

Adriano Dias Ávila, Rachel Zuanon, Barbara Alves Cardoso De Faria, Lucas Figueiredo Baisch *

Avaliação dos Algoritmos Evolutivos para projetos hospitalares humanizados e homeodinâmicos

* **Adriano Dias Ávila** atua como pesquisador de mestrado na Universidade Estadual de Campinas, onde se especializou na aplicação de algoritmos evolutivos para aprimorar ambientes hospitalares humanizados e homeodinâmicos, melhorando ambientes de saúde por meio de soluções de design inovadoras. Membro da Rede Internacional de Cooperação Transdisciplinar em Pesquisa, Inovação e Extensão DAS-Mind – UNICAMP. Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Mato Grosso em 2015, e com formação profissional em escritórios de projetos de arquitetura por meio de algoritmos. Os interesses de pesquisa de Ávila abrangem design generativo, design paramétrico e inteligência artificial. <a216087@dac.unicamp.br>
ORCID 0000-0002-5499-3365

Rachel Zuanon é bolsista Produtividade em Pesquisa 2, CNPq. Coordenadora da Rede Internacional de Cooperação Transdisciplinar em Pesquisa, Inova-

Resumo As configurações arquitetônicas dos ambientes de cuidados à saúde, incluindo a articulação com espaços externos, elementos naturais e as variáveis ambientais, impactam diretamente a homeostase biológica de equipes de enfermagem. Além de critérios construtivos, as preferências pessoais de ocupantes de ambientes internos têm sido cada vez mais atendidas pela utilização dos algoritmos evolutivos de otimização multiobjetivo. Por meio da revisão sistemática da literatura, intencionou-se adquirir o estado da arte acerca da utilização dessa tecnologia para a melhoria de espaços hospitalares, considerando sobretudo as preferências arquitetônicas de enfermeiros. Para tanto, este trabalho se baseou nas cooperações transdisciplinares propostas pelo conceito de Ambientes e Produtos Homeodinâmicos, que visam restaurar e manter a saúde dos usuários. Por meio dos resultados – onze trabalhos que buscaram otimizar fachadas e plantas-baixas hospitalares – a integração das preferências de enfermeiros ao projeto de ambientes hospitalares foi identificada como uma significativa lacuna de pesquisa. Em conjunto aos algoritmos evolutivos, tais variáveis de projeto representam um significativo avanço na criação de ambientes hospitalares humanizados e homeodinâmicos.

Palavras-chave Arquitetura hospitalar humanizada e homeodinâmica, Design generativo, Algoritmos Evolutivos, Otimização multiobjetivo, Profissionais da saúde.

ção e Extensão DASMind – UNICAMP. Docente no Curso de Artes Visuais e professora/pesquisadora nas áreas de Processo Criativo em Composição Artística e de Arte e Tecnologia, do IA-UNICAMP. Professora e pesquisadora do PPG Artes Visuais (IA-UNICAMP) e do PPG Arquitetura Tecnologia e Cidade (FECFAU-UNICAMP). Desde 1998, dedica suas pesquisas e projetos à cooperação Neurociências e Processos Criativos e Projetuais em Design, Arte e Arquitetura para aplicações em Saúde e Educação. Contemplada com importantes prêmios nacionais e internacionais, suas pesquisas, projetos e obras de arte constam publicados em periódicos e livros qualificados no Brasil e exterior, e apresentados/exibidos em diversos países.

rzuanon@unicamp.br

ORCID 0000-0002-7917-9917

Barbara Alves Cardoso de Faria é Arquiteta e Urbanista pelo Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio. Mestre em Design pela Universidade Anhembi Morumbi, com a dissertação “Arquitetura e Neurociência - O projeto paisagístico como auxílio ao tratamento não farmacológico da doença de Alzheimer”. Doutoranda do PPG Arquitetura Tecnologia e Cidade (FECFAU-UNICAMP). Membro da Rede Internacional de Cooperação Transdisciplinar em Pesquisa, Inovação e Extensão DASMind – UNICAMP. Seus interesses centram-se nas áreas de pesquisas transdisciplinares que estabelecem conexões entre as neurociências cognitivas e comportamentais e as práticas de projetos arquitetônicos. É professora na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, e curso Técnico de Design de Interiores da Universidade Anhembi Morumbi.

b263550@dac.unicamp.br

ORCID 0000-0003-3205-4241

Evaluation of Evolutionary Algorithms for humanized and homeodynamic hospital projects

Abstract *The architectural configurations of healthcare environments, including articulation with external spaces, natural elements and environmental variables, directly impact the biological homeostasis of nursing teams. In addition to construction criteria, the personal preferences of indoor occupants have been increasingly met by the use of evolutionary multi-objective optimization algorithms. Through a literature systematic review, the intention was to reach the state of the art regarding the use of this technology to improve hospital spaces, especially considering the architectural preferences of nurses. To this end, this work was based on the transdisciplinary cooperation proposed by the Homeodynamic Environments and Products concept, which aim to restore and maintain the users' health. The results obtained cover eleven works that sought to optimize hospital facades and floor plans. From this results it was possible to identify the integration of nurses' preferences in architectural design of hospital environments as a significant research gap. Together with evolutionary algorithms, these design variables represent a significant advance in the creation of homeodynamic and humanized hospital environments.*

Keywords Homeodynamic and humanized hospital architecture, Generative design, Evolutionary Algorithms, Multi-objective optimization, Healthcare professionals.

Evaluación de Algoritmos Evolutivos para proyectos hospitalarios humanizados y homeodinámicos

Resumen *Las configuraciones arquitectónicas de los entornos sanitarios, incluida la articulación con espacios externos, elementos naturales y variables ambientales, impactan directamente en la homeostasis biológica de los equipos de enfermería. Además de los criterios de construcción, las preferencias personales de los ocupantes de interiores se satisfacen cada vez más mediante el uso de algoritmos evolutivos de optimización multiobjetivo. A través de una revisión sistemática de la literatura, se pretendió adquirir el estado del arte sobre el uso de esta tecnología para mejorar los espacios hospitalarios, especialmente considerando las preferencias arquitectónicas de los enfermeros. Este trabajo se basó en la cooperación transdisciplinaria propuesta por el concepto de Ambientes y Productos Homeodinámicos, que tienen como objetivo restaurar y mantener la salud de los usuarios. Mediante los resultados – once trabajos que buscaban optimizar las fachadas y los planos de los hospitales – se identificó la integración de las preferencias de las enfermeras en el diseño de entornos hospitalarios como un importante vacío de investigación. Con algoritmos evolutivos, estas variables de diseño representan un avance significativo en la creación de entornos hospitalarios humanizados y homeodinámicos.*

Palabras clave Arquitectura hospitalaria humanizada y homeodinámica, Diseño generativo, Algoritmos evolutivos, Optimización multiobjetivo, Profesionales sanitarios.

Lucas Figueiredo Baisch atua como pesquisador em nível de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU UNICAMP). Membro da Rede Internacional de Cooperação Transdisciplinar em Pesquisa, Inovação e Extensão DASMind –UNICAMP. Graduado em Arquitetura e Urbanismo e mestre em Patrimônio Cultural pelo Programa de Pós-Graduação em Patrimônio Cultural e pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Suas pesquisas buscam correlacionar parâmetros físicos do ambiente construído e parâmetros neuropsicofisiológicos do organismo humano. Além disso, possui interesse por prototipagem eletrônica, Building Information Modeling e inteligência artificial.

<l234650@dac.unicamp.br>

ORCID 0000-0002-9141-6022

Introdução

Projetar edifícios hospitalares é uma tarefa desafiadora no cumprimento de normas rigorosas que garantem fatores como segurança, flexibilidade, acessibilidade, controle de infecções e integração de tecnologia. Os projetos precisam considerar as complexas interações entre pacientes, acompanhantes e profissionais de saúde, cujo bem-estar é influenciado por cores, mobiliários, iluminação, temperatura, ventilação, ruídos, privacidade e outros fatores do design hospitalar. Uma inadequada organização pode significar o impacto negativo na saúde dos seus ocupantes e a causa de uma variedade de sintomas incluindo problemas nas mucosas, dores de cabeça, fadiga, distúrbios gastrointestinais, e estresse (Ulrich *et al.*, 2008).

“Ambientes e Produtos Homeodinâmicos” (APH) têm o potencial de restaurar e manter a saúde e o bem-estar físico, mental e espiritual de seus usuários, complementando os tratamentos farmacológicos, estando assim, intimamente ligado ao caráter ético e acolhedor da humanização dos espaços, que visa atender às necessidades biológicas, psicológicas e sociais das pessoas que os utilizam. Neste sentido, ao considerar os fatores socioculturais, biológicos e experiências passadas dos usuários, bem como os seus modos de perceber, experimentar e vivenciar o ambiente os APH englobam o conceito de “ambiência”. Além disso, os APH são caracterizados pela cooperação transdisciplinar entre os campos de conhecimento da Arquitetura, Artes, Design, Neurociências e Psicologia Ambiental (Zuanon; Ferreira; Monteiro, 2020).

O termo “homeodinâmico”¹ deriva do conceito de homeostase biológica, que se refere ao equilíbrio dinâmico mantido pelos organismos vivos para prosperarem em seus ambientes. Este equilíbrio vai além das variáveis físicas e incluem os estados emocionais e os sentimentos, considerados essenciais para tomadas de decisões complexas. Portanto, a homeostase biológica envolve a interação adaptativa do organismo com o ambiente externo, integrando funções corporais e mentais de forma indissociável (Damásio, 2004). Em contextos hospitalares, espaços homeodinâmicos têm o potencial de não somente corroborar a recuperação de pacientes, como também de favorecer o bem-estar e a saúde dos seus acompanhantes e dos profissionais de saúde, que frequentemente enfrentam eventos estressores durante suas jornadas de trabalho (Zuanon; Ferreira; Monteiro, 2020; Ulrich *et al.*, 2008).

Pesquisas (Nejati *et al.*, 2016; Carmel-Gilfilen; Portillo, 2016) destacaram que considerar as necessidades e preferências particulares de usuários podem suscitar sentimentos positivos, e contribuir com a promoção da saúde geral. Dentre os desejos pessoais, podem ser considerados também aqueles relacionados às configurações de salas de repouso médico, e ao acesso a elementos naturais, dentro ou fora do ambiente construído.

Para aprimorar o planejamento de ambientes hospitalares humanizados e homeodinâmicos, a utilização de algoritmos evolutivos (AE) em conjunto com sistemas generativos de soluções projetuais, embora escassa,

tem se mostrado promissora. A crescente popularidade desses algoritmos na arquitetura se deve à sua capacidade de encontrar soluções inovadoras que atendem a múltiplos critérios da construção civil, mesmo quando esses critérios são conflitantes entre si (Martino; Celani, 2014).

Diante do exposto, este trabalho busca investigar como os AE podem ser aplicados para otimizar os parâmetros projetuais de ambientes internos em edifícios de saúde, levando em consideração critérios subjetivos de equipes de enfermagem na criação de ambientes humanizados e homeodinâmicos, que contribuem para a regulação metabólica, mental e ecossistêmica destes profissionais.

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada para investigar o uso de algoritmos evolutivos em sistemas generativos aplicados a ambientes de cuidados à saúde, com vistas a promover a restauração e a manutenção homeodinâmica de enfermeiros e, assim, identificar publicações aderentes a este objetivo e respectivo público-alvo, bem como as potenciais lacunas. Para tanto, inicialmente, o Portal de Periódicos da Capes foi consultado e retornou 1.258 documentos relacionados ao tema “algoritmos evolutivos” e “hospitais”, os quais constam disponíveis nas seguintes bases: Web of Science, PubMed, Springer Online Journals, Scopus, ScienceDirect e IEEE. Em momento posterior, estas bases foram consultadas individualmente para ampliação desta busca, como especificado abaixo.

A seguinte composição foi utilizada como *string* de busca: (“Healthcare” OR “Hospital” OR “Nurse” OR “Infirmery” OR “Clinic” OR “Medical Facility”) AND (“Evolutionary Algorithm” OR “Genetic Algorithm” OR “Multiobjective Optimization” OR “Generative Design”), retornando 7.218 trabalhos como detalhado no quadro 1.

Quadro 1. Resultados obtidos nas bases de dados.

Fonte: Própria autoria, 2023.

| Base de Dados | Resultados |
|----------------|------------|
| IEEE | 543 |
| Pubmed | 673 |
| ScienceDirect | 293 |
| Scopus | 2534 |
| Springer | 1793 |
| Web of Science | 1382 |
| Soma | 7218 |

Critérios de seleção consideraram apenas obras publicadas entre 2017 e 2023 que tratavam da utilização de algoritmos evolutivos para otimizar ambientes hospitalares, especificamente com técnicas generativas de design. Ao fim deste processo, 11 trabalhos foram selecionados, por meio da análise de seus títulos e resumos para verificar alinhamento com os objetivos supramencionados.

Homeostase e ambientes de saúde homeodinâmicos

A homeostase biológica refere-se ao processo pelo qual os organismos vivos mantêm um estado de equilíbrio interno apesar das mudanças ambientais externas, sendo fundamental, portanto, para a sobrevivência. Com este princípio, o corpo humano regula constantemente sua temperatura, nível de pH, secreção de hormônios e fluidos para manter condições ideais de funcionamento, por meio de respostas aos estímulos que possam perturbar este equilíbrio (Damásio, 2004). Respostas ao estresse, em sua forma inicial, servem como mecanismos de proteção para o organismo que, ao ser confrontado com ameaças ou desafios imediatos, libera hormônios (como o cortisol), os quais aumentam temporariamente o estado de alerta físico e mental, os níveis de energia e a capacidade do corpo de recuperar seu equilíbrio homeostático (Poisson, 2015; Chaturvedi et al., 2018; Wingenfeld et al., 2010). Contudo, a exposição prolongada aos hormônios do estresse perturba os sistemas corporais, e desencadeia efeitos adversos, tais como: resposta imunológica enfraquecida, hipertensão, fadiga e problemas de saúde mental como ansiedade, depressão e burnout (Bears; Connors; Paradiso, 2015; Khamisa et al., 2015).

Nota-se assim, a intrínseca interconexão entre emoção e razão na regulação homeostática e na tomada de decisões. As emoções fornecem informações importantes, e o cérebro as utiliza para avaliar situações e orientar comportamentos racionais. Damásio emprega a analogia de uma árvore para classificar desde as respostas mais básicas dos organismos até as emoções, estas últimas divididas entre: emoções de fundo, como o bem estar/mal estar, que são sutis e, portanto, de difícil diagnóstico; emoções primárias (ou básicas), como o medo e a alegria, que se colocam mais acessíveis ao reconhecimento, pois normalmente se materializam em expressões faciais e nos movimentos corporais; e emoções sociais, que são mais complexas, como a vergonha e o ciúme, e estão intimamente relacionadas a fatores socioculturais, além de englobarem a combinação entre emoções primárias e numerosas reações regulatórias (Damásio, 2004). Esse esquema mostra como as emoções básicas evoluem para formas mais complexas, e influenciam a manutenção da homeostase e inclusive a tomada de decisões (Damásio, 2005; Picard, 1997).

Figura 1. Categorias de emoção.

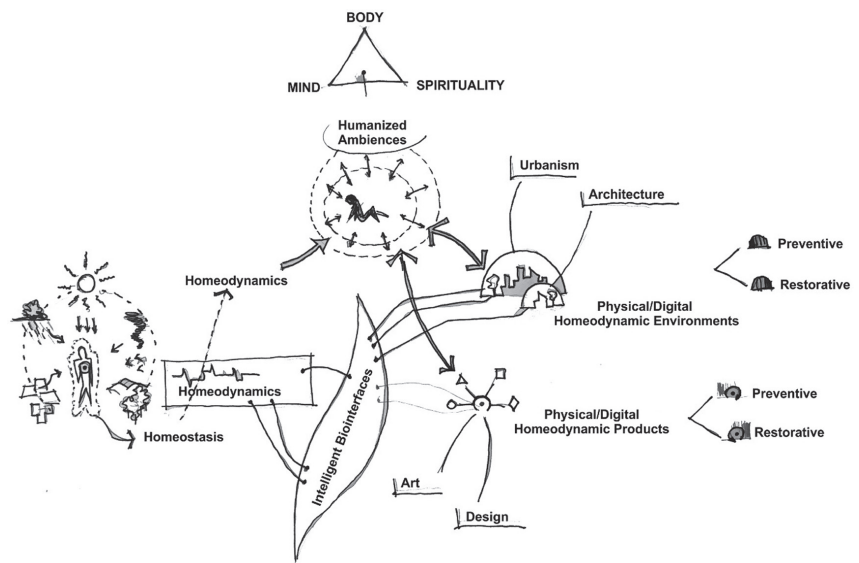
Fonte: Adaptado de Damásio, 2004.



Ao expandir esses conceitos para o domínio da arquitetura e do design, é evidenciada a proposta dos Ambientes e Produtos Homeodinâmicos, caracterizado como soluções projetuais concebidas com o objetivo de manter e restaurar a homeostase humana, não apenas a nível biológico, mas também considerando o bem-estar psicológico e emocional. Seus idealizadores preconizam tais ambientes e produtos homeodinâmicos como sendo de natureza dinâmica e adaptativa e que, assim, respondem continuamente às necessidades e estados metabólicos e mentais de seus ocupantes, o que contrasta com a visão tradicional de um ponto único e estático de equilíbrio e com a perspectiva de um design fixo, imutável. Os APH incorporam tecnologias computacionais ao design para criar ambiências que contribuem ativamente para o bem-estar dos seus ocupantes, ao reconhecer e adaptar-se às mudanças identificadas nos seus estados físicos e emocionais (Zuanon; Ferreira; Monteiro, 2020).

Figura 2. Diagrama do conceito de “ambientes e produtos homeodinâmicos”.

Fonte: Zuanon, Ferreira e Monteiro, 2004.



A humanização dos ambientes de saúde, como é destacada por políticas nacionais, possui uma visão abrangente que ultrapassa os aspectos físicos das instalações (Leitner; Pina, 2020). Esta dimensão é fortemente considerada nos ambientes homeodinâmicos, e não apenas melhora a funcionalidade dos espaços - sejam estes físicos ou virtuais - mas também os transforma em locais de conforto e empatia, respeitando diferenças culturais e estilos de vida entre pacientes, acompanhantes/visitantes e profissionais da área da saúde (Zuanon; Ferreira; Monteiro, 2020). Ambientes hospitalares humanizados e homeodinâmicos, portanto, assumem uma significativa importância, particularmente na rotina dos profissionais da enfermagem, que frequentemente enfrentam níveis elevados de stress por longas horas de trabalho sob tensões emocionais decorrentes do atendimento aos pacientes e das exigências físico-psicológicas do seu trabalho. Nesse sentido, a concepção de instalações de saúde baseadas nos princípios supracitados pode promover a restauração e a manutenção do bem-estar dos enfermeiros, o que se reflete em satisfação no trabalho e atendimento de qualidade ao paciente.

Algoritmos no processo projetual de arquitetura

Algoritmos são conjuntos de instruções computacionais bem definidas para resolução de problemas ou execução de tarefas em um número finito de etapas claras e inequívocas para produzir resultados desejados (Martino; Celani, 2014 apud Terzidis, 2004). Em outras palavras, é essencialmente uma receita detalhada que descreve a sequência exata de ações necessárias para atingir um objetivo específico. Há ainda o campo dos algoritmos evolutivos. Este parte de uma categoria de modelo computacional que se baseia na seleção natural e demais processos de evolução das espécies e, assim, utiliza operações genéticas para obter soluções aos mais diversos problemas (Gabriel; Delbem, 2008).

Normalmente, o funcionamento destes algoritmos se inicia com a geração de um grupo diversificado de soluções, conhecidas como “indivíduos”, e que formam uma “população”. Cada indivíduo representa uma solução potencial, avaliada com base em quão bem resolve o problema em questão por meio de uma função objetivo. Os indivíduos mais aptos são então selecionados como “pais” para criar a próxima geração de soluções. Isso é feito por meio de processos como cruzamento, em que as características de soluções parentais são combinadas; e mutação, que introduz variações aleatórias para manter a diversidade na população. O algoritmo refina iterativamente a população, substituindo soluções menos adequadas por outras melhores, evoluindo-as continuamente em direção a soluções ótimas. Este processo repete-se até que uma solução satisfatória é encontrada, ou quando um número predefinido de gerações é alcançado (Luke, 2015; Martino, 2015; Katoch; Chauhan; Kumar, 2021).

Figura 3. Estrutura básica de um algoritmo evolutivo.

Fonte: Adaptado de Martino, 2015.



É relativamente nova a prática de design algorítmico por arquitetos e outros projetistas da construção civil, isto é, projetar edifícios com o auxílio de processos computacionais caracterizados por uma série de instruções claras, que consistem em intenções projetuais codificadas para resoluções de problemas, ao passo que geram espaços e formas. Uma das aplicações mais proeminentes de algoritmos neste sentido é o design paramétrico, em que algoritmos são usados para manipular diferentes elementos de design, e com a alteração de um único parâmetro construtivo ou mais pode-se ajustar e regenerar automaticamente todo o projeto (Martino; Celani, 2014).

Diversos projetistas frequentemente enfrentam uma variedade de aspectos construtivos e ambientais conflitantes que precisam ser otimizados simultaneamente, apresentando um desafio significativo no processo de design. Os métodos de projeção tradicionais não costumam abordar de forma abrangente e eficiente requisitos concorrentes. Em contrapartida, os algoritmos evolutivos oferecem uma alternativa eficiente ao permitirem a geração e avaliação automáticas de uma infinidade de soluções de design, cada uma representando um equilíbrio diferente dos parâmetros que se objetiva otimizar. Assim, arquitetos e demais projetistas podem explorar soluções de design inovadoras com base em critérios e restrições predefinidos, que não se colocam aparentes nos métodos convencionais, e com isso obter alternativas projetuais de modo mais eficiente, criativo e imediato (Martino, 2015; Martino; Celani, 2014).

Algoritmos evolutivos para design de instalações de saúde

Os edifícios hospitalares representam uma das mais complexas tipologias arquitetônicas, devido a interação entre necessidades médicas, tecnológicas e humanas, com múltiplos parâmetros que devem ser otimizados simultaneamente, atendendo rigorosos padrões de segurança, higiene e acessibilidade. Por exemplo, o controle de infecções é um aspecto indispensável que influencia a escolha dos materiais construtivos e o projeto dos sistemas de ventilação. As instalações de cuidados à saúde também são concebidas tendo em vista a otimização de fluxos e navegabilidade,

além da acessibilidade, garantindo que os pacientes e visitantes possam se orientar facilmente, ao mesmo tempo em que os profissionais se deslocam com agilidade para o atendimento rápido e eficaz. Outra dimensão comumente incorporada atualmente é a sustentabilidade, cujos objetivos incluem a eficiência energética da edificação, conservação de recursos e a criação de espaços com acesso a elementos naturais (Halawa *et al.*, 2020; McGain; Naylor, 2014).

Além disso, a correta aplicação dos elementos estéticos e sensoriais nos espaços de saúde é fundamental na promoção da humanização. Estes elementos, que incluem aspectos como iluminação, cores, texturas e sons, são considerados não apenas por sua funcionalidade, mas também pelo seu impacto no bem-estar físico e psicológico dos usuários. Como preconizado pelo conceito de Ambientes e Produtos Homeodinâmicos, um design empático e centrado no usuário é essencial para criar ambientes de saúde que propiciem experiências humanizadas, promovam a cura física e o conforto emocional e, conseqüentemente, beneficiem pacientes, acompanhantes/visitantes e profissionais da saúde.

De maneira geral, garantir a saúde dos usuários de edifícios hospitalares é uma tarefa que exige esforços na avaliação de múltiplos critérios, como a iluminação, níveis de ruído, distâncias, privacidade, estética e preferências pessoais, visto que a entrada de cada um destes critérios eleva o nível de complexidade do projeto arquitetônico (Nanda; Pati; McCurry, 2009; Toledo, 2008). Diante de alta complexidade projetual, os algoritmos evolutivos se destacam como ferramentas eficientes no contexto hospitalar, pois, como apresentado previamente, eles são capazes de explorar uma diversidade de soluções, otimizando aspectos operacionais sem desconsiderar limitações orçamentárias. Isso, além de facilitar o processo projetual para arquitetos e outras partes interessadas no ramo da saúde, também favorece o conforto e bem-estar dos usuários dos ambientes de cuidados à saúde, sejam eles pacientes, acompanhantes/visitantes ou equipes médicas e de enfermagem. A seguir são apresentados os resultados da revisão da literatura acerca da utilização dos algoritmos evolutivos, especificamente aqueles que envolvem o design generativo, com destaque para as intervenções realizadas, técnicas e o público-alvo a que cada trabalho procurou atender. Os resultados foram categorizados em dois grandes grupos, de acordo com a área de aplicação das técnicas computacionais, sendo esses: i) a fenestração e elementos de fachada; e ii) a geração de plantas baixas e otimização de fluxos.

Fenestração e elementos de fachada

As instalações de saúde possuem características distintas que os diferenciam de outros tipos de edifícios, pois incluem um maior consumo de energia e a necessidade de luz natural, decorrente das diversas funções que desempenham com operações ininterruptas. A utilização eficiente da iluminação torna-se, portanto, fundamental nestes ambientes, não só para

a economia de energia, mas também para melhorar o bem-estar dos profissionais de saúde e dos pacientes.

Um estudo realizado por Karaman *et al.* (2017) propôs uma abordagem de design de fachada para edifícios de saúde visando minimizar custos e maximizar o desempenho de luz natural utilizando NSGA-II e jE_DEMO, algoritmos genéticos usados para resolver problemas de otimização multiobjetivo ao gerar soluções ótimas de Pareto, com potencial para aplicação em outros projetos de fachada semelhantes. Karaman *et al.* utilizou modelagem paramétrica da fachada na interface de programação visual Grasshopper do software Rhinoceros 3D. O desempenho lumínico foi avaliado medindo o fator de luz natural, por meio de simulações do software DIVA, uma ferramenta de análise ambiental para o Rhinoceros 3D. Os resultados do estudo indicaram que o NSGA-II e o jE_DEMO são adequados para otimizar projetos de fachadas. O NSGA-II se destacou com melhor desempenho em hipervolume e rapidez de convergência, enquanto o jE_DEMO ofereceu diversas alternativas de design de fachada, com menores custos de construção e melhor desempenho na iluminação natural (Karaman *et al.*, 2017).

No trabalho desenvolvido por Yufka *et al.* (2017) ambos os algoritmos jE_DEMO e NSGA-II foram considerados igualmente satisfatórios na geração de alternativas de projeto de uma claraboia em um estabelecimento de saúde, que maximiza a luz natural com mínimos custos de construção. Os algoritmos lidavam com restrições relacionadas à geometria da claraboia e escolhas de materiais.

Tendo um hospital como estudo de caso, Himmetoğlu *et al.* (2022) analisaram envoltórias “verdes” de edifícios para diferentes zonas climáticas, destacando benefícios ambientais, econômicos e sociais. O trabalho envolveu simulação energética e a otimização multiobjetivo por meio de um algoritmo genético, baseado em uma Rede Neural Artificial (RNA). Consumo de energia, emissões de CO₂ e custos de materiais foram as variáveis consideradas para criar várias alternativas de envelopamento do edifício, com o software EnergyPlus. O estudo enfatiza que a ferramenta não garante a minimização absoluta das variáveis supracitadas, mas oferece recomendações relevantes para diferentes configurações de construção. O modelo demonstrou alta precisão (com uma taxa superior a 99%), eficiência (com a entrega de soluções numa média inferior a dez segundos) e, ainda, pode ser adaptado para outros atributos e respectivos valores.

Besbas *et al.* (2022) criaram um método para projetar fachadas inteligentes em um hospital e otimizar parâmetros como a iluminação natural e o consumo energético, por meio de softwares como Grasshopper, Ladybug e Honeybee, combinados com OpenStudio, EnergyPlus, Radiance e Daysim. As soluções geradas por meio do solucionador Octopus mostraram melhorias significativas na otimização destes parâmetros, com consequente benefício à saúde dos ocupantes. O Octopus, semelhantemente ao Galapagos, é uma extensão do Grasshopper que utiliza algoritmos evolutivos para otimização multicritério (Rutten, 2013).

Geração de planta baixa e otimização de fluxos

A concepção e a disposição dos ambientes do programa de instalações de cuidados à saúde também apresentam desafios que, caso não resolvidos, impactam negativamente a eficiência da prestação dos cuidados. Ao mesmo tempo, navegar nos complexos edifícios hospitalares pode ser uma tarefa difícil para os usuários, levando à desorientação de pacientes, acompanhantes/visitantes e dos profissionais de saúde. Assim, esta tarefa leva ao aumento do stress, especialmente para os enfermeiros, que transitam constantemente nestes ambientes sob restrições de tempo, e cujo trabalho é intrinsecamente relacionado à alta demanda de funções. Portanto, a capacidade de movimentar-se rápida e eficientemente pelos espaços hospitalares é primordial, não apenas para a prestação de cuidados médicos, mas também para a própria regulação do seu nível de estresse.

O estudo de Carta *et al.* (2020) otimizou a planta de uma casa de repouso e alcançou a redução de distâncias desnecessárias, melhor eficiência energética, e o aumento da saúde e bem-estar dos residentes, utilizando algoritmos como colônia de formigas e NEAT com modelagem paramétrica no Grasshopper. Neste estudo, Carta *et al.* demonstraram que os algoritmos genéticos são promissores para criar projetos de cuidados à saúde que consideram critérios mais humanizados, bem como para ir além das práticas tradicionais de projeto.

Du, Wang e Zhang (2022) desenvolveram um método de otimização de percursos em hospitais usando um algoritmo de colônia de formigas e um algoritmo genético para reduzir congestionamentos e o tempo de atendimento. O processo envolve a modelagem da planta do edifício como uma grade bidimensional, e a geração de rotas com base na distância entre pontos de origem e destino. Os resultados indicaram que o algoritmo genético superou o algoritmo de colônia de formigas na otimização das rotas, ao gerar percursos mais curtos com melhor tráfego, comprovando a compatibilidade do modelo com o departamento ambulatorial do hospital avaliado.

Zhao *et al.* apresentaram dois fluxos de trabalho aplicando o método HSLP, do inglês - Planejamento de Layout Sistemático de Saúde - que auxilia a organização eficiente de espaços de cuidados de saúde, classificando e representando visualmente os ambientes de acordo com suas funções e relações. Neste sentido, um algoritmo genético foi utilizado para realizar ajustes automáticos na organização espacial, gerando uma população de soluções iniciais de layouts que evoluíram por meio da avaliação das distâncias percorridas. Além do algoritmo genético, a Rede Adversária Generativa (GAN) pix2pix foi empregada como um segundo método para comparação. A GAN foi utilizada para aprender a mapear plantas-baixas para soluções otimizadas, com base em 100 plantas-baixas previamente validadas. Os resultados mostraram que os métodos utilizados são mais eficientes que os tradicionais em tempo e mão de obra, mas não são ideais para layouts inovadores por não oferecem grande interação projetista-computador.

Sleiman *et al.* (2017) apresentaram um fluxo de trabalho para otimizar o consumo de energia e os custos de construção em hospitais, empregando a metodologia BIM. O método considerou fatores como acesso, segurança, conforto, equipamentos de construção, classe de higiene e perfil de usuário, com base nas etiquetas do projeto europeu Streamer, que visa melhorar a eficiência energética em distritos de saúde, e fornece uma ferramenta chamada “Early Design Configurator” (EDC) para apoiar a tomada de decisões sobre eficiência energética. Esta ferramenta opera com base em um algoritmo evolutivo para gerar soluções de projeto, validadas para atender aos requisitos do usuário e ao código de obras local. O algoritmo evolutivo otimiza desenhos de planta baixa para resultados energeticamente eficientes e econômicas ao longo de seu ciclo de vida.

ZhouZhou Su (2019) apresentou uma metodologia que utilizou o solver evolutivo Galapagos com foco na importância da adjacência espacial para os funcionários da área de saúde. O mau planejamento pode levar ao aumento de distâncias percorridas, desperdício de tempo produtivo, fadiga e estresse. A função objetivo do algoritmo genético considerou o nível de adjacência entre departamentos e a distância entre eles, lidando inclusive com deslocamentos verticais. Uma proposta projetual foi considerada eficaz ao redistribuir departamentos-chave para espaços subutilizados. Apesar de algumas simplificações gráficas e omissões de espaços-chave, o sistema algorítmico desenvolvido por Su oferece uma ferramenta poderosa para melhorar instalações hospitalares de diferentes escalas.

O uso de um algoritmo evolutivo no estudo de Halawa, Madathil e Khasawneh (2021), teve o intuito de aprimorar uma clínica ambulatorial ao maximizar a exposição à luz natural e minimizar as distâncias percorridas pelos pacientes. As restrições consideraram a área de cada espaço, orientação do edifício, dimensões e acessibilidade aos ambientes. Para análise dos níveis de iluminação, as ferramentas Ladybug e Honeybee foram empregadas. O problema de layout de instalações desiguais foi resolvido por meio de uma abordagem de algoritmo genético adaptado para posicionamento (GA-P), baseado em NSGA-II por meio do solver Platypus. Ao comparar o GA-P com outros algoritmos, como Otimização por Enxame de Partículas, o modelo proposto foi eficaz ao otimizar layouts de clínicas ambulatoriais atendendo necessidades específicas em poucas horas.

Huo, Liu e Gao (2021) abordaram o problema de layout de instalações hospitalares em um hospital de vários pavimentos, focando na minimização da distância total percorrida pelos pacientes e na maximização da proximidade entre os departamentos. O algoritmo NSGA-II foi utilizado com um operador de busca local adaptativo, baseado em um algoritmo de recozimento simulado, para encontrar soluções pareto-ótimas. O algoritmo proposto superou o NSGA-II padrão na minimização da distância de deslocamento, mas não apresentou uma melhora significativa na classificação de proximidade. O método identificou departamentos que devem ser adjacentes, contribuindo para a eficiência do layout hospitalar.

Os trabalhos identificados por meio da revisão da literatura se dedi-

caram em otimizar edifícios de saúde principalmente relacionados a critérios de fachadas e seus elementos, e a plantas baixas e organização espacial. O quadro 2 apresenta uma síntese dos trabalhos revisados, apresentando o público-alvo, objetivos e algoritmos utilizados.

Quadro 2. Utilização de algoritmos evolutivos para projetos de fachadas hospitalares.

Fonte: Própria autoria, 2023.

| Autores | Público-alvo | Algoritmo Evolutivo | Função Objetivo |
|---------------------------------|----------------------------|--|---|
| Besbas <i>et al.</i> (2022) | • Pacientes | • Octopus | iluminação natural consumo energético |
| Karaman <i>et al.</i> (2017) | • Usuários • Arquitetos | • NSGA-II • Je_DEMO | iluminação natural custos de construção |
| Himmetoğlu <i>et al.</i> (2022) | • Arquitetos | • Algoritmo Genético (adaptado pelo autor) | custos do ciclo de vida da edificação emissão de CO2 consumo energético |
| Yufka <i>et al.</i> (2017) | • Usuários | • NSGA-II • Je_DEMO | iluminação natural custos de construção |

No âmbito da otimização de fachadas e seus elementos, os objetivos das funções utilizadas nos algoritmos evolutivos se concentraram principalmente na maximização da iluminação natural, com vistas ao conforto lumínico para melhor prestação dos cuidados, e recuperação de pacientes. Outro objetivo alcançado foi a redução do consumo energético, ao analisar os níveis de radiação solar recebida diretamente na edificação para menor utilização de condicionadores de ar. Com edifícios de melhor performance energética, há a redução dos níveis de emissão de CO₂, mas são escassos os trabalhos que consideraram essa variável no objetivo.

De maneira similar, o quadro 3 sintetiza as informações referentes à aplicação dos algoritmos evolutivos para a criação de plantas baixas mais otimizadas para o funcionamento do programa hospitalar.

Quadro 3. Utilização de algoritmos evolutivos para projetos de plantas hospitalares.

Fonte: Própria autoria, 2023.

| Autores | Público-alvo | Algoritmo Evolutivo | Função Objetivo |
|---|---|---|--|
| Zhao <i>et al.</i> (2021) | • Pacientes | • Algoritmo Genético (adaptado pelo autor) | distâncias distribuição espacial |
| Sleiman <i>et al.</i> (2017) | • Stakeholders • Arquitetos • Usuários | • EDC (Streamer) | custos de construção consumo energético |
| Du, Wang e Zhang (2022) | • Pacientes | • Algoritmo Genético (adaptado pelo autor) | tráfego de pessoas |
| Carta <i>et al.</i> (2020) | • Pacientes • Designers | • NEAT | distâncias distribuição espacial acesso visual |
| ZhouZhou Su (2019) | • Stakeholders • Arquitetos • Usuários | • Galapagos | distâncias distribuição espacial |
| Halawa, Madathil e Khasawneh (2021) | • Arquitetos • Pacientes | • NSGA-II • Platypus • GA-P • GA-C | distâncias iluminação natural |
| Jiazhen Huo, Jing Liu e Hong Gao (2021) | • Pacientes • Profissionais da saúde • Arquitetos | • NSGA-I | distâncias distribuição espacial |

As funções objetivo destes trabalhos visaram principalmente minimizar distâncias dentro das instalações hospitalares. A distribuição espacial, com base em regras de adjacências e proximidades dos ambientes, também foi considerada como um importante aspecto de melhoria e automação. Este grupo de objetivos está associado à melhoria da funcionalidade dos espaços internos, segurança de pacientes, bem como dos tráfegos e navegação de usuários dos espaços de cuidados à saúde.

No geral, nota-se que, em grande parte, o público a que os métodos algorítmicos utilizados visaram atender é o grupo de pacientes, priorizando o conforto ambiental para melhoria no tratamento deste grupo. Em seguida, arquitetos e as partes interessadas do projeto das instalações de saúde formam um outro conjunto, ao qual pesquisas procuraram endereçar seus esforços para auxiliar o fluxo de trabalho. Assim, identifica-se que os profissionais da área da saúde são ocasionalmente considerados em investi-

gações que utilizam os algoritmos evolutivos no processo de projeção de ambientes hospitalares, principalmente sob a ótica do estresse que estes profissionais enfrentam.

A respeito dos algoritmos evolutivos propriamente ditos, o algoritmo de ordenação não dominada NSGA-II foi o mais recorrente entre os estudos consultados. Uma vez que scripts para modelagem paramétrica são muito frequentes para criar as restrições e visualizar os resultados de otimização, o NSGA-II também está presente em ferramentas ou “solucionadores” genéticos para estas plataformas, como é o caso do Galapagos e Octopus para a interface do Grasshopper. Esse algoritmo é utilizado em variados campos para solução de problemas diversos, indo muito além da otimização de edifícios; além disso, este algoritmo mostra-se versátil para acolher adaptações em seu código e, assim, propicia a geração de versões híbridas capazes de incorporar estratégias adicionais.

Considerações finais

Este estudo objetivou investigar a aplicação de algoritmos evolutivos na otimização de edifícios e ambientes internos de cuidados à saúde, com ênfase nas preferências subjetivas das equipes de enfermagem. A relevância desta investigação se circunscreve no desafio inerente ao campo do design de ambientes hospitalares que, ao mesmo tempo, deve atender às necessidades operacionais dos serviços de saúde ali prestados e promover o bem-estar dos seus ocupantes, especialmente da equipe de enfermagem, que enfrenta níveis elevados de estresse em suas rotinas de trabalho. Além disso, sua relevância também reside no fato de a revisão sistemática da literatura aqui apresentada ter evidenciado a ausência de títulos no idioma português que cubram o objetivo supramencionado, o que caracteriza contributo expressivo à literatura científica nacional.

Assim, esta revisão permitiu a compreensão abrangente do estado da arte na utilização de algoritmos evolutivos para a melhoria dos espaços de saúde, especificamente por meio do design generativo. Neste sentido, foi identificada uma significativa lacuna de pesquisa, uma vez que as preferências pessoais dos enfermeiros, que desempenham papel crucial nestes espaços, não têm sido plenamente consideradas no processo de concepção dos seus ambientes de trabalho.

A homeostase e os ambientes homeodinâmicos também destacados como importantes conceitos relacionados à redução do estresse, quando aplicados na concepção de instalações de saúde, conferem o potencial de melhorar significativamente as condições de trabalho da equipe de enfermagem. Reconhecer os desafios enfrentados por estes profissionais, e articulá-los aos referidos conceitos corroboram a criação de ambientes de trabalho eficientes no apoio à saúde física e psicológica destes indivíduos. Trabalhos futuros neste domínio poderão ter como objetivo preencher a lacuna de pesquisa identificada, com a oportunidade de investigar maneiras

de gerar ambientes e produtos mais humanizados e homeodinâmicos para edifícios de saúde, por meio de um fluxo de trabalho participativo e transdisciplinar, especialmente a partir da cooperação entre os campos de conhecimento da Arquitetura, Design, Arte, Neurociências e Psicologia Ambiental.

Notas

1. De acordo com Rose (1998), que elucida o conceito de homeostase biológica a partir da perspectiva da homeodinâmica, “os processos de regulação da vida, e o decorrente equilíbrio alcançado, se elaboram em um fluxo dinâmico e em contínua transformação, diferente da possível ideia de um equilíbrio fixo e imutável” (Zuanon; Ferreira; Monteiro, 2020, p.1).

Referências Bibliográficas

AGARWAL, Neha; CHATURVEDY, Shefali; CHATURVEDI, Saurabh; CHATURVEDI, Yogita. Salivary Cortisol and Alpha-amylase—Biomarkers of Stress in Children undergoing Extraction: an in vivo study. **International Journal of Clinical Pediatric Dentistry**, v. 11, n. 3, p. 214-218, 2018.

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. **Neuroscience: Exploring the Brain**. 4. ed. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2015.

BESBAS, Soumaya; NOCERA, Francesco; ZEMMOURI, Nouredine; KHADRAOUI, Mohamed Amine; BESBAS, Asma. Parametric-Based Multi-Objective Optimization Workflow: Daylight and Energy Performance Study of Hospital Building in Algeria. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 19, 2022. DOI: 10.3390/su141912652. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12652>. Acesso em: 30 ago. 2023.

CARMEL-GILFILEN, Candy; PORTILLO, Margaret. Designing With Empathy: Humanizing Narratives for Inspired Healthcare Experiences Background and Context. **Health Environments Research & Design Journal**, v. 9, n. 2, p. 130-146, 2016. DOI: 10.1177/1937586715592633. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1937586715592633>. Acesso em: 2 fev. 2023.

CARTA, Silvio; LOE, Stephanie St; TURCHI, Tommaso; SIMON, Joel. Self-organising floor plans in care homes. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 11, 2020. DOI: 10.3390/su12114393. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4393>. Acesso em: 2 fev. 2023.

DAMÁSIO, António. **Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain**. Reimpressão ed. Londres: Penguin, 2005.

DAMÁSIO, António. **Em Busca de Espinosa: Prazer e dor na ciência dos sentimentos**. 2. ed. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 2004.

DU, Renjie; WANG, Yu; ZHANG, Xinli. Optimization of Patient Guidance Path Based on Improved Genetic Algorithm. In: IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Big

Data (ICAIBD), 5, 2022, Chengdu. **Anais [..]**. Chengdu: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. p. 598–604. DOI: 10.1109/ICAIBD55127.2022.9820469. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9820469>. Acesso em: 26 ago. 2023.

GABRIEL, Paulo Henrique R.; DELBEM, Alexandre Cláudio B. **Fundamentos de algoritmos evolutivos**. 2008. São Carlos: ICMC-USP. Disponível em: https://repositorio.usp.br/direct-bitstream/7472618b-87b3-4077-a1ca-eb5f40a0542c/nd_75.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.

HALAWA, Farouq; MADATHIL, Sreenath Chalil; KHASAWNEH, Mohammad T. Multi-objective unequal area pod-structured healthcare facility layout problem with daylight requirements. **Computers & Industrial Engineering**, v. 162, p. 107722, 2021. DOI: 10.1016/J.CIE.2021.107722. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835221006264>. Acesso em: 10 fev. 2023.

NEJATI, Adeleh; SHEPLEY, Mardelle; RODIEK, Susan; LEE, Chanam; VARNI, James. Restorative Design Features for Hospital Staff Break Areas: A Multi-Method Study. **Health Environments Research and Design Journal**, v.9, n. 2, p. 16–35, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/1937586715592632>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1937586715592632>. Acesso em: 13 abr. 2023.

MCGAIN, Forbes; NAYLOR, Chris. Environmental sustainability in hospitals - a systematic review and research agenda. **Journal of Health Services Research & Policy**, v. 19, n. 4, p. 245–252, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1177/1355819614534836>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1355819614534836>. Acesso em: 20 abr. 2023.

Nanda, Upali; Pati, Debajyoti; McCurry, Katir. Neuroesthetics and healthcare design. **Health Environments Research & Design Journal**, v. 2, n. 2, p. 116–133, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1177/193758670900200210>. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/193758670900200210?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=pub%20%20pubmed. Acesso em 30 jul. 2023.

HIMMETOĞLU, Salih; DELICE, Yılmaz; KIZILKAYA AYDOĞAN, Emel; UZAL, Burak. Green building envelope designs in different climate and seismic zones: Multi-objective ANN-based genetic algorithm. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 53, p. 102505, 2022. DOI: 10.1016/J.SETA.2022.102505. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822005550>. Acesso em: 18 fev. 2023.

HUO, Jiazhen; LIU, Jing; GAO, Hong. An NSGA-II Algorithm with Adaptive Local Search for a New Double-Row Model Solution to a Multi-Floor Hospital Facility Layout Problem. **Applied Sciences** 2021, v. 11, n. 4, p. 1758–1779, 2021. DOI: 10.3390/AP11041758. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/4/1758/htm>. Acesso em: 11 abr. 2023.

KARAMAN, Selim; EKICI, Berk; CUBUKCUOGLU, Cemre; KOYUNBABA, Basak Kundakci; KAHRAMAN, Ilker. Design of rectangular façade modules through computational intelligence. In: IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2017, Donostia. **Anais [..]**. Donostia: IEEE Press, 2017. p. 1021–1028. DOI: 10.1109/CEC.2017.7969420. Disponível em: <https://>

dl.acm.org/doi/abs/10.1109/CEC.2017.7969420. Acesso em: 17 fev. 2023.

KATOCH, Sourabh, CHAUHAN, Sumit Singh, KUMAR, Vijay. A review on genetic algorithm: past, present, and future. **Multimedia Tools and Applications**, v. 80, n.5, p. 8091–8126, 2021. DOI: 10.1007/s11042-020-10139-6. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7599983/>. Acesso em 08 fev. 2023.

KHAMISA, Natasha; OLDENBURG, Brian; PELTZER, Karl; ILIC, Dragan. Work Related Stress, Burnout, Job Satisfaction and General Health of Nurses. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 1, p. 652–666, 2015. DOI: 10.3390/IJERPH120100652. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/12/1/652/htm>. Acesso em: 29 ago. 2023.

LEITNER, Angelo; PINA, Silvia Mikami. Arquitetura sob a ótica da humanização em ambientes de quimioterapia pediátrica. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 179–198, 2020. DOI: 10.1590/S1678-86212020000300424. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QPVpMc-NW5kmfDCJh7pn9jdf/?lang=pt>. Acesso em: 2 set. 2023.

LUKE, Sean. **Essentials of Metaheuristics: A Set of Undergraduate Lecture Notes by**. 2. ed. 2015. Disponível em: <https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/14542/Essentials%20-%2020263%20pages.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 1 fev. 2023.

MARTINO, Jarryer Andrade de. **Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura**. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2015. p. 281. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/publicacao/135281/algoritmos-evolutivos-como-metodo-para-desenvolvimento-de-pr/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

MARTINO, Jarryer Andrade De; CELANI, Gabriela. Sistema Generativo Evolutivo como Método no Processo Criativo. **Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 8, p. 380–383, 2014. DOI: 10.5151/despro-sigradi2014-0076. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/sistema-generativo-evolutivo-como-metodo-no-processo-criativo-14293>. Acesso em: 20 fev. 2023.

PICARD, Rosalind W. **Affective Computing**. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1997.

POISSON, Benoît. Perspective biopsychologique systémique des émotions de base. **Sante Mentale au Quebec**, v. 40, n. 3, p. 223–244, 2015. DOI: 10.7202/1034920AR. Disponível em: <https://www.erudit.org/en/journals/smq/2015-v40-n3-smq02336/1034920ar/>. Acesso em: 22 jul. 2023.

ROSE, S. **Lifelines: Biology beyond Determinism**. Nova York: Oxford University Press, 1998.

RUTTEN, David. Galapagos: On the logic and limitations of generic solvers. **Architectural Design**, v. 83, n. 2, p. 132–135, 2013. DOI: 10.1002/ad.1568. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ad.1568>. Acesso em: 20 fev. 2023.

SLEIMAN, Hassan A.; HEMPEL, Steffen; TRAVERSARI, Roberto; BRUINENBERG, Sander. An as-

sisted workflow for the early design of nearly zero emission healthcare buildings. **Energies**, v. 10, n. 7, 2017. DOI: 10.3390/en10070993. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/7/993>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SU, Zhou Zhou. Optimizing Spatial Adjacency in Hospital Master Planning. **Communications in Computer and Information Science**, v. 1028, p. 134–144, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-8410-3_10/TABLES/1. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8410-3_10. Acesso em: 8 fev. 2023.

TERZIDIS, Kostas. Algorithmic Design: A Paradigm Shift in Architecture? In: Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe), 22, 2004, Copenhagen. **Anais [..]**. eCAADe, 2004. p. 201–207. DOI: 10.52842/conf.ecaade.2004.201. Disponível em: https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/2004_201. Acesso em: 20 fev. 2023.

TOLEDO, Luis Carlos. **Feitos para cuidar: a arquitetura como um gesto médico e a humanização do edifício hospitalar**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Rio de Janeiro 2008. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/21/teses/707407.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ULRICH, Roger S.; ZIMRING, Craig; ZHU, Xuemei; DUBOSE, Jennifer; SEO, Hyun Bo; CHOI, Young Seon; QUAN, Xiaobo; JOSEPH, Anjali. A Review of the Research Literature on Evidence-Based Healthcare Design. **Spring**, v. 1, n. 3, p. 61–125, 2008. DOI: 10.1177/193758670800100306. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/193758670800100306?journalCode=hera>. Acesso em: 19 maio. 2023.

WINGENFELD, Katja; SCHULZ, Michael; DAMKROEGER, Annika; PHILIPPSEN, Christine; ROSE, Matthias; DRIESSEN, Martin. The diurnal course of salivary alpha-amylase in nurses: an investigation of potential confounders and associations with stress. **Biological Psychology**, v. 85, n. 1, p. 179–181, set. 2010.

YUFKA, Muhittin; EKICI, Berk; CUBUKCUOGLU, Cemre; CHATZIKONSTANTINOU, Ioannis; SARIYILDIZ, I. Sevil. Multi-Objective skylight optimization for a healthcare facility foyer space. In: IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2017), 2017, Donotia. **Anais [..]**. IEEE, 2017. p. 1008–1014. DOI: 10.1109/CEC.2017.7969418. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7969418>. Acesso em: 4 abr. 2023.

ZHAO, Chaowang; YANG, Jian; XIONG, Wuyue; LI, Jiatong. Two Generative Design Methods of Hospital Operating Department Layouts Based on Healthcare Systematic Layout Planning and Generative Adversarial Network. **Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)**, v. 26, n. 1, p. 103–115, 2021. DOI: 10.1007/s12204-021-2265-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12204-021-2265-9>. Acesso em: 4 abr. 2023.

ZUANON, Rachel; LIMA, Claudio Ferreira; MONTEIRO, Evandro Ziggiatti. Ambientes e Produtos Homeodinâmicos: perspectivas e contribuições à saúde e ao bem-estar do ser humano. **DAT Journal**, v. 5, n. 4, p. 194–212, 2020. DOI: 10.29147/dat.v5i4.290. Disponível em: <https://datjournal.emnuvens.com.br/dat/article/view/290>. Acesso em: 21 dez. 2022.

Recebido: 23 de agosto de 2023.

Aprovado: 06 de novembro de 2023.