luz natural durante o dia para locais com menor disponibilidade, promovendo maior eficiência na captação.

Conclusão

A utilização dos tubos de luz tem baixo impacto ambiental e apresenta-se como um modelo inovador para aumentar a qualidade de vida dos moradores. A proposta proporciona maior disponibilidade de luz natural aos becos e moradias (Figura 8) da favela e, com isso, colabora no combate a doenças infectocontagiosas, como a tuberculose.

Figura 8: Imagens ilustrativas da implantação do tubo de luz solar na favela.



Fonte: Elaboração dos autores (2024).

A solução possui aplicabilidade no contexto da Favela da Rocinha devido ao baixo custo de implantação, além da instalação ser pouco invasiva, sem necessidade de desapropriações e demolições para sua execução. Para a continuidade da pesquisa, parte-se da análise desenvolvida no presente artigo para o desenvolvimento de um protótipo de tubo de luz econômico capaz de demonstrar sua eficácia na iluminação de ambientes externos, com análises quantitativas de desempenho.

Referências Bibliográficas

Armond, Núbia Beray; Sant'Anna Neto, João Lima. "Entre eventos e episódios: ritmo climático e excepcionalidade para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro." **Revista Brasileira de Climatologia.** Curitiba: Editora, v. 20, 2017, pp. 6-27.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3:2024: Desempenho térmico de edificações – Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1:2021: Norma de desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

Bernardes, L. M. C. "Tipos de clima do estado do Rio de Janeiro." **Revista Brasileira de Geografia.** Rio de Janeiro: IBGE, v. 14, n. 1, 1952, pp. 37-80.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. **ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** Brasília: MME, 2025. Disponível em: https://www.mme.gov.br/projeteee. Acesso em: 1 fev. 2025.

Conselho Federal de Enfermagem – COFEN. “Tuberculose na Rocinha expõe o Brasil que estacionou no século XIX.” Brasília: COFEN, 2016.

Cruls, Luiz. **O clima do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: H. Lombaerts & Comp., 1892.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. Censo 2022: Brasil tinha 16,4 milhões de pessoas morando em favelas e comunidades urbanas.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br. Acesso em: 1 fev. 2025.

Lambert, R.; Dutra, L.; Pereira, F. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: Eletrobrás, 2014.

Machado Vilani, Rodrigo; Saldanha Machado, Carlos José; Tavares da Silva Rocha, Érica**.** “Saneamento, dengue e demandas sociais na maior favela do Estado do Rio de Janeiro: a Rocinha.” **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia.** Rio de Janeiro: Editora, v. 2, n. 3, 2014, pp. 18-29.

Malet-Damour, Bruno; Bigot, Dimitri; Boyer, Hasrry. “Technological Review of Tubular Daylight Guide System from 1982 to 2020. EJERS, **European Journal of Engineering Research and Science** Vol. 5, No. 3, Março 2020.

Mascaró, Lúcia; Mascaró, Juan José. **Ambiência urbana - Urban Environment.** 4. ed. São Paulo: Editora Masquatro, 2009.

Meteoblue. **Tempo Rio de Janeiro. 2024.** Disponível em: http://www.meteoblue.com/pt/tempo/semana/rio-de-janeiro_brasil_3451190. Acesso em: 06 dez. 2024.

Moreira Neto, Edgardo. “Métodos de pesquisa para a profissão arquitetônica - uma resenha crítica.” **Paranoá – Cadernos de Arquitetura e Urbanismo.** Brasília: Universidade de Brasília, n. 32, jan./jun. 2022.

Oke, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** Geneva: WMO TD, n. 1250, 2006.

Romero, Marta A. Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. Editora Universidade de Brasília, 2001.

Vianna, Nelson Solano; Gonçalves, Joana Carla Soares. **Iluminação e arquitetura.** São Paulo: Vitrus, 2001.