ISSN 2527-2675 https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2025.v28i2.2169

REBRAM
REVISTA BRASILEIRA MULTIDISCIPLINAR

Arquitetura responsiva à saúde cognitiva: a influência dos ambientes enriquecidos para o lifelong learning

Ciro Férrer Herbster Albuquerque*.

*Universidade Federal do Ceará-UFC, Brasil.

Autor para correspondência e-mail: *ciro.ferrer@hotmail.com*

Palavras-chave
Neurociência
Projeto arquitetônico
Projeto urbanístico
Aprendizagem
Envelhecimento

Resumo: Utilizando uma metodologia de pesquisa exploratória, o presente trabalho busca fornecer suporte a projetistas e a profissionais da saúde na criação de espaços construídos capazes de contribuir para a saúde cognitiva e o aprendizado contínuo ao longo da vida dos usuários. Para alcançar esse objetivo, o conceito experimental de enriquecimento ambiental (EA) foi investigado por meio de uma revisão integrativa de literatura, explorando suas contribuições neurocientíficas em relação à influência significativa que o ambiente físico e suas possibilidades podem exercer sobre a estrutura do cérebro, resultando em alterações biológicas, psicológicas e sociais, especialmente durante o envelhecimento humano. Embora os estudos relacionados ao EA e à plasticidade cerebral geralmente consideram modelos animais, evidencia-se que a exposição a ambientes enriquecidos pode induzir alterações estruturais benéficas no cérebro, resultando em aprimoramentos nas capacidades cognitivas, como aprendizagem e reserva cognitiva. A aplicação prática desses conceitos é configurada por meio de um diagrama de proposições de projeto, que pode ser incorporado em construções arquitetônicas e urbanísticas atuais e futuras. Este enfoque é apoiado por pesquisas recentes com modelos humanos, realizadas nos últimos três anos. Efeitos capazes de mitigar o estresse crônico, quadros de ansiedade e declínio cognitivo são constantemente identificados nos estudos analisados. Assim, considerando o potencial significativo que o ambiente construído possui para influenciar o comportamento humano, as abordagens que integram neurociência, arquitetura e aprendizagem são consideradas essenciais para a concepção de espaços alinhados com a promoção da saúde cognitiva ao longo da vida.

Keywords
Neuroscience
Architectural Project
Urban Project
Learning
Aging

Responsive architecture for cognitive health: the influence of enriched environments for lifelong learning

Abstract: Using an exploratory research methodology, this research seeks to provide support to designers and health professionals in creating built spaces capable of contributing to cognitive health and continuous learning throughout users' lives. To achieve this objective, the experimental concept of environmental enrichment (EA) was investigated through an integrative literature review, exploring its neuroscientific contributions in relation to the significant influence that the physical environment and its possibilities can exert on the structure of the brain, resulting in biological, psychological and social changes, especially during human aging. Although studies related to EA and brain plasticity generally consider animal models, it is clear that exposure to enriched environments can induce beneficial structural changes in the brain, resulting in improvements in cognitive capabilities, such as learning and cognitive reserve. The practical application of these concepts is configured through a diagram of design propositions, which can be incorporated into current and future architectural and urban constructions. This approach is supported by recent research with human models carried out over the last three years. Effects capable of mitigating chronic stress, anxiety and cognitive decline are constantly identified in the studies analyzed. Thus, considering the significant potential that the built environment has to influence human behavior, approaches that integrate neuroscience, architecture and learning are considered essential for the design of spaces aligned with the promotion of cognitive health throughout life.

Recebido em: 02/2024
Aprovação final em: 06/2024

Introdução

O conceito de *lifelong learning* propõe uma nova abordagem educacional que incorpora e complementa diferentes formas de aprendizagem multidisciplinar: formal, não formal e informal. Nesse contexto, conforme Delors *et al.* (1996), acredita-se que a aprendizagem pode ocorrer em qualquer momento e lugar, desde o nascimento até o final da vida, de maneira flexível e construtiva para todas as idades e em diversos contextos de vida. De acordo com Findsen e Formosa (2014), a expressão "*lifelong learning*", cuja tradução refere-se ao "aprendizado ao longo da vida", não se refere a um termo técnico com um significado específico, mas a um conceito cultural que exige uma compreensão abrangente das relações entre os indivíduos, o ambiente construído e os sistemas sociopolíticos. Ainda em 2014, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) propôs que a disseminação desse conceito pode ser justificada pela globalização, pela necessidade de adquirir novos conhecimentos, pelo advento de novas tecnologias e pelas mudanças demográficas, buscando atender às demandas de um mundo em constante transformação.

Calcula-se que a maioria das pessoas passa em média 90% do tempo em locais fechados, de acordo com a *US Environmental Protection Agency* (EPA). Isso significa que o ambiente físico em que os indivíduos vivem é, em grande parte, construído artificialmente. Sendo os seres humanos parte do mundo natural, a exposição predominante a ambientes artificiais pode influenciar negativamente o senso de identidade, o processo de aprendizado e o bem-estar, especialmente ao longo das diferentes fases do desenvolvimento biológico. Conforme dados fornecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), o Brasil destaca-se como o país com a maior proporção de indivíduos afetados pela ansiedade, totalizando 9,3% da população. Além disso, há uma preocupação significativa com a saúde mental dos brasileiros, uma vez que estatísticas indicam que uma em cada quatro pessoas no país enfrentará algum transtorno mental ao longo da vida (OPAS, 2022). O Brasil lidera em primeiro lugar, entre lista de 11 países, com mais casos de ansiedade (63%) e depressão (59%), seguido, respectivamente, da Irlanda e dos Estados Unidos (DAMIANO *et al.*, 2022).

Ademais, a fragilidade da saúde mental está vinculada à incidência de quadros de demência, especialmente após os 60 anos. Atualmente, no Brasil e na América Latina, espera-se um aumento de 200% no número de casos de demência, de 2019 a 2050, em comparação com apenas 100% nos Estado Unidos (SUEMOTO *et al.*, 2023). A depressão, por exemplo, aumenta em 4,4% o risco de demência. O nível de escolaridade é outro fator preocupante, tendo em vista que a baixa escolaridade eleva 7,7% o risco de demência na terceira idade. Em 2022 o Brasil apresentou o menor índice de crianças entre 6 e 14 anos com frequência nas escolas desde 2016, cerca de 95,2%. O número é ainda mais alarmante quando observados a população entre 15 e 17 anos, cerca de 75,3% (IBGE, 2022).

O estudo de Livingston *et al.* (2020) propõe doze fatores modificáveis que os seres humanos podem evitar ao longo do envelhecimento a fim de prevenir ou de postergar quadros de demência, especialmente a Doença de Alzheimer (DA). No contexto europeu, os fatores modificáveis podem mitigar até 40% da incidência de quadros de demência e, no Brasil, conforme o estudo de Suemoto *et al.* (2023), até em 48,2%. Dos fatores modificáveis neste último estudo, destacam-se: menor escolaridade (7,7%), hipertensão (7,6%) e perda auditiva (6,8%).

Nesse sentido, o conceito de Enriquecimento Ambiental (EA) foi aqui estudado a fim de proporcionar benefícios cognitivos aos seres humanos semelhantes aos evidenciados em experimentos neurocientíficos com camundongos em laboratórios. O termo foi proposto primeiramente por Donald Hebb, em 1974, como um conceito científico devido à melhoria comportamental observada em ratos de estimação, vivendo de forma livre, em comparação com ratos de laboratório, vivendo de forma limitada em gaiolas (HEBB, 1947). Outros estudos apontaram que o EA poderia propiciar mudanças físicas mensuráveis no cérebro ao longo da vida (DIAMOND; KRECH; ROSENZWEIG, 1964). Outras tipologias de EA foram investigadas para encontrar a solução ideal para induzir a plasticidade cerebral em camundongos (ROSENZWEIG *et al.*, 1962).

Ademais, estudos atuais demonstram que o EA apresenta-se efetivo a longo prazo em tratamentos de patologias e lesões relacionadas ao cérebro que ocorrem ao longo da vida ou devido

à exposição pré-natal da progenitora a diversas condições prejudiciais do espaço construído, como elevados índices de estresse e de ansiedade (DORANTES-BARRIOS *et al.*, 2021; JOUSHI *et al.*, 2021; YUAN *et al.*, 2021). Efeitos mitigatórias ao envelhecimento cognitivo (YU; WEI, 2021) e às doenças cardiovasculares (NORMANN *et al.*, 2018) também são evidenciados em outros estudos.

No entanto, desde antes de 1995 até os dias atuais, observa-se que as mesmas condições patológicas são agravadas a partir de experiências de estresse crônico vivenciadas pelos usuários (DANDI *et al.*, 2023; MCEWEN; SAPOLSKY, 1995). Até o momento, o EA mostra-se como uma espécie de papel compensatório do contra os efeitos negativos de vários regimes de estresse crônico, como estresse por restrição ou isolamento social, bem como melhorias à plasticidade cerebral e marcadores pró-inflamatórios em animais estressados, com foco no hipocampo (BAHI; DREYER, 2020; CORDNER *et al.*, 2021).

Em relação aos estudos sobre EA em humanos, Eleanor Maguire e Katherine Woolett, da *University College London*, evidenciaram que indivíduos que trabalham em ambientes complexos, que exigem grande capacidade cognitiva, envolvendo aprendizado e memorização, possuem maior volume do hipocampo[1] em comparação aos trabalhadores que não lidam diariamente com tal demanda cognitiva. Esse estudo foi conduzido com taxistas da cidade de Londres, responsáveis por conduzir os chamados "*london black cabs*"[2] (MAGUIRE *et al.*, 2006).

Os estudos clínicos longitudinais também fornecem evidências de que indivíduos com elevado nível de escolaridade e estilos de vida saudável ao longo da vida, como a prática de atividade física regular, qualidade do sono, dieta rica em nutrientes, possuem cérebros mais resilientes e funcionais mesmo após o envelhecimento (MANDOLESI *et al.*, 2017). No geral, Mandolesi *et al.* (2017) salienta que o EA caracteriza-se como um ambiente complexo que permite aos ocupantes a prática de atividade motora, cognitiva, social e sensorial. Além disso, o estudo de Jia *et al.* (2023), conduzido com cerca de 29 mil participantes europeus, com mais de 60 anos, evidenciou que o estilo de vida fomentado por atividade física, alimentação nutricional de qualidade, atividade cognitiva e contato social está associado a um declínio mais lento da memória, mesmo em participantes com risco genética de quadros demenciais.

O estudo de acompanhamento longitudinal na China, envolvendo 10.057, 3.994, 2.387 e 1.749 pessoas idosas com idades entre 65 e 104 anos dos grupos de 2005, 2008, 2011 e 2014, respectivamente, demonstrou que os grupos que vivem em comunidades munidas de enriquecimento ambiental apresentam níveis cognitivos mais elevados e declínio mais lento. A investigação indica o potencial de tais ambientes para facilitar habilidades cognitivas a longo prazo. Conclui-se que aumentar a estimulação do ambiente enriquecido pode ser crucial para prevenir ou retardar a degeneração das capacidades cognitivas em pessoas idosas (YU; WEI, 2021).

Portanto, ao transpor as evidências e estratégias praticadas em modelos animais no ambiente laboratorial para modelos humanos em ambientes propícios, averigua-se que o EA pode ser representado como espaços que apoiam mudanças funcionais e estruturais benéficas ao cérebro, proporcionando a plasticidade cerebral[3] junto ao aumento da reserva cognitiva[4], auxiliando tanto na aprendizagem e quanto na saúde mental dos seres humanos, conforme a Figura 1.

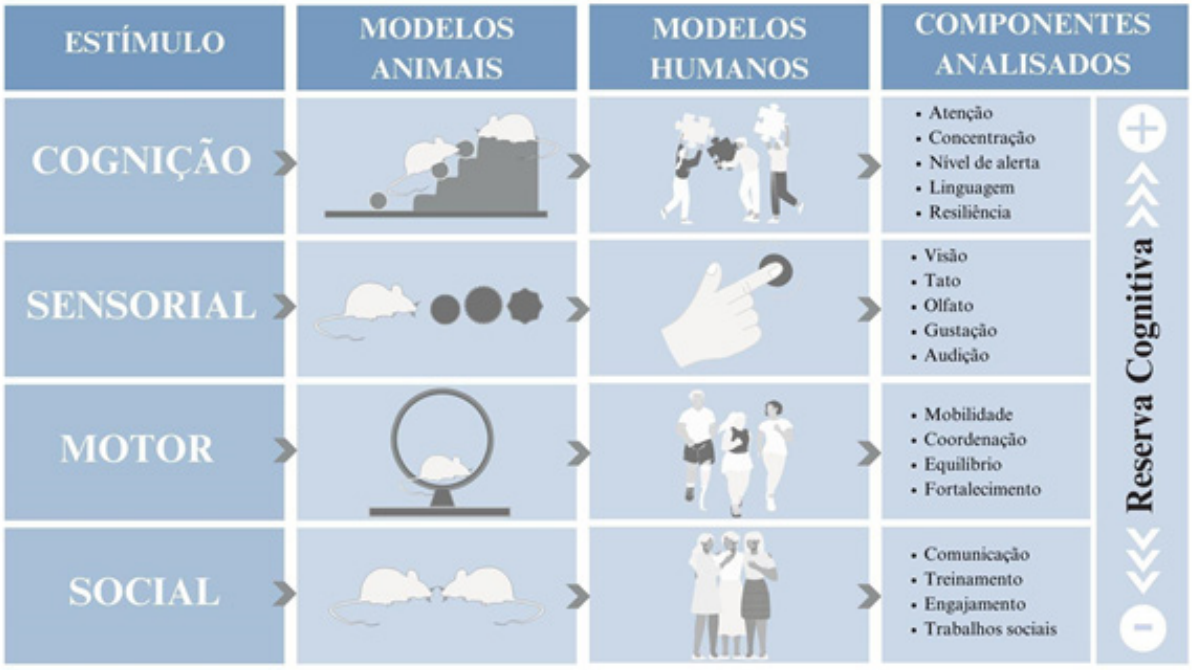
[1] O hipocampo é uma estrutura cerebral localizada no lobo temporal medial, essencial para diversas funções cognitivas, incluindo a memória, aprendizagem e a organização do espaço. Sua relação com esses processos é crucial para o funcionamento normal do sistema nervoso (LENT, 2010).

[2] Os "*london black cabs*" são táxis pretos distintivos que operam nas ruas de Londres, Reino Unido. Esses veículos são famosos por seu *design* icônico e são uma parte integrante da paisagem urbana de Londres. Eles são conhecidos por sua forma quadrada e cor preta tradicional. Além de sua aparência característica, os London black cabs são notáveis por serem altamente regulamentados e pelos rigorosos requisitos que os motoristas precisam cumprir para obter a licença de táxi em Londres (BRITANNICA, 2021).

[3] A plasticidade cerebral refere-se à capacidade do cérebro de modificar sua estrutura e função em resposta a experiências, aprendizado e mudanças ambientais. Essa característica permite que o cérebro se adapte a novas informações, desenvolva novas conexões neurais e ajuste sua organização interna ao longo do tempo (IZQUIERDO, 2018).

[4] A reserva cognitiva se refere à capacidade do cérebro de resistir a danos ou degeneração e manter suas funções cognitivas normais, mesmo diante de lesões cerebrais ou do envelhecimento. Essa reserva é construída ao longo da vida por meio de experiências cognitivamente enriquecedoras, educação, engajamento intelectual e práticas que estimulam a atividade cerebral (LENT, 2010).

Figura 1 - Transposição representativa dos pilares que caracterizam o Enriquecimento Ambiental em ratos de laboratório para a aplicação prática do cotidiano dos seres humanos.



Fonte: Elaborado com base em Han *et al.* (2022) e Vive *et al.* (2020).

Objetivo

Nessa perspectiva, o presente estudo visa fomentar um diagrama de diretrizes de projeto arquitetônico e urbanístico, embasado em evidências de estudos da neurociência, que possam ser implementadas em ambientes construídos, proporcionando aos ocupantes os possíveis benefícios gerados pelo EA. Dos principais fatores que envolvem o processo de aprendizagem e a saúde mental dos seres humanos, que são constantemente citados nos estudos revisados, serão descritos: atividade física (i), socialização (ii), processos cognitivos (memória e atenção) (iii), sono (iv) e vínculo com a natureza (v).

Metodologia

A presente pesquisa trata-se de um estudo exploratório multidisciplinar dividido em duas etapas: a primeira consiste na revisão de literatura dos conceitos e mecanismos de aprendizagem, de enriquecimento ambiental e de saúde mental nas obras de Donald Hebb (1974), Elizabeth Gould e Charles Gross (2002), Eric R. Kandel (2012), Roberto Lent (2010), Norman Doidge (2022), Ivan Izquierdo (2018) dentre outros autores. Ademais, foi efetuada uma revisão integrativa, avaliados pelo método PRISMA na base de dados do Periódicos CAPES, por meio das palavras-chave: "*environmental enrichment*" AND "*aging*" AND "*brain plasticity*". Foram incluídos apenas os artigos revisados por pares com enfoque em modelos humanos. O recorte temporal foi definido entre os anos de 2020 e 2023, devido ao crescimento exponencial das pesquisas em neurociência relacionadas à aprendizagem humana, à saúde mental e ao fortalecimento da reserva cognitiva. Conforme Suemoto *et al.* (2023), esse aumento pode ser atribuído ao período da pandemia de COVID-19, ao crescimento da população idosa, bem como ao avanço dos casos de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) e de condições neurodegenerativas. A segunda etapa envolveu dois estudos de caso: um relacionado a projetos arquitetônicos e outro a projetos urbanísticos, ambos refletindo os principais fatores destacados na revisão de literatura indicada. Por fim, foi feito um diagrama de proposições de projeto a fim de auxiliar a trabalhabilidade multidisciplinar dos conceitos abordados no ambiente construído capazes de fomentar melhorias nos processos de aprendizagem e manutenção da saúde

cognitiva dos ocupantes mediante aos envelhecimento.

Aprendizagem e Saúde Cognitiva

A aquisição de aprendizagem é um processo intricado que envolve diversas etapas neurofuncionais e estruturas cerebrais específicas. Inicialmente, a percepção sensorial ativa o córtex sensorial, interpretando estímulos do ambiente. A atenção, controlada pelo córtex pré-frontal e núcleo caudado, filtra informações relevantes. A consolidação de memória de curto prazo ocorre no hipocampo, seguida pela repetição e reforço, envolvendo o córtex pré-frontal e o cerebelo (IZQUIERDO, 2018). A consolidação de memória de longo prazo ocorre gradualmente no hipocampo e no córtex cerebral. O processo é sustentado pela plasticidade neural, que fortalece sinapses, e neurotransmissores, que transmitem sinais entre neurônios. Hormônios relacionados ao estresse e à emoção, como o cortisol, podem modular a aprendizagem, e a neurogênese contribui para a formação de novos neurônios. A recuperação e recordação envolvem o hipocampo e o córtex pré-frontal, e a aplicação do conhecimento ocorre no córtex pré-frontal e áreas cerebrais específicas. Conforme Izquierdo (2018), as sinapses, a plasticidade neural e os processos neurofuncionais são cruciais nesse processo, ocorrendo em diferentes regiões cerebrais especializadas, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Processos neurobiológicos vinculados à memória e ao aprendizado.

Fonte: Elaborado com base em Izquierdo (2018).

Nesse sentido, levando em consideração que o estresse crônico é presenciado em algum momento da vida em 90% da população mundial, conforme a OMS (2021), e está presente em 70% da população brasileira ativa, de acordo com a OPAS (2022), o EA revela-se como uma estratégia eficaz na atenuação dos efeitos adversos de tal estresse na saúde mental e na promoção de uma aprendizagem eficaz. Conforme Roberto Lent (2010), o estresse crônico desencadeia mudanças neurobiológicas significativas, especialmente no eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA). Quando ativado, hormônios como a adrenalina e a noradrenalina são liberados na circulação por estimulação dos nervos simpáticos que saem da medula espinhal, levando à fisiologia corporal ao estado de alerta, preparando o indivíduo para reações de luta e fuga (KANDEL, 2012). A liberação prolongada de cortisol, em resposta ao estresse, pode resultar em atrofia do hipocampo e alterações na estrutura e função do córtex pré-frontal, contribuindo para distúrbios cognitivos e emocionais (DOIDGE, 2023).

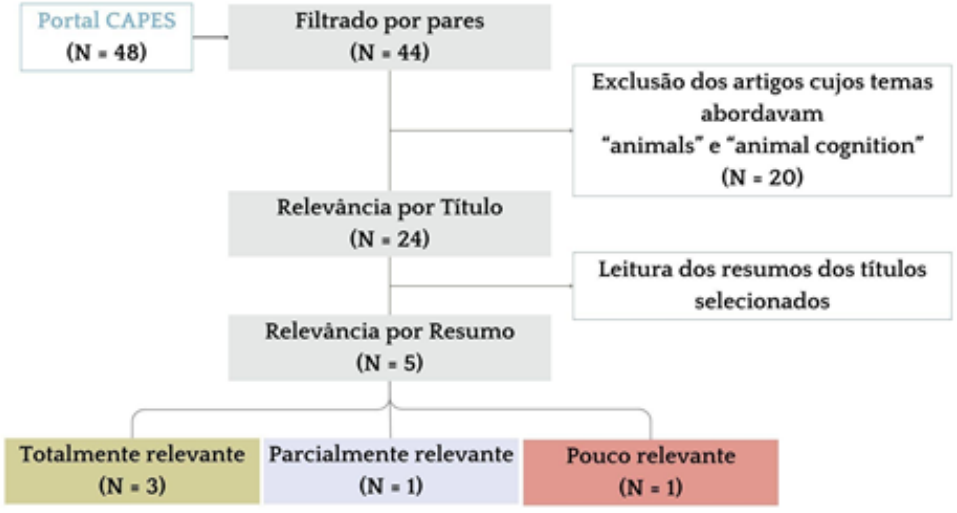
Assim, o enriquecimento ambiental intervém nessas alterações neurobiológicas ao proporcionar

uma variedade de estímulos físicos, sociais e cognitivos, conforme os estudos analisados. Detecta-se em múltiplos estudos a correlação entre a exposição a ambientes ricos em desafios cognitivos, interações sociais e atividades físicas e a liberação de neurotransmissores como serotonina e dopamina, componentes capazes de compensar os efeitos negativos do excesso de cortisol e, constantemente, fortalecendo a plasticidade sináptica nos usuários atuantes no ambiente construído (LENT, 2010; KANDEL, 2012; DOIDGE, 2023). Nesse contexto, qual seria o papel dos recursos arquitetônicos e urbanísticos em fomentar ambientes responsivos à saúde cognitiva durante o envelhecimento?

Revisão Integrativa de Literatura (RIL)

Com o objetivo de responder o questionamento feito anteriormente, foi efetuada a RIL levando em consideração a metodologia PRISMA, descrita por Botelho, Cunha e Macedo (2011). Na primeira etapa de RIL, foram definidas as palavras-chaves: "*environmental enrichment*" AND "*aging*" AND "*brain plasticity*". Na segunda etapa, foi definido o critério de inclusão de que os artigos abordam preferencialmente sobre a influência do espaço construído na saúde cognitiva de modelos humanos com mais de 60 anos e, como critérios de exclusão, foram eliminados todos os artigos que não cumpriam os seguintes critérios: a) idiomas: português e inglês; b) busca por: artigos; c) período: últimos três anos (2020-2023); d) revisado por pares; e) exclusão de publicações repetidas. As buscas dos artigos foram feitas entre os meses de novembro e dezembro de 2023, nos periódicos CAPES e a Figura 3 detalha o processo de seleção.

Figura 3 - Critérios de Inclusão e Exclusão da busca de artigos dentro do Portal de Periódico CAPES.



Fonte: Autor (2024).

A partir disso, foi elaborado o Tabela 1, identificando os autores, a área de pesquisa, a amostra, as variáveis avaliadas, os resultados e as conclusões. Averiguou-se que o limite do recorte etário variou entre 65 e 86, com o limite máximo de 210 participantes. Mesmo considerado uma amostragem pequena em comparação às pesquisas longitudinais robustas que utilizam-se de modelos humanos como base de suas análises, três delas mostram-se relevantes no âmbito de estímulos ambientais favoráveis ao desenvolvimento da reserva cognitiva com metodologias rigorosas e replicáveis (KILMECKI *et al.* 2023; NICASTRI *et al.,* 2022; SIHVONEN; SOINILA, SÄRKÄMÖ, 2022). Ambos os três artigos há a sugestão de maiores análises, sejam em outras regiões ou com números mais elevados de amostragem, além do uso e da atenção exclusiva aos modelos humanos.

Já os outros dois artigos, o primeiro fomentou bons resultados. No entanto, foi considerado parcialmente relevante por ter utilizado um desenho metodológico não randomizado (CUI *et*

al., 2022). O quinto artigo analisado apresentou uma parte de seu desenho metodológico com características subjetivas e de difícil mensuração. As variáveis incluíam o preconceito e a resiliência ao desencadeamento do medo e ou do estresse desenhado por ele. Mesmo com resultados promissores, a replicagem do estudo torna-se difícil frente às diversidades culturais, regionais e locais em múltiplas partes do mundo (ROSÁRIO *et al.*, 2020).

Tabela 1 - Dados referentes aos artigos analisados na RIL.

Referência	Amostra	Variáveis avaliadas	Resultados	Conclusões
Kilmecki *et al.* (2023)	201 participantes cognitivamente saudáveis	Educação, inteligência cristalizada e status socioeconômico	Melhor função de memória através da presença do EA a longo prazo.	A estimulação multimodal associada ao envolvimento num estilo de vida física, intelectual e socialmente enriquecido pode fomentar melhorias na função da memória.
Sihvonen; Soinila, Särkämö (2022)	38 pessoas idosas pós-AVC	Ouvir música vocal, música instrumental ou audiolivros durante os primeiros 3 após meses de AVC.	Este estudo mostra que ouvir música, seja vocal ou instrumental, promove mudanças generalizadas de conectividade estrutural no cérebro pós-AVC. Não foram evidenciados benefícios em audiolivros.	Fornece condições para a reestruturação funcional das áreas prejudicadas pelo AVC.
Nicastri *et al.* (2022)	144 pessoas idosas saudáveis completaram uma intervenção de 5 semanas	Treinamento cognitivo, exercício físico e meditação consciente.	A Terapia Cognitiva Comportamental (TCC), mas nenhuma outra condição, levou ao aumento dos níveis séricos do fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF)	A estimulação cognitiva adequada está associada ao aumento de BDNF, que proporcionou, neste estudo, aumento da velocidade/memória de trabalho.
Cui *et al.* (2020)	16 semanas com 98 pessoas idosas residentes na comunidade, distribuídos em um dos quatro grupos (treinamento combinado, apenas ciclismo aeróbico, apenas videogame ou controle passivo).	A amostra foi distribuída em um dos quatro grupos (treinamento combinado, apenas ciclismo aeróbico, apenas videogame ou controle passivo). A discriminação mnemônica foi medida como resultado comportamental primário, o volume do hipocampo e a conectividade funcional da rede de modo padrão (DMN) foram medidos como indicadores neurais.	Os participantes que receberam a intervenção combinada demonstraram o maior tamanho de efeito de melhoria na discriminação mnemônica. Os resultados das imagens de ressonância magnética indicaram que o exercício aeróbico aumenta o volume do hipocampo esquerdo, enquanto o treinamento com videogame neutralizou o declínio da conectividade funcional do DMN com o envelhecimento. A sinergia da plasticidade estrutural e funcional do hipocampo observada no grupo de treinamento combinado explicou porque os maiores benefícios da intervenção foram obtidos por este grupo.	Evidencia-se que a intervenção combinada de exercício e treinamento cognitivo é mais eficaz do que a intervenção única para adultos mais velhos

Rosário *et al.* (2020)	36 participantes cognitivamente saudáveis (55-86 anos)	Investigar o efeito moderador do controle percebido nas experienciais de discriminação (EoD), como o sexismo, o racismo e o idadismo, e a influencia delas no volume dos lobos temporais medias, com enfoque na atividade do complexo amigdalóide e hipocampal (MTLs).	Forneceu evidências de que maior EoD estava associada a menores volumes de amígdala bilateralmente. Além disso, os participantes com menor controle percebido em níveis mais elevados de EoD mostraram uma maior redução no volume da amígdala esquerda, mas não direita.	Sugere-se que a interação entre o stress crônico e a resiliência pode contribuir para a neuropatologia ou reserva de regiões sensíveis à DA, especificamente em populações que enfrentam experiências mais discriminatórias. Estudos futuros são necessários para examinar se as intervenções que aumentam o controle percebido (resiliência) têm efeitos benéficos na estrutura e função neural.

Fonte: Autor (2024).

Por fim, mostra-se que estudos acerca de enriquecimento ambiental envolvendo modelos humanos apresentam-se escassos na literatura neurocientífica dos três últimos anos. A dificuldade do consentimento ético e da participação de modelos humanos idosos para a pesquisa pode apresentar-se, possivelmente, como um potencial obstáculo para o maior número de amostragem e/ou de pesquisas com esse grupo populacional. Os demais estudos descartados apresentaram-se promissores, mas utilizavam-se de modelos animais e, por esse motivo, não foram considerados nesta RIL.

Em suma, mostra-se que intervenções com estimulação física, social, cognitiva e sensorial apresentam-se constantes nos estudos envolvendo a temática do enriquecimento ambiental, tanto em modelos animais quanto em modelos humanos. A combinação entre os estímulos físicos e cognitivos apresentaram-se mais relevantes no contexto da aprendizagem e da reserva cognitiva. Tais intervenções mostram a continuidade do legado e dos objetivos iniciados pelos neurocientistas que se destacaram nos primórdios do século XI (MAGUIRE *et al.*, 2006; VAN PRAAG *et al.*, 2005; VAN PRAAG, 2009).

Estudo de caso — projeto arquitetônico: Instalação Psiquiátrica do Hospital Östra (área construída: 18.000 m²), Suécia

Com o objetivo de evidenciar a aplicabilidade de evidências científicas no campo da arquitetura, a Instalação Psiquiátrica do Hospital Östra, localizada na Suécia, foi selecionada como exemplo por incorporar uma proposta inovadora de ambiente hospitalar voltado ao bem-estar integral dos pacientes. Desenvolvido pela equipe de design da White Architects em 2007, o projeto redefine os paradigmas da arquitetura hospitalar ao aliar funcionalidade, inclusão e cuidado terapêutico em um espaço pensado para promover recuperação e acolhimento. A abordagem adota princípios do design biofílico[5], como a conexão visual com a natureza, o uso estratégico de luz natural difusa e a criação de ambientes que equilibram privacidade e interação comunitária, proporcionando uma experiência sensorial restauradora a pacientes, familiares e profissionais de saúde. Esteticamente, a edificação rompe com o estigma associado a instalações psiquiátricas tradicionais, priorizando conforto, humanização e segurança, eliminando barreiras psicológicas e sociais frequentemente associadas a esses espaços. Entre as estratégias adotadas estão a integração harmoniosa entre áreas internas e externas, o planejamento eficiente do fluxo de circulação e o desenvolvimento de ambientes versáteis capazes de atender às necessidades clínicas e emocionais, conforme presente na Figura 5. De acordo com Ulrich *et al*. (2018), após a transição dos pacientes para as novas instalações do Hospital Östra em 2007, observou-se uma redução de 50% nos índices de agressões e picos de estresse, em comparação aos anos de 2005 e 2006, assim como uma diminuição na aplicação de medicamentos calmantes. Além disso, o contato direto com a natureza propiciou melhorias na saúde mental dos funcionários e na gestão do cuidado com os pacientes (ULRICH

[5] O design biofílico é uma abordagem projetual que busca integrar elementos naturais e padrões inspirados pela natureza em ambientes construídos, com o objetivo de promover o bem-estar físico, mental e emocional dos ocupantes. Baseado no conceito de biofilia, que se refere à afinidade inata dos seres humanos pela natureza (KELLERT; WILSON, 1995).

et al., 2018). Como resultado, o projeto demonstra que a neurociência aplicada à arquitetura pode transformar tanto a percepção quanto a eficácia do cuidado em saúde cognitiva, consolidando-se como referência internacional em design terapêutico.

Figura 5 - Planta Baixa Térreo Instalação Psiquiátrica do Hospital Östra: recorte espacial do módulo com detalhes do projeto arquitetônico.

Fonte: Elaborado com base em Ulrich *et al.* (2018).

Estudo de caso — projeto urbanístico: Parque Rachel de Queiroz (área construída: 90.969 m²), cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

O Parque Rachel de Queiroz, concebido em 2022 pelo escritório Architectus S/S, foi desenvolvido para recuperar uma área degradada que, por anos, gerou repercussões negativas na saúde dos moradores locais. O terreno, principal espaço disponível para intervenção no projeto, era utilizado como depósito irregular de lixo e possuía esgoto clandestino. Localizado em uma área alagável de preservação da cidade de Fortaleza, o projeto adotou o sistema de drenagem como eixo estruturante, empregando a técnica de *wetlands*[6] para melhorar a qualidade da água e amortecer cheias (TIMBÓ *et al.*, 2023).

Com o conceito de Parque Linear, o projeto conecta áreas verdes ao longo de oito bairros por meio da infraestrutura viária existente, promovendo integração urbana. Entre as atividades e equipamentos oferecidos, destacam-se academias ao ar livre, pistas para caminhada e corrida, ciclovias, quadras poliesportivas, espaços para futebol e vôlei, playgrounds, anfiteatro, cachorródromo e áreas de leitura (TIMBÓ *et al.*, 2023). As margens das nove lagoas interligadas, além de desempenharem funções ambientais como filtragem da água e controle de enchentes, configuram espaços para convivência e lazer. O mobiliário urbano foi planejado com materiais como eucalipto tratado e madeira biossintética, atendendo critérios de sustentabilidade e resistência. Duas passarelas metálicas foram implementadas para conectar diferentes áreas do parque, assegurando acessibilidade e fluidez na circulação (TIMBÓ *et al.*, 2023). A identidade visual inclui sinalizações

[6] A técnica de wetlands, ou sistemas de áreas úmidas construídas, é uma solução de infraestrutura verde que utiliza processos naturais para tratar águas residuais, pluviais ou superficiais. Esses sistemas replicam o funcionamento de ecossistemas de áreas alagadas, empregando solo, vegetação aquática e microrganismos para realizar a filtragem, decantação e fitorremediação da água. Além disso, as wetlands oferecem benefícios adicionais, como suporte à biodiversidade, controle climático local e integração paisagística em projetos urbanos (TIMBÓ *et al.*, 2023).

que orientam e destacam o papel ambiental das *wetlands*. Inserido em uma região historicamente carente de espaços públicos adequados, o parque vem sendo progressivamente apropriado pela população, promovendo uso contínuo e incentivando o comércio local (TIMBÓ *et al.*, 2023). Essa intervenção exemplifica a transformação de uma área degradada em um espaço público funcional, com benefícios sociais e ambientais significativos, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Planta Baixa Parque Rachel de Queiroz: recorte espacial do projeto urbanístico associado às atividades de lazer presentes no parque.

Fonte: Elaborado com base em Timbó *et al.* (2023).

Resultados e Discussão

Com base na revisão integrativa de literatura, foram identificados fatores relevantes em estudos realizados tanto em modelos animais quanto em humanos. Esses fatores, como o contato com elementos da natureza e as oportunidades de socialização, foram associados a evidências da neurociência aplicada à arquitetura e ao urbanismo, destacando benefícios para a aprendizagem e o fortalecimento da reserva cognitiva.

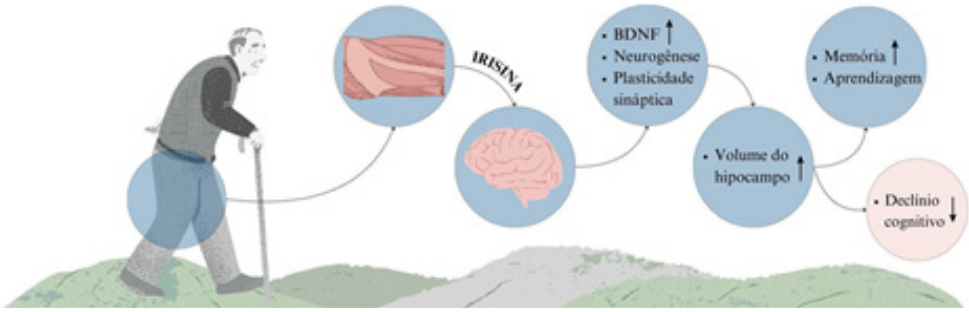
Atividade Física

A relação entre atividade física e aprendizagem caracteriza-se como promissora, envolvendo diversos mecanismos. Observa-se que, durante a atividade física, a elevação do Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro (BDNF) em conjunto com a promoção do fluxo sanguíneo cerebral, o que contribuem para a otimização das condições neurobiológicas para aprendizagem (AGHJAYAN *et al.*, 2022). Durante o exercício, a liberação do hormônio irisina, associada à neurogênese e plasticidade sináptica, desempenha um papel crucial. A equipe liderada pelo neurocientista brasileiro Michael Lorenzo, em 2019, demonstrou os potenciais efeitos da irisina como novo agente capaz de se opor à falha de sinapses e ao comprometimento da memória presenciado nos quadros de demência, especialmente na DA (LOURENÇO, *et al.* 2019). Estudos realizados nos últimos anos demonstraram o papel neuroprotetor desencadeado pela irisina, liberada no sistema neuronal a partir da atividade física.

A redução do estresse oxidativo, a estimulação do hipocampo e a modulação de neurotransmissores, como dopamina e serotonina, são fatores adicionais que destacam a influência positiva da atividade física na consolidação da aprendizagem. Esses elementos convergem para criar um ambiente propício à formação e manutenção eficiente de sinapses, ressaltando a importância do exercício na promoção da função cerebral e no aprimoramento da capacidade cognitiva (AGHJAYAN *et al.*, 2022).

Dessa forma, conforme sintetizado na Figura 7, além de mitigar o declínio cognitivo, a atividade física contribui para o saúde cognitiva e a manutenção da funcionalidade física, consolidando-se como uma estratégia eficaz na prevenção e intervenção da DA (PENG; WU, 2022; RODY; DE AMORIM; DELICE, 2022).

Figura 7 - Influência da atividade física em aprimorar o aprendizado e a memorização.



Fonte: Elaborado com base em Lourenço *et al.* (2019).

O estudo de Kolarik, Stark e Stark (2020) mostrou que intervenções de exploração espacial mostraram-se promissoras em melhorar a memória de curto-prazo em pessoas idosas cognitivamente saudáveis. Além disso, a revisão sistemática e meta-analítica de Aghjayan *et al.* (2022), publicada na *Nature*, levou em consideração trinta e seis estudos, representando dados de 2.750 participantes. Foi evidenciado que o exercício aeróbico influencia positivamente a memória episódica entre adultos com mais de 55 anos sem demência, além de propiciar modulações neurais eficazes para mitigar efeitos do estresse crônico e da depressão, além da prevenção ou postergação de quadros neurodegenerativos, como a Doença de Alzheimer (DA) e Demência da Doença de Parkinson (DDP). Portanto, ambientes que estimulem a atividade física, como os percursos de corrida e de caminhada projetados no Parque Rachel de Queiroz, conforme indicado no item B da Figura 6, passam a ser essenciais para o aprendizado e a saúde mental, independente da idade dos usuários.

Socialização

A solidão prolongada no longo prazo pode gerar efeitos negativos para a saúde mental e física em adultos e crianças. O estudo de Qualter *et al.* (2010), envolvendo 296 crianças, evidenciou que a solidão vivenciada no ambiente escolar infantil pode estar associada a sintomas de depressão na adolescência. Outros estudos apontam que os efeitos da solidão prolongada também dependem da escolha de cada indivíduo. Logo, pessoas que optam por se isolarem por vontade própria são menos afetadas pela solidão que aquelas que se sentem solitárias, mas que gostariam de estar conectadas com outras.

Em pessoas idosas, isso não se diferencia. Estudos mostram que a solidão prolongada após os 60 anos podem conduzir a redução no volume do córtex pré-frontal e do hipocampo, além de diminuir a concentração de BDNF e elevar os níveis de cortisol. Tal desencadeamento de fatores são considerados adversos ao aprendizado e a aquisição de uma saúde mental ao longo da vida (RIVERA *et al.*, 2020).

No estudo longitudinal conduzido por Solé-Padullés *et al.* (2022), a solidão foi associada à piora da memória episódica verbal[7] em um grupo de 1468 pessoas idosas. Especificamente, relatar níveis médios a altos de solidão ao longo do tempo foi relacionado ao aumento significativo da perda de memória nos exames clínicos de acompanhamento. É relevante ressaltar que a ligação entre solidão e memória episódica foi especialmente pronunciada em indivíduos com declínio cognitivo progressivo, fortalecendo achados anteriores que estabelecem uma associação entre solidão, comprometimento cognitivo e demência (SOLÉ-PADULLÉS *et al.*, 2022).

O projeto arquitetônico e urbanístico pode criar oportunidades de interação e encontros sociais entre diferentes grupos, como crianças, jovens, adultos e pessoas idosas. Tanto a Instalação Psiquiátrica do Hospital Östra quanto o Parque Rachel de Queiroz demonstram a importância de

[7]A memória episódica verbal refere-se à capacidade de recordar informações específicas relativas a eventos ou experiências em forma de linguagem verbal. Ela envolve a retenção e recuperação consciente de detalhes específicos, como palavras, frases ou narrativas associadas a eventos temporais e contextos específicos (IZQUIERDO, 2018).

projetar espaços que incentivem interações sociais em diferentes níveis de intimidade. Enquanto o primeiro é mais restrito por se tratar de uma edificação hospitalar, o segundo, por ser uma área ao ar livre, proporciona maior dinamismo social e acessibilidade a diferentes públicos, conforme as Figuras 5 e 6, respectivamente. Dessa forma, elementos como praças, espaços de transição, paredes transparentes e áreas amplas ampliam a visibilidade e incentivam o encontro e a socialização entre os usuários do ambiente construído.

Processos Cognitivos (Memória e Atenção)

Estudos da neurociência em modelos humanos vinculado à arquitetura, *design*, memória e atenção ainda constam-se imprecisos no que tange o público idoso, levando em consideração amostras populacionais de crianças e jovens adultos. No entanto, experimentos de neuroimagem evidenciam a influência da arquitetura nos processos de atenção e memória, considerando variáveis como forma, geometria, distribuição espacial, cor, textura, altura, largura, transição, circulação, luz, som e temperatura.

Relativamente à forma e geometria, dois estudos foram conduzidos. O primeiro, utilizando eletroencefalograma (EEG), revelou que espaços retilíneos resultam em baixa satisfação e excitação cognitiva, enquanto linhas curvas elevam os níveis de exploração espacial, detectando pontuações mais elevadas dos circuitos neurais relacionados à cognição humana (BANAEI *et al.*, 2017). O segundo, por Elbaiuomy, Hegazy e Sheta (2017), explorou seis geometrias de espaços interiores, identificando que ambientes com aço, concreto ou vidro melhoram a atenção, enquanto espaços quadrados ou cilíndricos de concreto são propensos à estímulos exploratórios, auxiliando nos processos neurais envolvidos com a aprendizagem (ELBAIUOMY; HEGAZY; SHETA, 2017).

No contexto da distribuição e contexto espacial, Vecchiato *et al.* (2015) observaram que a disposição do mobiliário impacta a atividade sensorial e o movimento corporal. Espaços com características facilmente compreensíveis, como quartos e locais para refeições facilitam a navegação dos usuários em ambientes internos. A cor e textura também exercem influência, conforme o estudo de Min e Lee (2020) em que foi associado o alto contraste de cores com níveis mais elevados de memória espacial. O estudo conduzido por Llinares *et al.* (2021) associou o uso de cores saturadas em ambientes internos com níveis atencionais mais elevados, enquanto cores menos saturadas propõem relaxamento e segurança (LLINARES *et al.*, 2021).

A altura do teto, largura e fechamento são fatores relevantes. Estudos com ressonância magnética funcional (fMRI) indicam que pé-direito alto e geometria curvilínea são atrativos e estimulantes à exploração e, consequentemente, à memorização de aspectos ambientais, enquanto o ambientes fechados, retilíneos e com baixo pé-direito podem conduzir os usuários ao foco atencional, aprimorando decisões de saída (VARTANIAN *et al.*, 2015). Movimentos corporais relacionados à transição e à circulação também impactam processos cognitivos, evidenciando que a consciência sensorial está relacionada às *affordances*[8], ou seja, às oportunidades propostas pela disposição dos elementos que compõem o aspecto arquitetônico do ambiente construído (DJEBBARA *et al.*, 2019).

Por fim, fatores ambientais como qualidade do ar, integridade sonora, intensidade da iluminação e temperatura exercem influência significativa sobre as funções cognitivas — incluindo memória, atenção e linguagem — e, consequentemente, sobre a aprendizagem. A organização planejada das diversas atividades de lazer no projeto do Parque Rachel de Queiroz oferece aos usuários oportunidades de aprendizado, uma vez que integra esses fatores ambientais, conforme ilustrado na Figura 6. Contudo, mensurar e estabelecer intensidades precisas para esses fatores permanece um desafio na literatura científica, considerando a complexidade dos processamentos sensoriais individuais de cada usuário analisado.

[8] *Affordances* são características percebidas de um objeto, ambiente ou situação que sugerem possíveis ações ou interações. Esse conceito, introduzido pelo psicólogo James J. Gibson, destaca a relação entre um observador e o ambiente, enfatizando como as propriedades percebidas de um objeto influenciam as ações que uma pessoa pode realizar com ele (GIBSON, 2017).

Sono

O sono é um fenômeno complexo que se divide em diferentes estágios, sendo os principais o sono REM (*Rapid Eye Movement*) e o sono NREM (*Non-Rapid Eye Movement*). Esses estágios têm implicações significativas para processos cognitivos, incluindo aprendizagem, memória, reserva cognitiva e saúde mental. O sono REM é caracterizado por movimentos rápidos dos olhos, aumento da atividade cerebral e, frequentemente, sonhos vívidos. Durante esse estágio, a atividade neural é comparável à vigília, e os músculos voluntários ficam temporariamente paralisados para evitar a execução de movimentos relacionados aos sonhos. O sono REM desempenha um papel crucial na consolidação da memória, especialmente na memória emocional e procedural. Estudos sugerem que é durante o sono REM que ocorre a reorganização das memórias adquiridas durante o dia, fortalecendo conexões neurais relevantes. Já o sono NREM é dividido em três estágios, sendo o terceiro (N3) o mais profundo. Durante o N3, ocorre a liberação de hormônios do crescimento e consolidação da memória declarativa, relacionada a fatos e eventos. Esse estágio é crucial para a retenção de informações complexas, como conceitos acadêmicos (WEISS; DONLEA, 2022).

Ambos os estágios do sono são vitais para o processo de aprendizagem. Durante o sono, ocorre uma reorganização das conexões sinápticas, fortalecendo aquelas relacionadas ao que foi aprendido durante o período de vigília. O sono REM está associado à criatividade e à resolução de problemas, enquanto o sono NREM desempenha um papel na consolidação de informações mais complexas. O sono é essencial para a consolidação da memória. Durante o sono REM e NREM, as memórias são processadas, organizadas e armazenadas de maneira mais eficaz. A privação do sono pode prejudicar significativamente a capacidade de reter e recuperar informações. A qualidade do sono está diretamente ligada à reserva cognitiva, que se refere à habilidade do cérebro de enfrentar a degeneração relacionada à idade. Um sono adequado é crucial para a preservação da função cognitiva ao longo do tempo (WEISS; DONLEA, 2022).

A disrupção dos ritmos circadianos está associada a diversos problemas, desde acidentes de trânsito até comorbidades como tendências suicidas e doenças neurodegenerativas. Um estudo longitudinal publicado na revista Nature Communication acompanhou o sono de aproximadamente 8 mil habitantes por 25 anos. A pesquisa destacou que a curta duração do sono entre os 50 e 70 anos, em comparação com a duração normal do sono, aumentou em 30% o risco de demência a longo prazo, independentemente de fatores sociodemográficos, comportamentais e de saúde mental (SABIA *et al.*, 2021).

Estudos do *Light Research Center* (LRC), liderados por Mariana Figueiró e equipe, indicaram que a exposição à iluminação alinhada aos ritmos biológicos humanos pode melhorar o sono, humor e comportamento em pacientes com demência em ambientes controlados (FIGUEIRÓ *et al.*, 2019). Isso reforça a associação entre exposição luminosa e quadros demenciais durante o envelhecimento humano.

Por fim, distúrbios do sono estão frequentemente associados a problemas de saúde mental. A privação do sono pode contribuir para distúrbios como ansiedade e depressão. Além disso, a qualidade do sono desempenha um papel fundamental na regulação emocional. Em resumo, tanto o sono REM quanto o NREM são processos neurais essenciais para a aprendizagem, memória, reserva cognitiva e saúde mental (WEISS; DONLEA, 2022). Ambientes enriquecidos, portanto, como os dormitórios dos pacientes e os corredores da Instalação Psiquiátrica do Hospital Östra, devem levar em consideração temperatura, luz e sonoridade, tendo em vista que são cruciais para promoção de hábitos de sono saudáveis. Logo, considera-se como fundamental a qualidade do sono para garantir um funcionamento cognitivo e emocional eficaz.

Vínculo com a natureza

A "hipótese da biofilia" propõe que os seres humanos evoluíram em sintonia com a natureza, desenvolvendo uma afinidade intrínseca por ela (KELLERT; WILSON, 1995). A partir dessa concepção, duas teorias centrais, a "*Attention Restoration Theory*" (ART) e a "*Stress Reduction Theory*" (SRT) , fornecem insights sobre os mecanismos pelos quais a interação com a natureza pode impactar a

saúde humana. A Teoria da Restauração da Atenção (ART) sugere que a fadiga mental associada à vida moderna está vinculada à exaustão da capacidade de concentração (KAPLAN, 1995). Segundo essa teoria, passar tempo em ambientes naturais permite que as pessoas superem essa fadiga mental e restauram a capacidade de concentração (KAPLAN, 1995). Por outro lado, a Teoria da Redução do Estresse (SRT) explora como o contato com a natureza pode influenciar as emoções, ativando o sistema nervoso parassimpático para reduzir o estresse e a excitação autonômica, baseando-se na conexão inata das pessoas com o mundo natural (ULRICH, 1984).

Além disso, defensores da hipótese da biofilia afirmam que os espaços verdes oferecem às crianças oportunidades de descoberta, criatividade, tomada de riscos, domínio e controle, influenciando positivamente diversos aspectos do desenvolvimento cerebral. Além da biofilia, várias outras vias podem conectar a natureza à saúde, como aumento das oportunidades para interações sociais e atividades físicas, ao mesmo tempo que atenua exposições prejudiciais ao ambiente, como poluição do ar, ruído e calor (KELLERT, 2018).

Em "*Nature By Design: the practice of biophilic design*", Stephen Kellert (2018) estabelece que a biofilia no *design* abrange três categorias fundamentais. A primeira envolve a interação com recursos naturais essenciais, como luz solar, ar, água, plantas, animais, vistas de paisagens naturais, clima e fogo. A segunda categoria baseia-se em elementos transformados do estado natural, como imagens, materiais, texturas, cores, formas, detalhes, pátinas, geometrias, simulação de iluminação, ventilação naturais estratégicas biomiméticas[9]. Isso inclui elementos como fotografias, texturas de madeira, pedra, couro e metal, cores presentes na natureza, formas orgânicas no espaço, entre outros (KELLERT, 2018). O terceiro componente vital do *design* biofílico é a experiência de espaço e lugar, incorporando atributos como perspectiva e refúgio, complexidade organizada, espaços de transição, mobilidade, conexões ecológicas e culturais, e a integração das partes com o todo (KELLERT, 2018). O projeto da Instalação Psiquiátrica do Hospital Östra, por exemplo, teve como premissa estruturante os três componentes apresentados por Kellert (2018). Benefícios como redução da agressividade, menor uso de medicamentos e diminuição de surtos psicóticos foram evidenciados por Ulrich *et al.* (2018), por meio das concepções do *design* biofílico.

Apesar de evidências inconsistentes, a atividade física associada ao contato com a natureza pode representar um caminho de estimulação motora crucial para benefícios à saúde, oferecendo mais oportunidades para exercícios ao ar livre (por exemplo, caminhadas) e brincadeiras (BIDDLE; ASARE, 2011; WARBURTON; BREDIN, 2017; NIEUWENHUIJSEN *et al.*, 2017). O estímulo ao contato social emerge como um mecanismo promissor na literatura recente, onde ambientes naturais e espaços verdes proporcionam uma via para aumentar o contato com outros indivíduos e promover um senso mais forte de comunidade (NIEUWENHUIJSEN *et al.*, 2017'; KELLY *et al.*, 2017). As associações subjacentes entre a exposição à natureza e os resultados de saúde são multifacetadas, ainda não completamente compreendidas, e podem atuar de forma isolada ou sinérgica (KRUIZE *et al.*, 2019).

Reserva Cognitiva

A reserva cognitiva (CR) refere-se à capacidade do cérebro de resistir a danos cerebrais decorrentes de condições neurodegenerativas ou lesões, mantendo as funções cognitivas. Esse conceito sugere que as experiências ao longo da vida, especialmente aquelas relacionadas à atividade física, socialização, processos cognitivos, sono e conexão com a natureza, podem construir uma reserva que atua como uma espécie de "poupança" cognitiva (SCHOENTGEN; GAGLIARDI; DÉFONTAINESA, 2020).

Nessa perspectiva, mediante ao estudo de Schoentgen, Gagliardi e Défontainesa (2020), os fatores citados anteriormente correlacionam-se com a CR: (i) Atividade Física: A prática regular de atividade física estimula a circulação sanguínea, promove o crescimento de novas células cerebrais (neurogênese) e fortalece as conexões entre os neurônios, contribuindo para a reserva cognitiva; (ii) Socialização: A interação social estimula áreas do cérebro envolvidas na linguagem, memória e habilidades sociais. Relações sociais significativas têm sido associadas a uma reserva cognitiva mais robusta; (iii) Processos Cognitivos (Memória e Atenção): O envolvimento em desafios cognitivos, como aprender novas habilidades, praticar jogos mentais ou participar de atividades educacionais, contribui para a reserva cognitiva, fortalecendo as redes neurais e melhorando a plasticidade cerebral; (iv) Sono: O sono adequado desempenha um papel vital na consolidação da memória e no reparo

[9] Área da ciência que estuda os princípios criativos e estratégias da natureza, visando a criação de soluções para os problemas atuais da humanidade, unindo funcionalidade, estética e sustentabilidade.

celular. A privação do sono pode prejudicar esses processos, afetando negativamente a reserva cognitiva; (v) Vínculo com a Natureza: A exposição à natureza tem sido associada a benefícios cognitivos e emocionais. Ambientes naturais podem reduzir o estresse, melhorar o humor e promover a clareza mental, contribuindo assim para a reserva cognitiva, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Diagrama de proposições de projeto arquitetônico e urbano responsivo à saúde cognitiva.

Fatores biológicos, psicológicos e sociais em seres humanos associados à saúde cognitiva				
Atividade Física	Socialização	Processos Cognitivos (Memória e Atenção)	Qualidade do Sono	Vínculo à aspectos presentes na Natureza
Possíveis efeitos desencadeados no organismo (+)*				
.Fatores neutrófilos (BDNF) .Fluxo sanguíneo .Metabolismo .Níveis de serotonina .Qualidade do sono .Neuroplasticidade (neurônios e/ou sinapses) .Volume do complexo amigdalóide	.Níveis de ocitocina .Laços afetivos .Empatia .Resiliência social .Habilidades sociais	.Volume do complexo hipocampal .Reserva cognitiva .Memória .Atenção .Aprendizagem .Neuroplasticidade (neurônios e/ou sinapses)	.Consolidação da memória .Neuroplasticidade (neurônios e/ou sinapses) .Regulação metabólica .Níveis adequados de melatonina e de cortisol .Regulação adequada de substâncias tóxicas e metabólitos indesejados no sistema neuronal	.Restauro da atenção .Redução do estresse .Regulação do sistema imunológico .Estimulação sensorial .Sensação de bem-estar
Possíveis efeitos desencadeados no organismo (-)**				
.Declínio cognitivo .Estresse oxidativo .Desregulação metabólica .Declínio da força muscular .Menor resiliência a fatores estressores	.Estresse crônico .Declínio cognitivo .Estágios depressivos .Desregulação do ciclo circadiano	.Declínio cognitivo .Estresse crônico .Desregulação metabólica	.Declínio cognitivo .Estresse crônico .Propensão ao desenvolvimento de quadros neurodegenerativos à longo prazo .Desregulação metabólica	.Estresse crônico .Desregulação metabólica
Propostas de intervenção no ambiente construído responsiva à saúde cognitiva				
.Espaços compartilhados .Praças e áreas de encontro .Cafés, restaurantes e outros comércios ao ar livre .Preferência pelo uso de escadas e rampas ao invés de elevadores quando possível .Áreas que estimulem a atividade física de forma voluntária (design ativo) .Pequenos desafios que estimulem a caminhabilidade e o encontro com outras pessoas	.Iluminação adequada a atividade desejada .Espaços flexíveis, ajustáveis aos níveis de socialização .Ofertar oportunidades de escolha aos usuários .Mudança e novidade como forma de despertar a atenção e a interação entre as pessoas .Marcos históricos, paineis contemplativos e atividades grupais podem promover maiores chances de socialização	.Controle de iluminação .Regulação dos níveis de isolamento acústico do espaço construído . Níveis de temperatura ambiental e de renovação do ar interno .Investimentos de mobiliários ergonômicos, capazes de se ajustarem à diversidade de usuários .Presença de tecnologias assistivas quando forem necessárias .Promover ambientes acessíveis, detentos de uso intuitivo .Atividades de reminiscência, jogos ao ar livre, musicoterapia, estímulos olfativos podem conciliar processos atencionais e de aprendizagem.	.Controle de iluminação .Regulação dos níveis de isolamento acústico do espaço construído . Níveis de temperatura ambiental e de renovação do ar interno	.Princípios do design biofílico .Áreas verdes ao ar livre .Vistas naturais e estimulantes sensorialmente nas proporções ideais para o(s) usuário(s)
Referências bibliográficas				
(AGHJAYAN *et al.*, 2022; LOURENÇO *et al.*, 2019; RODY; DE AMORIM; DELICE, 2022; PENG;WU, 2022; KOLARIK, STARK; STARK, 2020)	(BIDDLE; ASARE, 2011; WARBURTON; BREDIN, 2017; NIEUWENHUIJSEN *et al.*, 2017)	(SCHOENTGEN; GAGLIARDI; DÉFONTAINESA, 2020)	(FIGUEIRÓ *et al.*, 2019; SABIA *et al.*, 2023; WEISS; DONLEA, 2022)	(KELLERT; WILSON, 1995; KELLERT, 2018; ULRICH *et al.*, 2018; ULRICH, 1984)

* (+): Efeitos desejados que conduzem a saúde cognitiva em níveis ponderados.
** (-): Efeitos não desejados em demasia para a saúde cognitiva.

Fonte: Autor (2024).

Conforme Schoentgen, Gagliardi e Défontainesa (2020), a RC é crucial para o envelhecimento saudável e pode desempenhar um papel protetor contra doenças neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer. Além disso, uma reserva cognitiva robusta está relacionada a um melhor desempenho cognitivo ao longo da vida. No contexto do aprendizado, ela pode influenciar positivamente a capacidade de adquirir novos conhecimentos e adaptar-se a novas situações. Para a saúde mental, uma reserva cognitiva bem desenvolvida pode ser um fator de proteção contra transtornos mentais e contribuir para a resiliência psicológica. Portanto, promover práticas que impulsionam a reserva cognitiva é essencial para o bem-estar cognitivo e mental ao longo da vida.

Conclusão

Conclui-se que o atual envelhecimento da população margeado pelo estresse crônico e quadros de ansiedade está associado ao aumento dos casos de declínio mental e demência em pessoas idosas, gerando o interesse crescente em aprimorar a função cognitiva e compreender os mecanismos biológicos, psicológicos e sociais do comportamento humano. A partir da exploração do enriquecimento ambiental, inicialmente em modelos animais, estudos da neurociência indicaram resultados promissores na aplicação de estímulos ambientais em modelos humanos, promovendo, a curto, médio e/ou longo prazo, a saúde cognitiva dos usuários.

Nesse contexto, espaços construídos capazes de estimular adequadamente a atividade física, socialização, processos cognitivos, qualidade do sono e contato com a natureza podem ser considerados ambientes responsivos à saúde cognitiva. Este estudo demonstrou que tanto o projeto arquitetônico do Hospital Östra quanto o planejamento urbanístico do Parque Rachel de Queiroz, ao contemplarem elementos como a conexão visual com a natureza, o uso de luz dinâmica e difusa, a complexidade e ordem, e a criação de ambientes de refúgio e encontro, proporcionam benefícios significativos aos ocupantes dos espaços. Esses benefícios incluem: redução da pressão arterial e do ritmo cardíaco, melhora na atenção mental, impacto positivo no bem-estar geral, funcionamento aprimorado do sistema circadiano, aumento do conforto visual, respostas perceptivas e fisiológicas mais equilibradas ao estresse, além de maior concentração, atenção e sensação de segurança.

Por fim, o enriquecimento ambiental emerge como uma estratégia arquitetônica fundamentada na neurociência para mitigar os efeitos do estresse crônico e dos quadros de ansiedade presentes na população mundial, promovendo a saúde mental e, consequentemente, facilitando o processamento cognitivo da aprendizagem continuada, intitulada também de *lifelong learning*. Sugere-se a condução de pesquisas de caráter longitudinal em modelos humanos com idade superior a 65 anos tanto no âmbito brasileiro quantos os demais países, a fim de acompanhar a influência do enriquecimento ambiental a curto, médio e longo prazo, bem como fomentar comparações multimodais acerca do declínio cognitivo entre diversas culturas presentes em outras nacionalidades.

Ao compreender os mecanismos neurobiológicos subjacentes ao comportamento humano, profissionais projetistas e da área da saúde, a partir de uma trabalho integrativo, podem fomentar ambientes que não apenas mitiguem os impactos negativos do estresse crônico, mas que sejam capazes de contemplar a resiliência cerebral, o fortalecimento cognitivo e emocional e o *lifelong learning*. Essa abordagem integrada é essencial para promover o bem-estar holístico em ambientes construídos, gerando impactos significativos na saúde humana e ambiental.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

AGHJAYAN, S.L.;BOURNIAS, T.;KANG, C.;ZHOU, X.;STILLMAN, C.M.;DONOFRY, S.D.;KAMARCK. T. W.;MARSLAND, A.L.;VOSS, M.W.;FRAUNDORF, S.H.; ERICKSON, K.I. Aerobic exercise improves episodic memory in late adulthood: a systematic review and meta-analysis. **Communications Medicine**, v. 2, n. 1, p. 1–11, 17 fev. 2022.

BAHI, A.; DREYER, J.-L. Environmental enrichment decreases chronic psychosocial stress-impaired extinction and reinstatement of ethanol conditioned place preference in C57BL/6 male mice. **Psychopharmacology**, v. 237, n. 3, p. 707–721, 30 nov. 2019.

BANAEI, M. *et al.* Walking through architectural spaces: the impact of interior forms on human brain dynamics. **Front. Hum. Neurosci.**, 2017.

BIDDLE, S.J.H; ASARE, M. Physical Activity and Mental Health in Children and Adolescents: A Review of Reviews. Br. **J. Sports Med.**, vol 45, pp. 886-895, 2011.

BRITANNICA. **London - Postal Districts:** Taxicabs of London. Encyclopædia Britannica, Inc.: Cities & Towns H-L, 2021. Disponível em: <https://encr.pw/uQsDG>. Acesso em: 24 nov. 2023.

CORDNER, Z. A., MARSHALL-THOMAS, I., BOERSMA, G. J., LEE, R. S., POTASH, J. B., & TAMASHIRO, K. L. K.Fluoxetine and environmental enrichment similarly reverse chronic social stress-related depression- and anxiety-like behavior. **Neurobiology of Stress**, v. 15, p. 100392, nov. 2021.

CUI, X.; GUI, W.; MIAO, J.; LIU, X.; ZHU, X.; ZHENG, Z.; WAN, W.; SHAO, Q.; KRAY, J.; JIANG, Y.; LI, J. A Combined Intervention of Aerobic Exercise and Video Game in Older Adults: The Efficacy and Neural Basis on Improving Mnemonic Discrimination. **The Jour. of Geront.: Series A**, v. 78, n. 8, p. 1436–1444, 3 dez. 2022.

DAMIANO, RF.; CARUSO, M. J. G.; CINCOTO, A. V.; DE ALMEIDA ROCCA, C. C.; DE PÁDUA SERAFIM, A.; BACCHI, P.; GUEDES, B. F.; BRUNONI, A. R.; PAN, P. M.; NITRINI, R.; BEACH, S.; FRICCHIONE, G.; BUSATTO, G.; MIGUEL, E. C.; FORLENZA, O. V.; HCFMUSP, COVID-19 STUDY GROUP. Post-COVID-19 psychiatric and cognitive morbidity: preliminary findings from a brazilian cohort study. **Gen Hosp Psychiatry**, 2022.

DANDI, E.; SPANDOU, E.; DALLA, C.; TATA, D. A. The neuroprotective role of environmental enrichment against behavioral, morphological, neuroendocrine and molecular changes following chronic unpredictable mild stress: A systematic review. **European Journal of Neuroscience**, v. 58, n. 4, p. 3003–3025, 17 jul. 2023.

DELORS, J., AL MUFTI, I., AMAGI, I., CARNEIRO, R., CHUNG, F., GEREMEK, B., & NANZHAO, Z. **Learning: the inner treasure.** Report to UNESCO of the International Commission on Education for the 21st Century (highlights), 1996.

DIAMOND, M. C., KRECH, D.; ROSENZWEIG, M. R. The Effects Of An Enriched Environment On The Histology Of The Rat Cerebral Cortex. **The Journal of comparative neurology**, vol. 123, pp. 111–120, 1964.

DJEBBARA, Z. *et al.*Sensorimotor brain dynamics reflect architectural affordances. **Proc. Natl. Acad. Sci.** U.S.A., vol. 116, n. 29, pp. 14769-14778, 2019.

DOIDGE, N. The brain's way of healing : remarkable discoveries and recoveries from the frontiers of neuroplasticity. Brunswick, Victoria: Scribe, 2017.

DORANTES-BARRIOS, C. J.; DOMÍNGUEZ-SALAZAR, E.; GONZALEZ-FLORES, O.; CORTÉS-BARBERENA, E.; HURTADO-ALVARADO, G. Behavioral consequences of postnatal undernutrition and enriched environment during later life. **Physiology & Behavior**, v. 241, p. 113566, nov. 2021.

ELBAIUOMY, E.; HEGAZY, I.; SHETA, S. The impact of architectural spaces' geometric forms and construction materials on the users' brainwaves and consciousness status. **Inter. Jour. of Low-Carbon Technologies**, v. 14, n. 3, p. 326–334, 18 dez. 2017.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Indoor air quality and human health.** EPA/402/K-03/006. Washington: DC, 2023. Disponível em: <https://encr.pw/xelbO>. Acesso em: 24 nov. 2023.

FINDSEN, B.; FORMOSA, M. **Lifelong Learning in later life:** a handbook on older adult learning. Rotterdam: Sense Publishers, 2011.

GIBSON, E. J. Perceiving the affordances : a portrait of two psychologists. London ; New York: Routledge, **Taylor & Francis Group**, 2017.

GOULD, E.; GROSS, C.G. Neurogenesis in adult mammals: some progress and problems. **J. Neurosci.** vol.22, pp.619-623, 2002.

HAN, Y *et al.* The role of enriched environment in neural development and repair. **Front. Cell. Neurosci.**, 2022.

HEBB, D.O.The Effects of Early Experience on Problem-Solving at Maturity. **American Psychologist**, vol. 2, pp. 737-745, 1947.

IBGE . **PNAD Contínua Painel:** tema Educação 2022. [São Paulo]: IBGE, 2022.

IZQUIERDO, I. **Memória** - 3.ed. [s.l.] Artmed Editora, 2018.

JIA, J.; ZHAO, T.; LIU, Z.; LIANG, Y.; LI, F.;LI, Y.;LIU, W.; LI, F.;SHI, S.; ZHOU, C.; YANG, H.; LIAO, Z.; LI, Y.; ZHAO, H.; ZHANG, J.; ZHANG, K.; KAN, M.; YANG, S.; LI, H.; LIU, Z. Association between healthy lifestyle and memory decline in older adults: 10 year, population based, prospective cohort study. **BMJ**, v. 380, jan. 2023.

JOUSHI, S.; ESMAEILPOUR, K.; MASOUMI-ARDAKANI, Y.; ESMAEILI-MAHANI, S.; SHEIBANI, V. Effects of short environmental enrichment on early-life adversity induced cognitive alterations in adolescent rats. **Journal of Neuroscience Research**, v. 99, n. 12, p. 3373–3391, 22 out. 2021.

KANDEL, E. R. **Principles of neural science.** 5th. ed. New York. Toronto: Mcgraw-Hill Medical, 2012.

KAPLAN, S. The Restorative Benefits of Nature: Toward an Integrative Framework. **J. Environ. Psychol.** vol 15, pp.169–182, 1995.

KELLERT, S.R.; WILSON, E.O. **The Biophilia Hypothesis.** Island Press; Washington, DC, USA: 1995.

KELLERT, S.R. **Nature By *Design*:** the practice of biophilic design. Yale University Press, 2018.

KELLY, M. E.; DUFF, H.; KELLY, S.; MCHUGH POWER, J. E.; BRENNAN, S.; LAWLOR, B. A.; LOUGHREY, D. G. The Impact of Social Activities, Social Networks, Social Support and Social Relationships on the Cognitive Functioning of Healthy Older Adults: A Systematic Review. **Syst. Rev.**, vol. 6, p.259, 2017.

KLIMECKI, O. M.; LIEBSCHER, M.; GAUBERT, M.; HAYEK, D.; ZARUCHA, A.; DYRBA, M.; BARTELS, C.; BUERGER, K.; BUTRYN, M.; DECHENT, P.; DOBISCH, L.; EWERS, M.; FLIESSBACH, K.; FREIESLEBEN, S. D.; GLANZ, W.; HETZER, S.; JANOWITZ, D.; KILIMANN, I.; KLEINEIDAM, L.; LASKE, C.; DELCODE, study group. Long-term environmental enrichment is associated with better fornix microstructure in older adults. **Front. in Aging Neuroscience**, v. 15, ago. 2023.

KOLARIK, BS; STARK, SM; STARK, CEL. Enriching Hippocampal Memory Function in Older Adults Through Real-World Exploration. **Front. Aging Neurosci.** vol.12, p. 158, 2020.

KRUIZE, H.; VAN KAMP, I.; VAN DEN BERG, M.; VAN KEMPEN, E.; WENDEL-VOS, W.; RUIJSBROEK, A.; SWART, W.; MAAS, J.; GIDLOW, C.; SMITH, G.; ELLIS, N.; HURST, G.; MASTERSON, D.; TRIGUERO-MAS, M.; CIRACH, M; GRAŽULEVIČIENĖ, R.; VAN DEN HAZEL, P.; NIEUWENHUIJSEN, M. Exploring Mechanisms Underlying the Relationship between the Natural Outdoor Environment and Health and Well-Being–Results from the PHENOTYPE Project. **Environ. Int.**, 2019.

LENT, R. **Cem bilhoes de neurônios :** conceitos fundamentais de neurociência. São Paulo (Sp): Atheneu, 2010.

LIVINGSTON, G.; HUNTLEY, J.; SOMMERLAD, A.; AMES, D.; BALLARD, C., BANERJEE, S.; BRAYNE, C.; BURNS, A. ; COHEN-MANSFIELD, J.; COOPER, C., COSTAFREDA, S. G.; DIAS, A., FOX, N.; GITLIN, L. N.; HOWARD, R.; KALES, H. C.; KIVIMÄKI, M.; LARSON, E. B.; OGUNNIYI, A.; ORGETA, V. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. **The Lancet.** v. 396, n. 10248, p. 413-46. 8 ago. 2020.

LLINARES, C. *et al.* Cold and warm coloured classrooms. Effects on students' attention and memory measured through psychological and neurophysiological responses. **Build. Environ.**, vol. 196, 2021.

MAGUIRE, E. A., WOOLLETT, K.; SPIERS, H. J. London taxi drivers and bus drivers: A structural MRI and neuropsychological analysis. **Hippocampus**, vol. 16, n. 12, pp. 1091-1101, 2006.

MANDOLESI, L.; GELFO, F.; SERRA, L.; MONTUORI, S.; POLVERINO, A.; CURCIO, G.; SORRENTINO, G. Environmental Factors Promoting Neural Plasticity: Insights from Animal and Human Studies. **Neural plasticity**, 2017.

MCEWEN, B. S.; SAPOLSKY, R. M. Stress and cognitive function. **Current Opinion in Neurobiology**, v. 5, n. 2, p. 205–216, abr. 1995.

MIN; LEE. Does interior color contrast enhance spatial memory? **Color Res. Appl.**, vol. 45, n. 2, pp. 352-361, 2020.

NICASTRI, C. M.; MCFEELEY, B. M.; SIMON, S. S.; LEDREUX, A.; HÅKANSSON, K.; GRANHOLM, A. C.; MOHAMMED, A. H.; DAFFNER, K. R. BDNF mediates improvement in cognitive performance after computerized cognitive training in healthy older adults. **Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions**, v. 8, n. 1, jan. 2022.

NIEUWENHUIJSEN, M.J.; KHREIS, H.; TRIGUERO-MAS M; GASCON, M.; DADVAND, P. Fifty Shades of Green: Pathway to Healthy Urban Living. **Epidemiology**, vol. 28, pp.63-71, 2017.

NORMANN, M. C.; MCNEAL, N.; DAGNER, A.; IHM, E.; WOODBURY, M.; GRIPPO, A. J.The Influence of Environmental Enrichment on Cardiovascular and Behavioral Responses to Social Stress. **Psychosomatic Medicine**, v. 80, n. 3, p. 271–277, abr. 2018.

OPAS - ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Comprehensive mental health action plan 2013-2030.** Escritório Regional para as Américas da Organização Mundial da Saúde, Organização Mundial da Saúde (OMS), 2022. Disponível em: <https://l1nq.com/F561u>. Acesso em: 24 nov. 2023.

PENG, J.; WU, J. Effects of the FNDC5/Irisin on Elderly Dementia and Cognitive Impairment. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 14, 31 mar. 2022.

QUALTER, P.; BROWN , S. L.; MUUN, P.; ROTENBERG, K.J. Childhood loneliness as a predictor of adolescent depressive symptoms: an 8-year longitudinal study. **European Child & Adolescent Psychiatry**, v. 19, n. 6, p. 493–501, 24 set. 2010.

RIVERA, D. S.; LINDSAY, C. B.; OLIVA, C. A.; CODOCEDO, J. F.; BOZINOVIC, F.; INESTROSA, N. C. Effects of long-lasting social isolation and re-socialization on cognitive performance and brain activity: a longitudinal study in Octodon degus. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 18315, 27 out. 2020.

RODY, T.; DE AMORIM, J. A.; DE FELICE, F. G. The emerging neuroprotective roles of exerkines in Alzheimer's disease. **Front. in Aging Neuroscience**, v. 14, ago. 2022.

ROSARIO, M.A., AYOUB, A., ALOTAIBI, R., CLARK, U.S. AND SCHON, K. Perceived control attenuates the relationship between experiences of discrimination and left amygdala volume in older adults. **Alzheimer's & Dementia**, v. 16, n. S5, dez. 2020.

ROSENZWEIG, M. R.; KRECH, D.; BENNETT, E. L.; DIAMOND, M. C. Effects of environmental complexity and training on brain chemistry and anatomy. **Journal of comparative and physiological psychology**, vol. 55, pp. 429–437, 1962.

SCHOENTGEN, B.; GAGLIARDI, G.; DÉFONTAINES, B. Environmental and Cognitive Enrichment in Childhood as Protective Factors in the Adult and Aging Brain. **Frontiers in Psychology**, v. 11, 2020.

SIHVONEN, A. J.; SOINILA, S.; SÄRKÄMÖ, T. Post-stroke enriched auditory environment induces structural connectome plasticity: secondary analysis. **Brain Imaging and Behavior**, v. 16, n. 4, p. 1813–1822, 2022.

SOLÉ-PADULLÉS, C.; MACIÀ, D.; ANDERSSON, M.; STIERNSTEDT, M.; PUDAS, S.; DÜZEL, S.; ZSOLDOS, E.; EBMEIER, K. P.; BINNEWIES, J.; DREVON, C. A.; BRANDMAIER, A. M.; MOWINCKEL, A. M.; FJELL, A. M.; MADSEN, K. S.; BAARÉ, W. F. C.; LINDENBERGER, U.; NYBERG, L.; WALHOVD, K. B.; BARTRÉS-FAZ, D. No Association Between Loneliness, Episodic Memory and Hippocampal Volume Change in Young and Healthy Older Adults. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 14, 23 fev. 2022.

SUEMOTO, C. K.; MUKADAM, N.; BRUCKI, S. M. D.; CARAMELLI, P.; NITRINI, R.; LAKS, J.; LIVINGSTON, G.; FERRI, C. P. Risk factors for dementia in Brazil: differences by region and race. **Alzheimer's & dementia : the journal of the Alzheimer's Association**, vol.19, n. 5, pp.1849-1857, 2023.

TIMBÓ, E.; FURLANI, M.; LANDIM, A.; SABOIA, R.; AMARAL, G.; MARTINEZ, J. "Parque Rachel de Queiroz". **MDC: Mínimo Denominador Comum**, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://encr.pw/zvcyi>. Acesso em: 25 jan. 2025.

ULRICH, R. S. BOGREN, L.; GARDINER, S. K.; LUNDIN, S. Psychiatric ward design can reduce aggressive behavior. **Journal of Environmental Psychology**, v. 57, p. 53–66, jun. 2018.

ULRICH, R.S. View through a Window May Influence Recovery from Surgery. **Science**, vol.224, pp.420-421, 1984.

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Nota**

Técnica Lifelong Learning - Aprendizagem ao Longo da Vida. Instituto UNESCO para a Aprendizagem ao Longo da Vida. Disponível em: <https://l1nq.com/QTD1J>. Acesso em: 24 nov. 2023.

VAN PRAAG, H. Exercise and the brain: something to chew on. **Trends in Neurosciences**, v. 32, n. 5, p. 283–290, maio 2009.

VAN PRAAG, H.; SHUBERT, T.; ZHAO, C.; GAGE, F. H. Exercise Enhances Learning and Hippocampal Neurogenesis in Aged Mice. **Journal of Neuroscience**, v. 25, n. 38, p. 8680–8685, 21 set. 2005.

VARTANIAN, O.; NAVARRETE, G.; CHATTERJEE, A.; FICH, L. B.; GONZALEZ-MORA, J. L.; LEDER, H., MODROÑO, C.; NADAL, M.; ROSTRUP, N.; SKOV, M. Architectural *design* and the brain: effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions. **J. Environ. Psychol.**, vol. 41, pp. 10-18, 2015.

VECCHIATO, G.; JELIC, A.; TIERI, G.; MAGLIONE, A. G.; DE MATTEIS, F.; BABILONI, F. Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments. **Cognit. Process.**, vol. 16, pp. 425-429, 2015.

VIVE, S.; DE GEIJERSTAM, J.; KUHN, G.; KALL, L.B. Enriched, Task-Specific Therapy in the Chronic Phase After Stroke: An Exploratory Study. **Journal of Neurologic Physical Therapy**, v. 44, n. 2, p. 145–155, abr. 2020.

WARBURTON, D.E.R; BREDIN S.S.D. Health Benefits of Physical Activity: A Systematic Review of Current Systematic Reviews. **Curr. Opin. Cardiol.**, vol. 32, pp. 541-556, 2017.

WEISS, J. T.; DONLEA, J. M. Roles for Sleep in Neural and Behavioral Plasticity: Reviewing Variation in the Consequences of Sleep Loss. **Frontiers in behavioral neuroscience**, 2022.

YU, S.; WEI, M. The Influences of Community-Enriched Environment on the Cognitive Trajectories of Elderly People. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 16, p. 8866, 23 ago. 2021.

YUAN, M.; GUO, Y. S.; HAN, Y.; GAO, Z. K.; SHEN, X. Y.; BI, X. Effectiveness and mechanisms of enriched environment in post-stroke cognitive impairment. **Behavioural Brain Research**, v. 410, p. 113357, jul. 2021.