

Zoneamento climático e conforto térmico para edificações habitacionais em Moçambique

Climatic zoning and thermal comfort for residential buildings in Mozambique

Zonificación climática y confort térmico para edificios residenciales en Mozambique

Mariana Navarro Benevides* 

Universidade Federal de Viçosa; Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas; Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Viçosa (MG), Brasil.
mariananbenevides@gmail.com

Laura Figueiredo Machado 

Universidade Federal de Viçosa; Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas; Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Viçosa (MG), Brasil.

Joyce Correna Carlo 

Universidade Federal de Viçosa; Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas; Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Viçosa (MG), Brasil.

* Autora correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: BENEVIDES, M. N.; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Visualização; Redação – rascunho original: MACHADO, L. F.; Concepção; Supervisão: CARLO, J. C.

Conflitos de interesse: As autoras certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001; Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Aprovação de ética: As autoras certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: As autoras certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho

Editores responsáveis: Nome e Sobrenome (Editor-Chefe); Nome e Sobrenome (Editor Associado); Nome e Sobrenome (Assistente editorial).

Resumo

Este estudo propôs zonas climáticas para edificações em Moçambique usando técnicas de estatística multivariada, a identificação de estratégias construtivas recomendadas para cada grupo e a análise de conforto térmico das habitações representativas a partir de simulações termoenergéticas. Com a aplicação da Análise de Componentes Principais, selecionaram-se as variáveis mais relevantes, com destaque para temperatura e pressão de vapor. Em seguida, com a Análise de Agrupamento Hierárquico definiu-se três zonas climáticas para o país. Para as zonas, observou-se alta demanda por estratégias construtivas, como ventilação diurna e inércia térmica com aquecimento solar para que ocorra o aumento nas horas anuais de conforto. As simulações das habitações tradicionais e contemporâneas mostraram resultados similares, porém, com maior percentual de horas de conforto para a contemporânea. Dessa forma, este estudo amplia conhecimentos sobre a realidade das habitações em Moçambique e os parâmetros construtivos que as influenciam.

Palavras-Chave: Eficiência energética; Edifícios residenciais; Clima; Conforto térmico; Bioclimatologia.

Abstract

This study proposed climate zones for buildings in Mozambique using multivariate statistics techniques, the identification of recommended construction strategies for each group, and the analysis of thermal comfort of representative housing units based on thermoenergetic simulations. By applying Principal Component Analysis, the most relevant variables were selected, with emphasis on temperature and vapor pressure. Posteriorly, using Hierarchical Cluster Analysis, three climate zones were defined for the country. For the zones, a high demand for construction strategies was observed, such as daytime ventilation and thermal inertia with solar heating to increase the annual hours of comfort. The simulations of traditional and contemporary housing units showed similar results, but with a higher percentage of hours of comfort for the contemporary housing unit. Thus, this study expands knowledge about the reality of housing units in Mozambique and the construction parameters that influence them.

Keywords: Energy efficiency; Residential buildings; Climate; Thermal comfort; Bioclimatology.

Resumen

Este estudio propuso zonas climáticas para edificios en Mozambique utilizando técnicas de estadísticas multivariadas, la identificación de estrategias de construcción recomendadas para cada grupo y el análisis del confort térmico de unidades de vivienda representativas basadas en simulaciones termoenergéticas. Mediante la aplicación del Análisis de Componentes Principales, se seleccionaron las variables más relevantes, con énfasis en la temperatura y la presión de vapor. Luego, utilizando el Análisis de Conglomerados Jerárquicos, se definieron tres zonas climáticas para el país. Para las zonas se observó una alta demanda de estrategias constructivas, como ventilación diurna e inercia térmica con calentamiento solar para aumentar las horas anuales de confort. Las simulaciones de unidades de vivienda tradicionales y contemporáneas mostraron resultados similares, pero con un mayor porcentaje de horas de confort para la unidad de vivienda contemporánea. De esta forma, este estudio amplía el conocimiento sobre la realidad de las unidades habitacionales en Mozambique y los parámetros constructivos que las influyen.

Palabras Clave: Eficiencia energetica; Edificios residenciales; Clima; Comodidad térmica; Bioclimatología.

1 Introdução

Quando o desenvolvimento de um projeto arquitetônico procura equilibrar os fatores ambientais e as trocas de energia térmica para a promoção do alcance dos níveis de necessidade de conforto térmico, o mesmo se denomina como arquitetura bioclimática (Barbirato; Souza; Torres, 2007). No intuito de se atingir bons níveis de eficiência energética em uma construção, fatores como o formato da geometria, o comportamento físico dos materiais construtivos, a disposição e tamanho das aberturas e as condições do clima do local devem ser levados em consideração. Esses fatores apresentam grande influência para a modificação das condições térmicas internas dos ambientes, interferindo diretamente no conforto do usuário (Araújo; Barbosa; Batista, 2017; Oliveira; Sakiyama; Miranda, 2017; Silva Junior *et al.*, 2017).

Para melhor se estabelecer diretrizes construtivas que visem a eficiência energética de edificações, a concepção de um zoneamento climático se torna uma importante ferramenta auxiliadora. Nesse zoneamento, define-se grupos compostos por regiões com características semelhantes e onde torna-se possível a identificação e atenuação dos impactos adversos do clima nas edificações e a definição dos requisitos básicos para construções em cada uma das diferentes zonas (Chen; Yang, 2018; Walsh; Cóstola; Labaki, 2019), além de propiciar o uso racional dos recursos climáticos (Khambadkone; Jain, 2017). Ao se basear nos aspectos climáticos para a criação de zonas, o zoneamento passa a apresentar aplicação direta na regulamentação de normas, certificações, selos e políticas energéticas (Walsh; Cóstola; Labaki, 2017).

A criação de métodos de definição de zoneamentos climáticos para edificações tem sido desenvolvida por diferentes países e suas variações de especificidades, quanto à questões ambientais, políticas e socioeconômicas (Walsh; Cóstola; Labaki, 2017). Dentre esses métodos, técnicas de estatística multivariada como as análises de componentes principais (ACP) e de cluster são amplamente utilizadas para o processamento de dados climáticos (Bai *et al.*, 2020; Hao *et al.*, 2020; Praene *et al.*, 2019; Xiong *et al.*, 2019). Enquanto a clusterização é empregada para a definição espacial de zonas (Bai *et al.*, 2020; Hao *et al.*, 2020; Xiong *et al.*, 2019), a ACP é utilizada para o pré-processamento dos dados no intuito de reduzir o número de variáveis a partir da identificação das mais relevantes (Praene *et al.*, 2019).

Associada à definição de zonas, a proposição de estratégias de condicionamento térmico para edificações pode propiciar um aumento das condições de conforto térmico (Benevides; Teixeira; Carlo, 2022), sobretudo em locais submetidos a contextos climáticos caracterizados por elevadas temperaturas, como é o caso de Moçambique (Marghidan *et al.*, 2023). Tal país carece de pesquisas no campo da arquitetura com relação às tipologias habitacionais vernaculares locais. Dessa forma, faz-se necessária a promoção de estudos que visem uma avaliação da qualidade das edificações no território moçambicano, principalmente, em relação aos materiais construtivos utilizados, padrões de uso e ocupação e condicionantes ambientais locais, no intuito de compreender os níveis de conforto e desconforto aos quais os moradores estão submetidos.

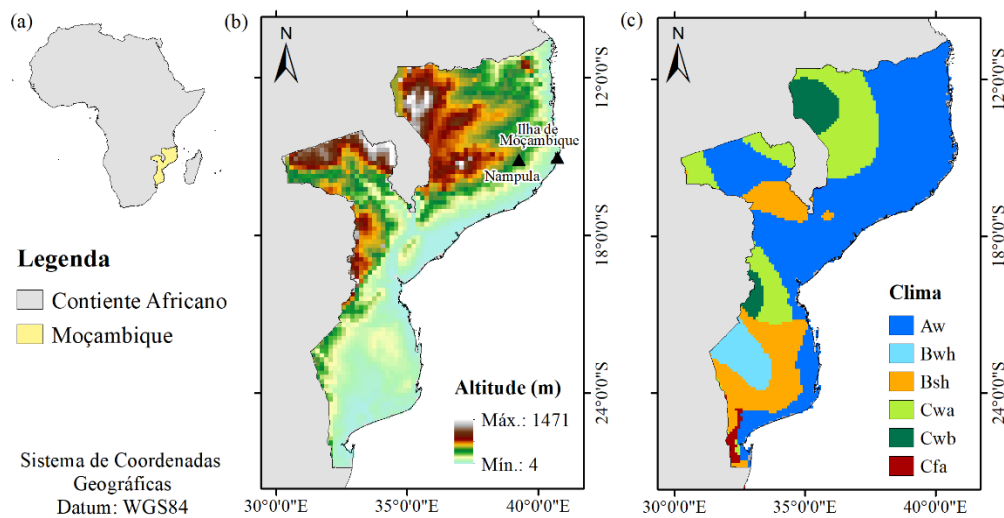
Diante do exposto, o presente estudo possui dois objetivos principais: i) propor um zoneamento climático para edificações habitacionais em Moçambique, e ii) avaliar o conforto térmico de habitações na Ilha de Moçambique.

2 Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

Moçambique está inserido no sudeste da África (Figura 1a) e apresenta área total de 801.590 km², com altitudes variando de 4 a 1471 m, na região litorânea e continental, respectivamente (Figura 1b). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Peel; Finlayson; McMahon, 2007a), o país apresenta seis climas distintos, sendo estes subtipos tropical, subtropical e semiárido, como apresentado na Figura 1c.

Figura 1: (a) Localização de Moçambique, (b) mapa de altitude e (c) classificação climática de Köppen-Geiger (Peel; Finlayson; McMahon, 2007a) para o país.



Enquanto todo o país foi considerado para a proposição de um zoneamento climático de edificações, somente a cidade de Ilha de Moçambique (15°02'S e 40°44'L) foi selecionada para simulação e análise de conforto térmico (Figura 1b). Esse recorte geográfico para a região norte ocorreu a fim de melhor representar a realidade habitacional do país. Apesar de não existir arquivo climático da Ilha de Moçambique para a realização de simulação termoenergética, foi selecionado o arquivo da cidade de Lumbo, na qual apresenta grande proximidade com a região.

A Ilha de Moçambique apresenta extensão territorial de cerca de 1 km² em área de planície litorânea e, de acordo com Köppen-Geiger (Peel; Finlayson; McMahon, 2007b), esta região é definida como de clima “Tropical de Savana”. Na região existem dois núcleos de ocupação urbana: a cidade de Pedra e Cal e a de Macuti, juntas estas zonas urbanísticas apresentam cerca de 17 mil habitantes e densidade demográfica superior a 10 mil habitantes/Km² (ICOMOS; ICCROM, 2018), onde são observadas cerca de 400 construções em Pedral e Cal, e 1200 construções em Macuti, a qual se apresenta como a região de maior concentração populacional (Assunção; Aiúba, 2017). Diante disso, afim de atenuar os impactos do aumento quantitativo da população, o governo local busca com o apoio de órgãos internacionais para oferecer novas condições de habitação em outras regiões de Moçambique (Silva, 2013).

2.2 Zoneamento climático para edificações

Com o objetivo de estabelecer diretrizes construtivas que visem o alcançar um bom resultado de eficiência energética de edificações, a proposição de um zoneamento

climático torna-se uma solução pertinente. Ao criar esse zoneamento permite-se que haja a identificação e atenuação dos impactos adversos do clima nas edificações unida à definição dos requisitos básicos para construções em diferentes zonas (Chen; Yang, 2018; Walsh; Cóstola; Labaki, 2019), além de propiciar o uso racional dos recursos climáticos (Khambadkone; Jain, 2017). No que se refere às sugestões construtivas tem-se a proposição de estratégias de condicionamento térmico para edificações que vão propiciar não apenas uma melhora na eficiência energética da estrutura arquitetônica, mas também nas percepções de conforto térmico dos usuários do espaço.

A compreensão da importância da proposição do zoneamento climático para edificações, principalmente, no que se confere para Moçambique, pode beneficiar os cidadãos, uma vez que existe limitada disponibilidade de dados climáticos (Gelcer *et al.*, 2018). A ausência ou incompletude desses dados resultou em uma dificuldade na identificação das melhorias que podem ser realizadas nas moradias para que possam melhorar seu desempenho térmico. Sendo assim, com base na metodologia desenvolvida por Benevides, Teixeira e Carlo (2022), este trabalho desenvolveu um zoneamento para Moçambique.

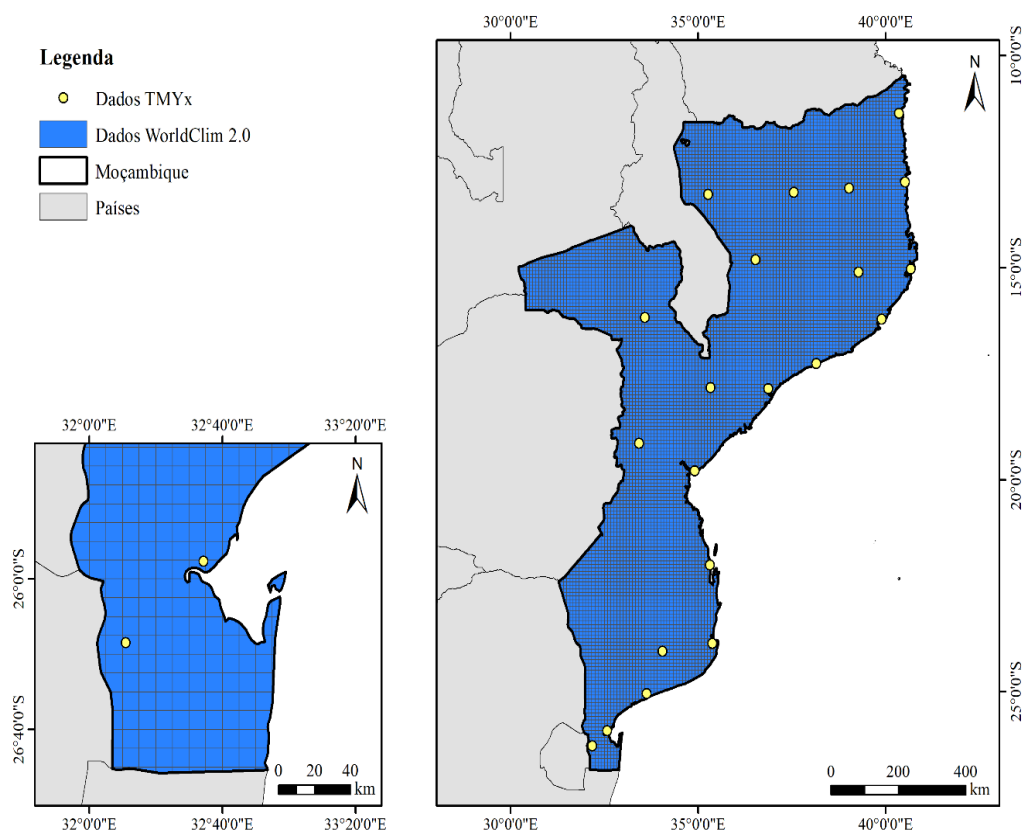
De acordo com Benevides, Teixeira e Carlo (2022), há duas etapas vinculadas à criação de um zoneamento, primeiramente, a definição e seleção das variáveis climáticas e geográficas que apresentam maior relevância na definição das zonas com características semelhantes e seu agrupamento em zonas e, posteriormente, a identificação das estratégias construtivas que propiciam melhor desempenho às edificações para cada uma das zonas encontradas.

2.2.1 Definição de zonas climáticas para edificações

Para o desenvolvimento do zoneamento com base na metodologia de Benevides, Teixeira e Carlo (2022), dois tipos de arquivos são relevantes, o primeiro em formato de pixel e, o segundo em formato de arquivo climático, de um ano de referência sem considerar extremos.

Os dados em formato de pixel (Figura 2), ou seja, em formato matricial, foram gerados a partir de informações de satélite e de estações meteorológica com alta resolução espacial de variáveis climáticas mensais interpoladas em escala global. A partir da plataforma WorldClim 2 Data Portal (Fick; Hijmans, 2017), foram extraídos os dados climáticos históricos médios mais recentes da plataforma, com horizonte temporal de 1970 a 2000, em escala mensal, para auxiliarem na definição das zonas climáticas de Moçambique. Um total de 9.682 pixels, com escala espacial de 5 minutos, foram identificados para essa região e ainda, apresentavam divisão entre variáveis climáticas e bioclimáticas, com o acréscimo de valores de topográficos de altitude.

Figura 2: Distribuição espacial dos 21 arquivos TMYx utilizados, bem como dos pixels do banco de dados WorldClim 2 para Moçambique.



Devido ao banco de dados apresentar grande quantidade de variáveis, 104 variáveis, houve a necessidade de identificar as que tivessem maior influência (variabilidade) no território Moçambicano, para isso aplicou-se a técnica estatística da análise de componentes principais (ACP). Esse procedimento estatístico utiliza-se dos valores das variáveis já padronizados em relação à escala para extrair informações relevantes do banco de dados, a partir da transformação das variáveis correlacionadas em variáveis lineares não correlacionadas (Hair; Black; Sant'anna, 2009; Kassambara, 2017). De forma semelhante a metodologia de Benevides, Teixeira e Carlo (2022), utilizou-se o software R, versão 4.0.2 (R Core Team, 2020), a partir dos pacotes FactoMineR (Husson *et al.*, 2020) e factoextra (Kassambara; Mundt, 2020).

Após a seleção das variáveis climáticas de maior influência para Moçambique definidas a partir da análise de componentes principais, realizou-se o agrupamento dos 9.682 pixels por meio da análise de clusterização hierárquica (ACH). Além dessas variáveis, as latitudes e longitudes centrais de cada pixel foram incluídas na análise. Esses procedimentos foram realizados a partir dos pacotes Stats (Bolar, 2019) e Dendextend (Galili, 2020), em ambiente R. Complementarmente à definição do número ideal de zonas climáticas (clusters), utilizou-se um esquema de votação a partir de 23 índices diferentes, calculados utilizando o pacote em linguagem R NbClust (Charrad *et al.*, 2014, 2015), no qual cada um desses índices determina o número mais relevante de agrupamentos (NRA) para um determinado banco de dados.

De posse do número total de zonas, cada um dos pixels foi classificado como pertencente à uma zona específica, o que possibilitou a demarcação espacial de cada zona a partir dos pixels que a compõem.

2.2.2 Definição de estratégias construtivas

O segundo tipo de dados utilizado no trabalho, consistiu de arquivos climáticos TMYx (Typical Meteorological Year) que continham um ano de dados médios de 2000 a 2010, sem considerar extremos de temperatura e que foram responsáveis por auxiliar na definição das estratégias construtivas de condicionamento térmico mais adequadas para cada zona definida na etapa anterior. Para isso, foram utilizados 21 arquivos TMYx (Figura 2), com destaque para os dados de temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU) e umidade relativa (UR). O download desses arquivos foi realizado, gratuitamente, através da plataforma OneBuilding (<http://climate.onebuilding.org/>), e cuja a distribuição espacial está apresentada na Figura 2.

Após a delimitação da área de abrangência de cada zona climática, os dados de TBS, TBU e UR horários de todas as estações inseridas geograficamente em cada zona foram agrupados e sobrepostos à carta psicrométrica apresentada por Lamberts, Dutra e Pereira (2014). Essa carta consiste em uma adaptação da carta proposta por Givoni (1992) com aplicabilidade para as condições climáticas de países em desenvolvimento. A partir dessa carta psicrométrica, foram definidos os percentuais horários das estratégias de condicionamento térmico mais adequadas para Moçambique.

2.3 Análise de conforto térmico

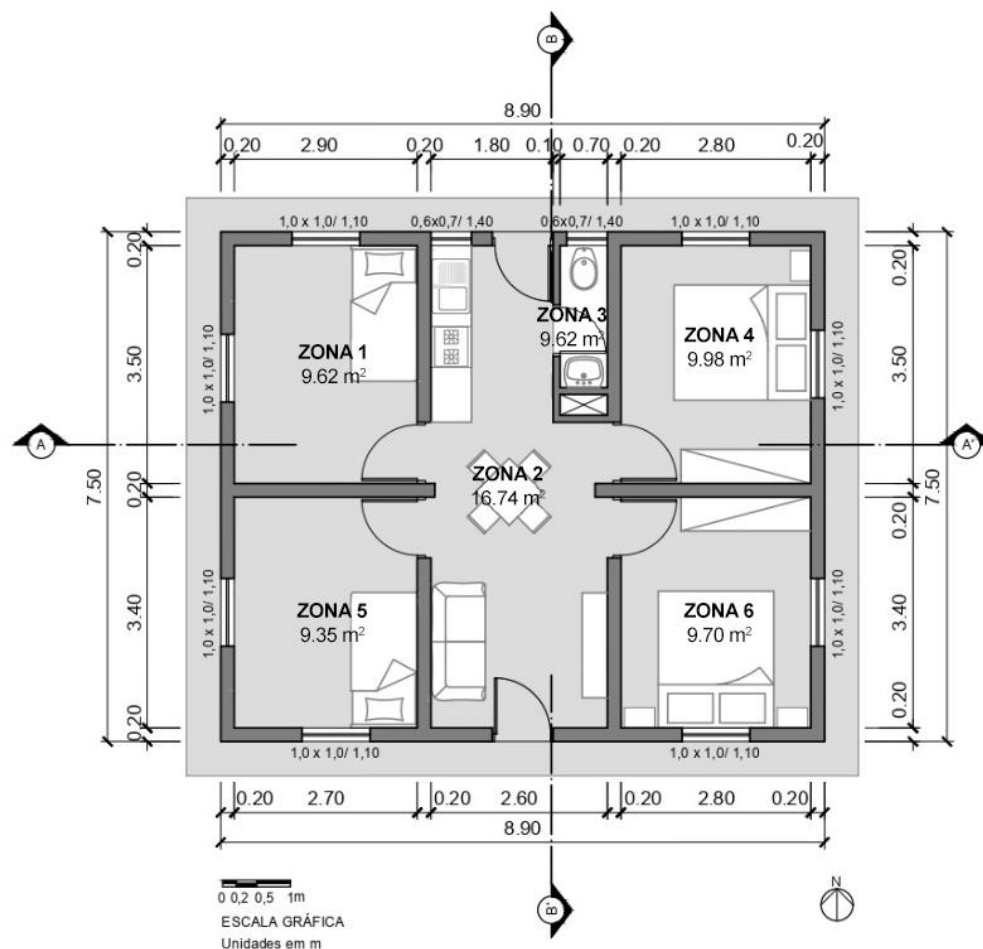
De modo complementar à proposição do zoneamento climático e à definição das estratégias construtivas mais adequadas, buscou-se também à necessidade de que edificações habitacionais existentes precisavam de adequações para propiciar melhores níveis de conforto térmico aos usuários. Para isso, simulações termo energéticas foram realizadas a partir de modelos representativos das habitações moçambicanas localizadas na Ilha de Moçambique.

2.3.1 Tipologias construtivas representativas

Para as simulações, foram considerados dois modelos de habitações existentes na Ilha de Moçambique, o primeiro com tipologia vernacular, predominante na região da Cidade de Macuti, e o segundo com tipologia contemporânea, resultante de modificações nas habitações tradicionais dessa região. A vernacular se evidencia no território como palhotas retangulares erguidas a partir de novos materiais e a cobertura em águas, enquanto que a tipologia contemporânea se assemelha à vernacular estruturalmente, entretanto, apresenta a alteração da sua cobertura, em platibanda. Segundo Assunção e Aiúba (2017), a modificação da cobertura se deve a dois fatores principais: a alegação da existência de uma doença que acomete as palmeiras de onde extraem o macuti, além da busca por materiais alternativos considerados mais modernos, como o zinco. A mudança da cobertura também está relacionada à busca por materiais mais duráveis, especialmente, tendo em vista os fenômenos naturais que acometem a população local (UN-Habitat, 2018).

Por meio da Universidade de Lúrio, obteve-se acesso à planta baixa de uma edificação real presente na Ilha de Moçambique (Figura 3), a qual serviu de base para a realização das simulações termoenergéticas. Importante ressaltar que ambas as edificações apresentam a planta baixa semelhante, porém, no que se refere aos materiais construtivos e o tipo de cobertura presente, se diferem.

Figura 3: Planta baixa de uma edificação da Cidade de Macuti, Ilha de Moçambique.



Fonte: Universidade de Lúrio – 2023.

As simulações ocorreram por meio do software EnergyPlus, versão 9.3, no qual as duas tipologias de edificação apresentaram a mesma configuração interna, compostas de seis zonas térmicas que se referem aos diferentes ambientes internos (Figura 3). Entretanto, na tipologia vernacular, uma zona térmica correspondente ao ático da cobertura foi acrescida, enquanto que para a tipologia contemporânea não se definiu uma zona específica para a cobertura da casa, uma vez que se configura em platibanda. A adoção da mesma planta baixa para a simulação do desempenho termoenergético de ambas tipologias habitacionais existentes na Ilha de Moçambique permite avaliar a influência dos diferentes materiais e sistemas construtivos adotados, tanto na vedação, quanto na cobertura, sobre os resultados finais de conforto térmico dos usuários.

2.3.2 Materiais e estruturas construtivas

2.3.2.1 Edificação vernacular

A composição das vedações da habitação vernacular se assemelha ao “pau a pique” empregado no Brasil, em que se tem um arranjo de bambus posicionados horizontalmente, preenchidos de uma mistura composta de barro e água com amarrações de fibras naturais, enquanto utiliza-se a madeira para as estacas estruturais. As paredes, cujas espessuras finais variam de 15 a 20 cm, podem receber ao final uma camada de reboco para melhor acabamento.

O telhado da edificação é composto de quatro águas, em estrutura de bambus com cobertura comumente em arranjo de folhas de coqueiro, cujo nome da espécie identifica a própria zona urbanística da Ilha de Moçambique: Macuti. Contudo, a palha também é utilizada com frequência para esta função (ICOMOS; ICCROM, 2018) e, devido à maior facilidade de se obter suas propriedades através da norma NBR15220 (ABNT, 2003), a palha foi o material utilizado para a simulação. Ressalta-se, ainda, que a moradia apresenta faixas ventiladas nos espigões do telhado, bem como um forro composto pela mesma estrutura da cobertura.

De acordo com essa configuração, criou-se para as simulações quatro faixas de vãos na cobertura do modelo vernacular, que totalizam uma superfície de 1m², a fim de simular os efeitos dos vãos existentes nas laterais do telhado com ventilação permanente. Procedimento semelhante foi adotado para o forro ventilado de modo que se criaram em cada zona aberturas equivalentes a 30% da superfície de suas faces superiores, correspondentes ao somatório estimado dos vãos existentes. Tais aberturas foram configuradas horizontalmente com ventilação permanente, sendo o modelo de ventilação da edificação utilizado no EnergyPlus 9.3 AirFlowNetwork.

2.3.2.2 Edificação contemporânea

A edificação contemporânea se diferencia da vernacular pela composição das paredes e da cobertura (Tabela 1). Adotou-se para a composição das vedações deste modelo a estrutura em adobe, por ser comumente empregada na região norte de Moçambique (UN-Habitat, 2018), onde se situa a Ilha de Moçambique. A cobertura foi modelada a partir de estrutura em platibanda com telhado embutido, composto, para a simulação em questão, de telhas de fibrocimento.

Tabela 1: Características termofísicas dos materiais das paredes e coberturas consideradas para as tipologias vernacular e contemporânea.

Componente	Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Transmitância térmica (m² K/W)	Capacidade Térmica (kJ/m²K)
Tipologia Vernacular						
Paredes	Argila (reboco)	0,025	0,52	840	1,19	211,68
	Pedras	0,03	0,12	840		
	Câmara de ar	0.09	-	-		
	Pedras	0,03	0,12	840		
	Argila (reboco)	0,025	0,52	840		
Cobertura	Bambu	0,05	0,14	1270	0,763	-
	Câmara de ar	-	-	-		
	Bambu	0,05	0,14	1270		
Tipologia Contemporânea						
Paredes	Argila (reboco)	0,025	0,52	840	1,95	267,92
	Adobe	0,15	0,61	920		
	Argila (reboco)	0,025	0,52	840		
Cobertura	Telha fibrocimento	0,006	0,9	1300	2,07	-

Levou-se em consideração para a definição das propriedades dos materiais a norma ABNT NBR 15220:2003 - Parte II: “Métodos de cálculo da transmitância térmica (ABNT, 2003), da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações”. Contudo, ressalta-se que para o caso da moradia vernacular, desconsiderou-se a presença do bambu dentre as camadas da parede, por ocupar pequena área em relação a sua superfície total. Complementarmente, na Tabela 2 estão apresentadas as principais características das zonas térmicas das residências modeladas.

Tabela 2: Características das zonas térmicas das residências modeladas.

Zona térmica	Ambiente/Estrutura	Área (m ²)	Orientação solar das paredes externas	Área das superfícies de parede (m ²)	Porcentagem de áreas efetivas de ventilação (janelas)	Porcentagem de áreas efetivas de ventilação (portas)	Área de ventilação no forro (m ²)
1	Quarto	9,62	norte e oeste	35,11	5,70%	4,78%	3,22
2	Sala integrada à cozinha	16,74	norte e sul	53,73	1%	22,28%	5,57
3	Banheiro	1,82	norte	16,44	2,55%	10,22%	0,57
4	Quarto	9,98	norte e leste	35,64	5,61%	4,71%	3,3
5	Quarto	9,35	sul e oeste	34,58	5,78%	4,86%	3,1
6	Quarto	9,7	sul e leste	35,11	5,70%	4,78%	3,23
7	Cobertura	98,66	-	-	-	-	1

2.3.3 Uso e ocupação das habitações

A pirâmide etária de Moçambique apresenta uma maior concentração de crianças e jovens, com 65% da população do país em idade abaixo dos 24 anos, acrescido ainda pela média de filhos na região ser correspondente a 5,5. Esses dados influenciaram na definição do número de habitantes por edificação, sendo assim, uma ocupação média de dois moradores por dormitório foi estabelecida, o que resulta em um total de 8 moradores para essas geometrias representativas, onde há uma média de 60% crianças e 40% adultos, ou seja, 5 crianças e 3 adultos.

Na definição dos valores de metabolismo adotados para as simulações termoenergéticas, os valores definidos para as crianças foram diferentes dos demais, às quais utilizou-se uma área de pele de $1,2 \text{ m}^2$. Ademais, foi necessário corrigir para 1,15 o metabolismo das mesmas, uma vez que se caracteriza, como 15% superior ao dos adultos (Xavier, 2000). Quanto aos horários das atividades, ressalta-se que a grande maioria dos moradores da Ilha de Moçambique são muçulmanos (Pila, 2022), portanto, torna-se comum reservar um tempo para a meditação durante o período diurno (Tabela 3).

Tabela 3: Modelo de rotina comumente adotado pelos moçambicanos na Ilha de Moçambique.

Horário	Atividade realizada	Gasto metabólico (W/m^2)
04:30	Meditação	58
08:00	Pequeno almoço	70
14:30	Almoço	70
19:00	Jantar	70
21:00	Dormir	41

“Pequeno almoço”, nomenclatura que se refere ao café da manhã.

2.3.4 Indicador de desempenho

Como indicador de desempenho térmico das edificações, calculou-se o índice de conforto térmico adaptativo (ASHRAE, 2013). A partir dos resultados provenientes das simulações termoenergéticas realizadas no software EnergyPlus 9.3, tornou-se possível analisar os dados de temperatura operativa internas, o fluxo de ar através das aberturas das edificações estudadas e a carga térmica da edificação quando aplicados aos conceitos e procedimentos apresentados pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). Essa metodologia de análise do conforto térmico busca identificar os percentuais de conforto ou desconforto percebidos pelos usuários dos espaços, ao utilizar valores referentes aos últimos 15 dias, em escala horária.

Para a obtenção das temperaturas máxima e mínima limites adequadas do ponto de vista do conforto adaptativo, foram utilizadas as Equações 1 e 2 (ASHRAE- AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, 2013).

$$L. Máx = 21,3 + Text \times 0,31 \quad (1)$$

$$L. Mín. = 14,3 + Text \times 0,31 \quad (2)$$

Onde:

L. Máx = Limite de aceitabilidade máximo.

L. Mín. = Limite de aceitabilidade mínimo.

Text = Temperatura externa média (°C).

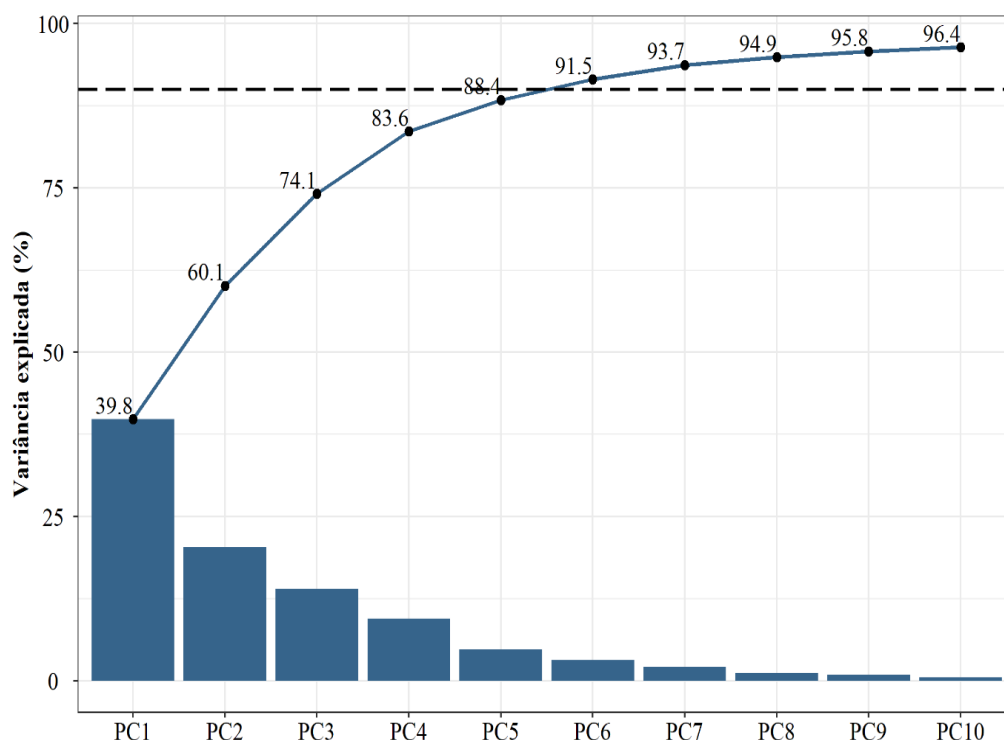
3 Resultados e discussão

3.1 Zoneamento climático para edificações

3.1.1 Definição de zonas climáticas para edificações

A técnica de análise de componentes principais (ACP) permitiu a redução da dimensionalidade do banco de dados inicial e a definição das variáveis de maior influência no zoneamento climático proposto para Moçambique. Na Figura 4 está apresentado o percentual de variância explicada pelos dez primeiros componentes principais (PCs) gerados, a partir da qual pode-se observar que o PC1 e o PC2 juntos explicam mais da metade da variabilidade total dos dados, cerca de 39,8 e 60,1%, respectivamente.

Figura 4: Percentual de variância explicada e variância acumulada para os dez primeiros componentes principais (PCs).

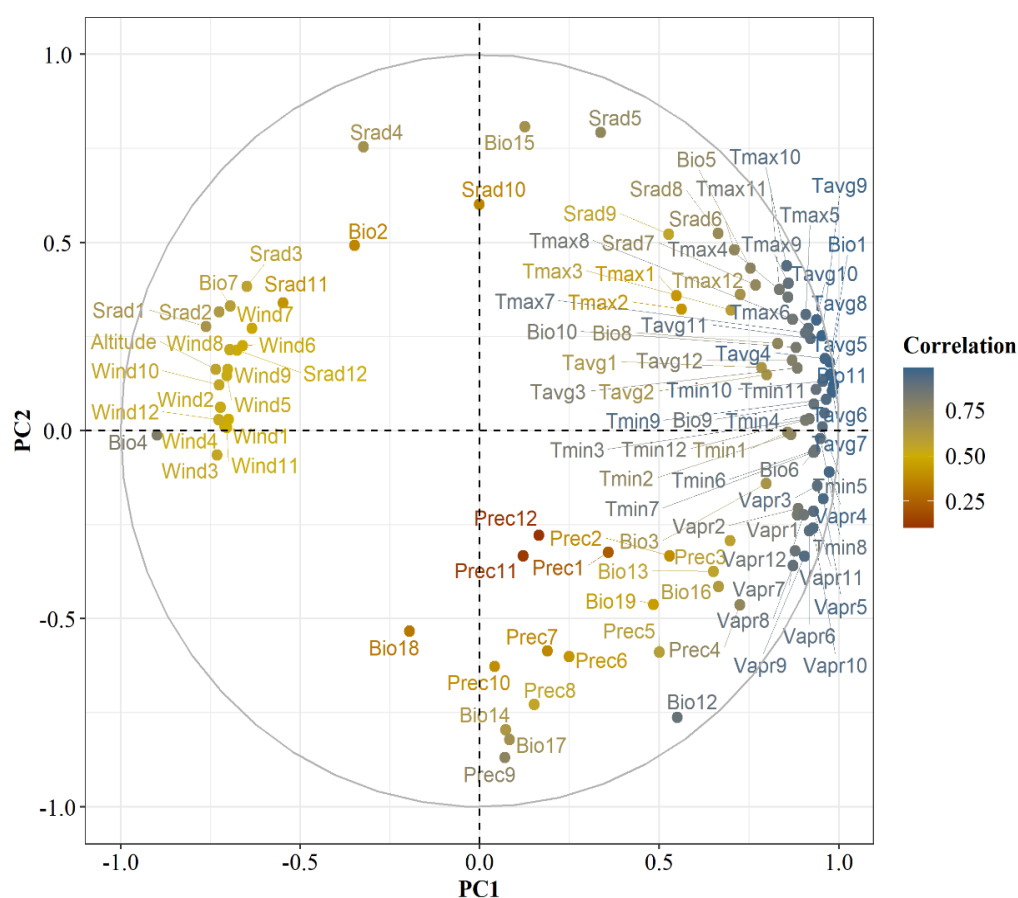


Baseado no critério de seleção do número de componentes principais definido anteriormente, o número de PCs a serem utilizados deveria explicar, no mínimo, 90% da

variância total dos dados. Dessa forma, somente os seis primeiros componentes principais foram selecionados para a análise das variáveis, totalizando 91,5% da variância.

Embora os seis primeiros componentes principais tenham sido considerados para a escolha das variáveis de maior importância (variabilidade) em Moçambique, percebeu-se que valores de correlação considerados significativos ($\geq |0.8|$) foram observados apenas nos dois primeiros PCs. Do conjunto total de 104 variáveis, constatou-se que 41 apresentaram correlação significativa com PC1, enquanto 6 variáveis mostraram-se significativas para o PC2. Os valores de correlação entre os dois componentes principais mais relevantes, PC1 e PC2, e as 104 variáveis analisadas estão apresentados graficamente na Figura 5.

Figura 5: Gráfico biplot dos valores de correlação entre os componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2) e as 104 variáveis analisadas.



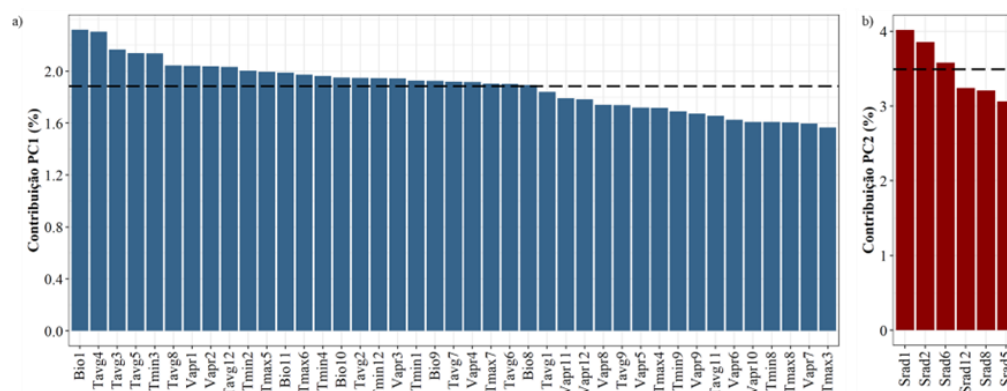
No gráfico biplot apresentado na Figura 5, as variáveis localizadas adjacentes à delimitação da circunferência possuem correlação, positiva ou negativa, próxima à unidade e apresentam maior correlação entre si quando contíguas umas às outras. Desse modo, constatou-se que as maiores correlações positivas para o PC1 e para o PC2, estão relacionadas às variáveis de temperatura e pressão de vapor, respectivamente.

Em síntese, 47 variáveis foram selecionadas a partir da análise de componentes principais por terem apresentado valor de correlação com os PCs superior a 0,8, em módulo. Dentre essas, destaca-se a relevância das temperaturas médias, máximas e mínimas para a maior parte dos meses, além das variáveis bioclimáticas selecionadas também relacionadas à temperatura, ratificando a importância dessa variável na definição de

zonas climáticas. Ademais, a variável pressão de vapor também apresentou sua importância, uma vez que todos os meses foram selecionados.

A contribuição do conjunto total de variáveis selecionadas na composição da resposta explicativa do PC1 e do PC2 está apresentada, em ordem decrescente, na Figura 6. Para o PC1, quando observados os valores superiores à contribuição média (linha horizontal tracejada), destacam-se os percentuais das variáveis de temperatura média para a maior parte dos meses, para a temperatura mínima nos meses do primeiro semestre, e para a temperatura máxima apenas os meses de inverno. Em relação ao PC2, as variáveis de radiação solar apresentaram grande contribuição, apesar de parte das variáveis possuírem correlação negativa com esse componente principal (Figura 5).

Figura 6: Contribuição percentual do conjunto total de variáveis selecionadas na composição da resposta explicativa do (a) PC1 e (b) PC2.

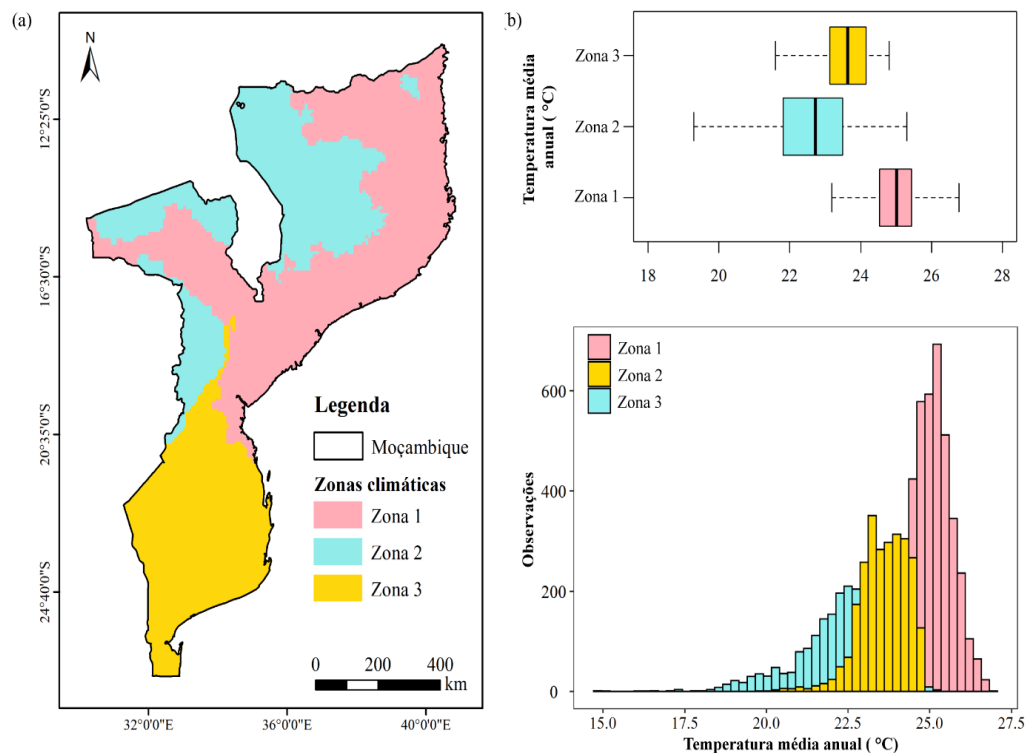


3.1.2 Definição de zonas climáticas

De posse da definição das variáveis de interesse obtidas a partir da análise de componentes principais, a análise de clusterização hierárquica (ACH) possibilitou o agrupamento dos 9.682 pixels abrangendo Moçambique no intuito de definir zonas climaticamente homogêneas. Com base no esquema de votação a partir do uso de 23 índices para a definição do número relevante de agrupamentos (NRA), constatou-se que a quantidade ideal de zonas climáticas para o país é três.

Na Figura 7a está apresentada a distribuição espacial das três zonas climáticas definidas para Moçambique. A Zona 1 se constitui como a maior zona definida, ocupando cerca de 45% da área total e está localizada em uma porção mais litorânea do país e com altas temperaturas, quando comparadas com as outras zonas climáticas (Figura 7b). Em contrapartida, as Zonas 2 e 3 apresentam menor percentual de área, com cerca de 28,3 e 26,7%, respectivamente. Destaca-se ainda que a Zona 2 apresenta as maiores altitudes e, conseqüentemente, as menores temperaturas quando comparadas as demais zonas climáticas.

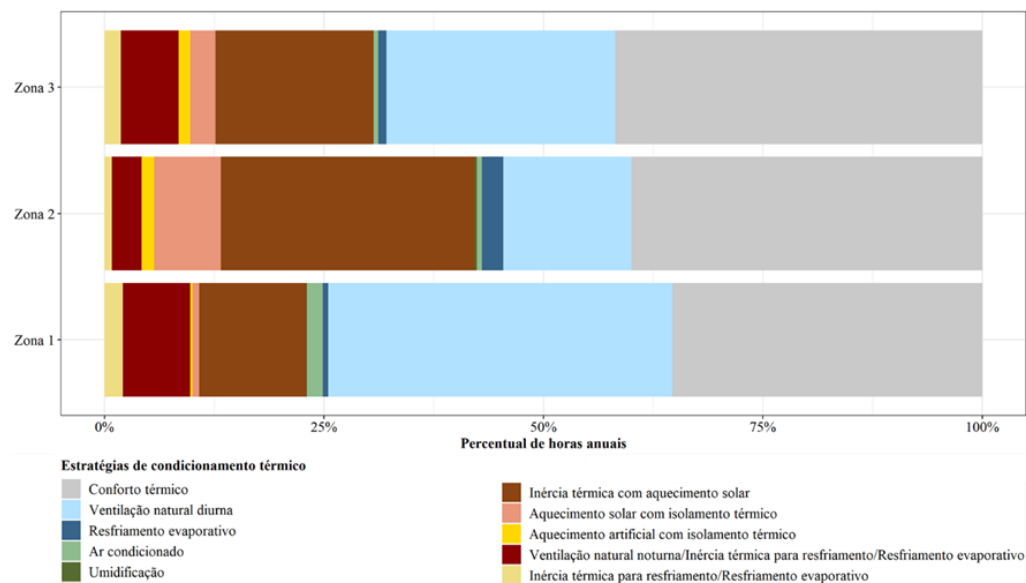
Figura 7: (a) Distribuição espacial das zonas climáticas definidas para Moçambique. (b) Boxplot e histograma dos valores de temperatura média anual observados em cada zona.



3.1.3 Estratégias construtivas de condicionamento térmico

A sobreposição dos dados de TBS, TBU e UR à carta psicrométrica adaptada de Givoni (1992) possibilitou a definição das estratégias construtivas demandadas à cada uma das zonas climáticas definidas. Desse modo, o percentual de horas anuais de ocorrência de conforto térmico e de demanda por estratégias de condicionamento térmico foi estabelecido para cada zona, como apresentado na Figura 8.

Figura 8: Percentual de horas anuais de ocorrência de conforto térmico e de demanda por estratégias de condicionamento térmico para cada zona climática.



Ao analisar os percentuais de ocorrência de conforto térmico para as zonas climáticas definidas, observou-se que o maior percentual ocorreu para a Zona 3 (41,8%), enquanto os menores percentuais foram observados para as Zonas 1 e 2, na ordem de 35,3 e 39,8%, respectivamente. A pequena diferenciação em relação ao percentual de horas de conforto, mostrou que nenhuma das zonas apresentou condições climáticas que suprimissem a necessidade de estratégias construtivas adicionais afim de ampliar o percentual anual de horas de conforto. Frente a isso, fica nítida a alta demanda por estratégias de condicionamento térmico em todas as zonas climáticas definidas para Moçambique.

A estratégia de ventilação natural diurna é demandada para as três zonas estabelecidas, com destaque para as Zonas 1 e 3, onde o percentual requerido para essa estratégia é de cerca de 39,0 e 26,0% das horas anuais, respectivamente. Como explicam Aflaki *et al.*, (2015) e Zheng *et al.*, (2018), o uso de ventilação natural consiste em uma estratégia passiva que se baseia em diferenças de pressão para mover o ar através dos edifícios (resfriamento convectivo), o que propicia a renovação do ar interno. Aflaki *et al.* (2015) e Chen, Tong e Malkawi (2017) destacam ainda que a ventilação natural apresenta grande potencial de redução da energia requerida para o resfriamento dos componentes construtivos, com custo de operação menor quando comparado à utilização de ventilação mecânica (Zheng *et al.*, 2018).

Em regiões com predomínio das temperaturas diurnas do ar acima de 29°C e de umidades relativas inferiores a 60%, a ventilação noturna consiste na estratégia de condicionamento térmico passivo mais adequada (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). Nesse contexto, as maiores demandas por ventilação noturna ocorrem nas Zonas 1 e 3.

Em relação a estratégia de inércia térmica com aquecimento solar, a Zona 2 apresentou demandas expressivamente maiores que às demais, sendo requerida em 28,9% das horas anuais. De acordo com Nikolić *et al.*, (2018), o uso de inércia térmica com aquecimento solar consiste na utilização de componentes construtivos que retêm o calor absorvido, liberando-o lentamente para o interior do ambiente quando as temperaturas internas se tornam inferiores às externas. A necessidade por aquecimento na Zona 2 pode ser evidenciada também pelo fato de a mesma apresentar as maiores demandas pela estratégia de isolamento térmico com aquecimento solar, o que pode ser explicado pelos reduzidos valores de temperatura média, máxima e mínima observadas para essa zona, uma vez que se encontra em uma região com altitude elevada.

As demandas por resfriamento artificial (ar-condicionado) e por aquecimento artificial (com isolamento térmico) apresentaram percentuais anuais para todas as zonas, com destaque para a necessidade de “Aquecimento solar com isolamento térmico” em 7% das horas anuais na Zona 2. Apesar disso, esse percentual pouco expressivo quando comparado às outras estratégias passivas encontradas para a zona. Como demonstram Kashyap, Kumar Gaba e Kumar Tiwari (2019), o uso de estratégias passivas apresenta uma vantagem em relação às artificiais uma vez que não demandam a utilização de energia elétrica.

Complementarmente às estratégias mencionadas, o uso de sombreamento é recomendado para todas as zonas climáticas estabelecidas uma vez que apresentam valores de temperatura de bulbo seco maiores que 20°C (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014).

3.2 Análise do conforto térmico

Na Tabela 4 estão apresentadas as porcentagens de horas de conforto e desconforto térmico por calor e por frio obtidos a partir das simulações das tipologias vernacular e contemporânea para a ilha de Moçambique. Nota-se que os percentuais de conforto térmico obtidos para a tipologia contemporânea são superiores aos observados para a vernacular em todas as zonas observadas. Além disso, ressalta-se que o desconforto por frio na tipologia contemporânea é, em média, 58% inferior àquele apresentado pela vernacular.

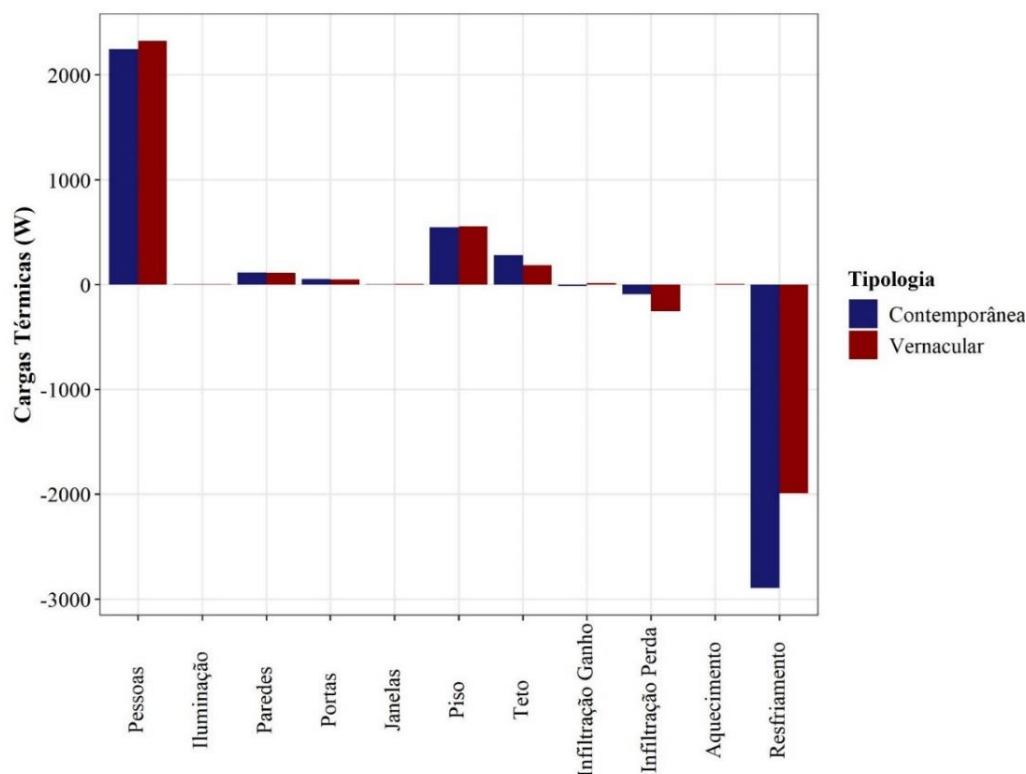
Tabela 4: Percentual de horas de conforto térmico adaptativo ao longo de um ano.

Zona Térmica	Zona 01	Zona 02	Zona 04	Zona 05	Zona 06
Ambiente	Quarto	Sala/Cozinha	Quarto	Quarto	Quarto
Orientação das paredes externas	norte e oeste	norte e sul	norte e leste	oeste e sul	leste e sul
Tipologia vernacular					
Frio	5,53%	6,70%	4,81%	5,68%	5,87%
Conforto	79,27%	79,60%	80,08%	79,93%	80%
Calor	15,21%	13,70%	15,11%	14,28%	14,13%
Tipologia contemporânea					
Frio	1,93%	3,81%	1,56%	2,24%	2,48%
Conforto	83,93%	84,94%	83,18%	83,44%	84%
Calor	14,14%	11,24	15,25%	14,33%%	13,57%

Esperava-se, a princípio, que os resultados de conforto térmico referentes à tipologia vernacular fossem superiores à contemporânea, tendo em vista os relatos de moradores moçambicanos. Além disso, a tipologia vernacular apresenta como diferencial os vãos em sua cobertura, associados ao forro ventilado, que possibilitam a troca de ar com o exterior e, dessa forma, uma ventilação mais eficiente na residência. Somado a esse fator, está o sombreamento da edificação proporcionado pelos grandes beirais.

Diante desse cenário, foi realizada, uma análise comparativa das cargas térmicas nas moradias. Os resultados, apresentados na Figura 9, indicam que a carga térmica do teto da casa contemporânea é, de fato, superior à vernacular. De forma geral, a carga térmica para resfriamento na casa contemporânea também se sobressaiu em relação à da casa vernacular. Desse modo, evidencia-se que a presença de vãos para ventilação no teto da casa vernacular reduziu suas cargas térmicas e, portanto, sua necessidade de resfriamento. Por fim, as diferenças de cargas térmicas observadas nos demais componentes da edificação simulada não foram expressivas.

Figura 9: Cargas térmicas observadas nos componentes da edificação para as tipologias vernacular e contemporânea.



Tais dados podem estar relacionados aos componentes construtivos das edificações, bem como aos diferentes níveis de ventilação evidenciados nas moradias analisadas. A tipologia contemporânea, com paredes em estrutura de adobe, apresenta capacidade térmica superior e, com isso, maior inércia térmica. Dessa forma, as temperaturas internas apresentam menor variação ao longo do dia. Adicionalmente, o período noturno apresenta melhores condições de conforto, uma vez que o calor absorvido pelas paredes ao longo do dia é armazenado por mais tempo e liberado de forma gradual à noite, momento em que temperaturas mais altas são desejáveis devido às baixas temperaturas externas.

A tipologia vernacular, por outro lado, apresenta maior amplitude térmica internamente devido à menor inércia térmica de suas vedações. Ademais, a ventilação superior existente contribui para a maior variação da temperatura interna de acordo com a variação das temperaturas externas, assim como observam Sakiyama *et al.*, (2020).

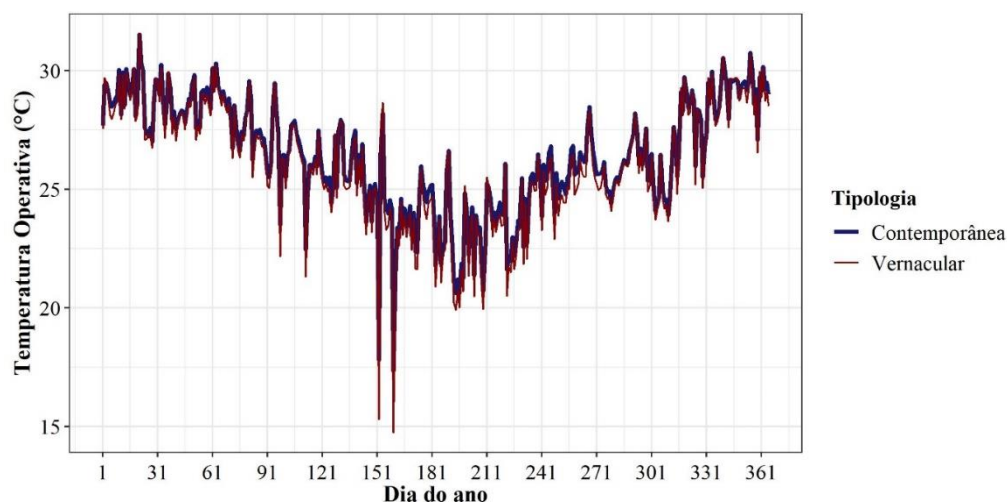
Ao se analisar o panorama climático da Ilha de Moçambique no período das horas mais quentes, nota-se que as temperaturas evidenciadas na cidade são consideravelmente altas, de cerca de 25°C. Tais magnitudes impactam nas temperaturas internas das edificações que, para ambas as tipologias são consideradas elevadas (Tabela 5). Isso explica os resultados mais expressivos de desconforto por calor obtidos, se comparados àqueles referentes ao frio.

Tabela 5: Média anual das temperaturas operativas internas em cada zona para as tipologias vernacular e contemporânea (°C).

Tipologia	Zona 01	Zona 02	Zona 04	Zona 05	Zona 06
Vernacular	27,42	27,11	27,7	27,46	27,46
Contemporânea	28,21	27,65	28,5	28,33	28,24

Ao se analisar as horas mais frias do ano para uma das zonas da edificação (Sala/Cozinha), percebe-se que a tipologia vernacular apresenta temperaturas mais baixas em relação à contemporânea (Figura 10), uma vez que a ventilação favorece a troca de ar com o meio externo que, por apresentar temperaturas mais baixas em tais períodos, ocasiona o resfriamento do ambiente. Vale destacar que no período noturno, com as temperaturas internas reduzidas, as janelas são configuradas como fechadas no processo de simulação. Contudo, o mesmo não ocorre para os vãos correspondentes à casa vernacular, pois sempre estarão abertos. Desse modo, essa situação influencia no maior desconforto por frio na tipologia contemporânea.

Figura 10: Temperaturas operativas internas horárias observadas para Sala/Cozinha (Zona 02) ao longo de um ano.



Desse modo, os efeitos da ventilação possuem impacto notável sobre os resultados. Isso fica evidente ao se notar que a zona central da tipologia vernacular (Sala/Cozinha) apresenta maior superfície de contato com o forro ventilado, fato que culminou no seu desconforto por frio superior em relação às demais zonas. O contrário ocorre quando se analisa o desconforto por calor nesta mesma zona, sendo o menor valor dentre os analisados.

Na residência contemporânea, por sua vez, embora não exista o efeito da cobertura ventilada, nota-se uma semelhança com a tipologia vernacular, onde se observa maior desconforto por frio e menor desconforto por calor na Sala/Cozinha. Esta situação pode estar relacionada à menor quantidade de janelas existentes na zona em questão, de modo que o ambiente recebe menor radiação solar, o que reduz o desconforto por calor nas estações quentes, enquanto acentuam-se os níveis de desconforto por frio nas estações mais frias.

A fim de exemplificar a influência da temperatura externa sobre os efeitos da ventilação de acordo com o horário e, desse modo, sua implicação nas temperaturas internas, foi realizada uma análise acerca do comportamento das temperaturas operativas ao longo

do ano para duas zonas escolhidas em ambas as tipologias e em dois períodos de tempo: das 8h às 20h, que representa o Cenário Diurno com as temperaturas mais elevadas, e das 21h às 7h, que representa o Cenário Noturno, com temperaturas mais amenas (Tabela 6). Diante dos resultados é possível perceber que as diferenças entre as médias das temperaturas operativas obtidas para as duas tipologias são pouco perceptíveis. A diferença entre as temperaturas nos horários correspondentes ao Cenário Noturno é mais significativa, porém ainda demonstram que há uma similaridade entre o conforto térmico obtido para as duas tipologias simuladas.

Tabela 6: Média anual das temperaturas operativas nas horas mais quentes (Cenário Diurno) e mais frias (Cenário Noturno) para as tipologias vernacular e contemporânea.

Zona Térmica	Tipologia	Média das temperaturas no Cenário Diurno (°C).	Médias das temperaturas no Cenário Noturno(°C).
Zona 02	Tipologia vernacular	27,33	24,67
	Tipologia contemporânea	27,32	25,36
Zona 05	Tipologia vernacular	27,32	24,97
	Tipologia contemporânea	27,46	25,89

Adicionalmente, realizou-se uma análise das temperaturas operativas internas em cada zona das edificações no horário de maior média térmica anual (13:00h) e menor média térmica anual (04:00h), como apresentado na Tabela 7. Semelhantemente à análise anterior, pode-se notar que as diferenças entre as médias das temperaturas obtidas para as duas tipologias são pouco expressivas. Contudo, evidencia-se uma tendência de a tipologia vernacular apresentar temperaturas superiores nos períodos mais quentes e temperaturas inferiores nos períodos mais frios.

Tabela 7: Média anual das temperaturas operativas internas em cada zona das tipologias vernacular e contemporânea.

Horário	Tipologia	Zona 01	Zona 02	Zona 04	Zona 05	Zona 06
13:00h	Vernacular	28,3 °C	28,4 °C	28,4 °C	28,1 °C	28,2 °C
	Contemporânea	28,1 °C	28 °C	28,3 °C	27,9 °C	28 °C
04:00h	Vernacular	24,4 °C	24,1 °C	24,4 °C	24,7 °C	24,4 °C
	Contemporânea	25,5 °C	25 °C	25,1 °C	25,8 °C	25,4 °C

Desse modo, os resultados obtidos diferem das alegações feitas por moçambicanos entrevistados anteriormente à execução desta pesquisa, que consideravam a casa vernacular mais confortável termicamente em comparação com a casa de tipologia contemporânea. Entretanto, é importante lembrar que o software de simulação termoenergética utilizado para o estudo, EnergyPlus, se baseia em parâmetros numéricos de acordo com a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013). Tais valores indicam a faixa de temperatura interna considerada confortável para a convivência humana. Contudo, sabe-se que a sensação de conforto é subjetiva e pode não necessariamente corresponder de forma exata às simulações computacionais executadas.

Sobretudo para o caso de Moçambique, tornou-se evidente o impacto da ventilação sobre o conforto térmico em uma edificação. Apesar dessa variável contribuir para o aumento das porcentagens relativas ao desconforto por calor na simulação, devido ao fluxo de ar quente ocasionado pelas altas temperaturas da região estudada, sabe-se que as trocas

térmicas entre a ventilação e a superfície da pele humana podem amenizar a sensação de calor percebida pelos indivíduos (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014). No entanto, o software utilizado não foi capaz de interpretar esse cenário.

4 Conclusões

O uso das técnicas de estatística multivariada da análise de componentes principais e de clusterização hierárquica possibilitou a definição de três zonas com características climáticas e particularidades construtivas distintas em Moçambique. Para a definição dessas zonas, somente os dois primeiros componentes principais apresentaram relevância prática, a partir dos quais demonstrou-se a importância das variáveis climáticas e bioclimáticas relacionadas à temperatura como as de maior variabilidade espacial para o zoneamento desse país, além da pressão de vapor, observada para todos os meses.

Constatou-se ainda que as três zonas definidas apresentam condições climáticas que evidenciam uma alta demanda por estratégias construtivas de condicionamento térmico para que se obtenha uma maior eficiência energética das edificações. De maneira geral, a adoção das estratégias de ventilação natural diurna e a inércia térmica com aquecimento solar caracterizam-se como as de maior potencial para o aumento das horas anuais de conforto para o território moçambicano. Percentuais anuais pouco expressivos de demanda por resfriamento e aquecimento artificial demonstram que a utilização de estratégias passivas se constitui com uma alternativa eficaz para a promoção do conforto térmico. De forma complementar, o uso de sombreamento é recomendado para todas as zonas climáticas estabelecidas.

O estudo comparativo acerca do conforto térmico simulado para duas tipologias habitacionais da cidade Ilha de Moçambique, em Moçambique, permitiu constatar que a tipologia contemporânea apresenta níveis de conforto térmico mais expressivos em relação à vernacular, apesar de os resultados serem similares.

Apesar de o uso da ventilação natural diurna ser recomendado a partir do zoneamento climático proposto, os resultados obtidos a partir das simulações termoeenergéticas evidenciam que tal estratégia de condicionamento térmico pode elevar os níveis de desconforto por calor quando as temperaturas externas estão acentuadas. Contudo, sabe-se que os efeitos da ventilação são positivos na maior parte do ano. Nos períodos quentes, ainda que o fluxo de ar quente possa contribuir para o aumento das temperaturas internas, as trocas térmicas existentes com a pele humana amenizam a sensação de calor percebida pelo ser humano, sendo esta uma limitação do software utilizado para interpretar o conforto térmico.

Nos horários de temperaturas mais baixas, entretanto, há uma tendência ao desconforto por frio ser superior na tipologia vernacular devido à ventilação mais intensa proporcionada pelos vãos da sua cobertura, embora o seu valor final de desconforto por frio anual ainda não seja tão demasiadamente. Somado a isso, ressalta-se os impactos da maior inércia térmica na tipologia contemporânea, que de fato contribuem para o seu menor desconforto por frio ao longo do ano. No entanto, é válido ressaltar que a sensação de conforto e desconforto é subjetiva e está relacionada a outros parâmetros não analisados nesta pesquisa, em virtude das limitações impostas pela ausência de dados mais aprofundados sobre as condições de moradia. Pode-se destacar como fatores limitantes a falta de informações sobre a implantação da habitação analisada no seu

terreno, os materiais comumente empregados na tipologia contemporânea local, bem como a pouca quantidade de relatos descritivos dos moradores da Ilha de Moçambique.

Apesar disso, esta pesquisa demonstra como a adoção das estratégias bioclimáticas e a consideração das condicionantes locais contribui para a melhoria dos níveis de conforto térmico, evidentes a partir das elevadas porcentagens de conforto obtidas para este estudo. De maneira análoga, este estudo possibilita ampliar os conhecimentos acerca da realidade habitacional do país, tendo em vista os poucos investimentos locais direcionados à investigação da temática em questão. Desse modo, os resultados aqui apresentados possuem considerável contribuição para o campo da arquitetura em Moçambique, evidenciando os parâmetros construtivos que exercem influência no conforto térmico ao se projetar habitações nesse país.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com concessão de bolsa de iniciação científica.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro.
- AFLAKI, Ardalan; MAHYUDDIN, Norhayati; AL-CHEIKH MAHMOUD, Zakaria; BAHARUM, Mohamad Rizal. **A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates**. Energy and BuildingsElsevier Ltd, 2015. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.04.033.
- ARAÚJO, M. L. T.; BARBOSA, G. L.; BATISTA, J. O. Desempenho térmico de residência unifamiliar PMCMV em diferentes cidades alagoanas. Em: (Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído 14, Org.) 2017, **Anais [...]**. [s.l: s.n.] p. 946–955.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta.
- ASSUNÇÃO, Helena Santos; AIÚBA, Aiúba Ali. Cupulanas e Macuti - Camadas de tecidos, folhas e histórias. **Revista Cadernos de Campos**, [S. l.], n. 23, p. 101–124, 2017. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/>.
- BAI, Lujian; YANG, Liu; SONG, Bing; LIU, Na. A new approach to develop a climate classification for building energy efficiency addressing Chinese climate characteristics. **Energy**, [S. l.], v. 195, p. 116982, 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.116982. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116982>.
- BARBIRATO, Gianna Melo; SOUZA, Léa Cristina Lucas; TORRES, Simone Carnaúba. **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: edUFAL, 2007.

- BENEVIDES, Mariana Navarro; TEIXEIRA, David Bruno de Sousa; CARLO, Joyce Correna. Climatic zoning for energy efficiency applications in buildings based on multivariate statistics: The case of the Brazilian semiarid region. **Frontiers of Architectural Research**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 161–177, 2022. DOI: 10.1016/j.foar.2021.08.003.
- BOLAR, K. **STAT: Interactive Document for Working with Basic Statistical Analysis. R package version 2.3.**, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/STAT/index.html>.
- CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set. **J. Stat. Softw.** **61**, [S. l.], 2014. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06>.
- CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. NbClust: Determining the Best Number of Clusters in a Data Set. R package version 3.0., 2015. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/NbClust/index.html>.
- CHEN, Xi; YANG, Hongxing. Integrated energy performance optimization of a passively designed high-rise residential building in different climatic zones of China. **Applied Energy**, [S. l.], v. 215, n. January, p. 145–158, 2018. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.01.099. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.099>.
- CHEN, Yujiao; TONG, Zheming; MALKAWI, Ali. Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations. **Building and Environment**, [S. l.], v. 122, p. 386–396, 2017. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.06.026. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.026>.
- FICK, Stephen E.; HIJMAN, Robert J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017. DOI: 10.1002/joc.5086.
- GALILI, T. dendextend: **Extending “dendrogram” Functionality in R. R package version 1.14.**, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/dendextend/index.html>.
- GELCER, Eduardo *et al.* Influence of El Niño–Southern oscillation (ENSO) on agroclimatic zoning for tomato in Mozambique. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 248, p. 316–328, 2018. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.10.002.
- GIVONI, Baruch. **Comfort, climate analysis and building design guidelines** *Energy and Buildings*. [s.l.: s.n.].
- HAIR, Jr. Joseph F.; BLACK, William C.; SANT’ANNA, Adonai Schlup. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HAO, Ziyang; ZHANG, Xiaojing; XIE, Jingchao; WANG, Jianping; LIU, Jiaping. Building climate zones of major marine islands in China defined using two-stage zoning method and clustering analysis. **Frontiers of Architectural Research**, [S. l.], n. xxxx, 2020. DOI: 10.1016/j.foar.2020.07.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.07.004>.

- HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. **FactoMineR: an R package for multivariate analysis. R package version 2.3.**, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/index.html>.
- ICOMOS – CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS E SÍTIOS; ICCROM – CENTRO INTERNACIONAL DE ESTUDOS PARA A CONSERVAÇÃO E RESTAURO DE BENS CULTURAIS. **Missão de monitoramento reactivo para Ilha de moçambique (moçambique) (c 599) 7 – 12 Março 2018.** Moçambique.
- KASHYAP, Shubham; KUMAR GABA, Vivek; KUMAR TIWARI, Anil. Enhancing Passive Cooling and Natural Ventilation for Houses of Various Climatic Zones of India. Em: 2019 IEEE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER AND ENERGY APPLICATIONS, ICPEA 2019 2019, **Anais [...]**: IEEE, 2019. p. 183–187. DOI: 10.1109/ICPEA.2019.8818531.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package version 1.0.5.**, 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=factoextra>.
- KASSAMBARA, Alboukadel. Multivariate Analysis II: Practical Guide to Principal Component Methods in R. 1. ed. [s.l.] : Sthda, 2017.
- KHAMBADKONE, Naveen Kishore; JAIN, Rekha. A bioclimatic analysis tool for investigation of the potential of passive cooling and heating strategies in a composite Indian climate. **Building and Environment**, [S. l.], v. 123, p. 469–493, 2017. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.07.023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.023>.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Eletrobrás/Procel, 2014.
- MARGHIDAN, Carolina Pereira; AALST, Maarten Van; BLANFORD, Justine; GUIGMA, Kiswendsida; PINTO, Izidine; MAURE, Genito; MARRUFO, Tatiana. Heatwaves in Mozambique 1983–2016: Characteristics, trends and city-level summaries using high-resolution CHIRTS-daily. **Weather and Climate Extremes**, [S. l.], v. 40, p. 100565, 2023. DOI: 10.1016/j.wace.2023.100565.
- NIKOLIĆ, Danijela; SKERLIĆ, Jasmina; CVETKOVIĆ, Dragan; RADULOVIĆ, Jasna; JOVANOVIĆ, Saša. Basic principles of passive solar heating. Em: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY OF LIFE 2018, Kopaonik. **Anais [...]**. Kopaonik p. 28–30.
- OLIVEIRA, Camila Cordeiro De; SAKIYAMA, Nayara Rodrigues Marques; MIRANDA, Layane Ventura. Desempenho térmico de uma edificação unifamiliar naturalmente ventilada para o clima de Teófilo Otonio-MG. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S. l.], v. 13, n. 2, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i2.42940.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, p. 1633–1644, 2007. a.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. **Hydrology and Earth System Sciences Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification** Hydrol. Earth Syst. Sci. [s.l.: s.n.]. Disponível em: www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/.

- PILA, Elton. INTER-RELIGIOSIDADE NA ILHA DE MOÇAMBIQUE – EDUCAR PELO EXEMPLO. **Índico - Revista de bordo da lam**, [S. l.], 2022.
- PRAENE, Jean Philippe; MALET-DAMOUR, Bruno; RADANIELINA, Mamy Harimisa; FONTAINE, Ludovic; RIVIÈRE, Garry. GIS-based approach to identify climatic zoning: A hierarchical clustering on principal component analysis. **Building and Environment**, [S. l.], v. 164, 2019. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106330.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena, Austria, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.
- SAKIYAMA, N. R. M.; CARLO, J. C.; FRICK, J.; GARRECHT, H. Perspectives of naturally ventilated buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 130, p. 1–18, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109933.
- SILVA, Maria Cardeira Da. **Castelos a Bombordo: Etnografias de Patrimónios Africanos e Memórias Portuguesas**. Lisboa : Etnográfica Press, 2013. DOI: 10.4000/books.etnograficapress.313.
- SILVA JUNIOR, Marcelo Henriques Da; ROSENDO, Eliamin Eldan Queiroz; FILGUEIRA, Hamilcar José Almeida; SARMENTO, Francisco Jácome; SOUZA, Bartolomeu Israel De. Classificação climática de Thornthwaite: uma proposta de adaptação para a região semiárida brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. 1760–1774, 2017. DOI: 10.26848/rbgf.v10.6.p1760-1774.
- UN-HABITAT. **Moçambique - Housing Profile Report**. Nairobi. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-05/housing_profile_mozambique_pt.pdf.
- WALSH, Angélica; CÓSTOLA, Daniel; LABAKI, Lucila C. Comparison of three climatic zoning methodologies for building energy efficiency applications. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 146, p. 111–121, 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.044.
- WALSH, Angélica; CÓSTOLA, Daniel; LABAKI, Lucila Chebel. Validation of the climatic zoning defined by ASHRAE standard 169-2013. **Energy Policy**, [S. l.], v. 135, n. October, 2019. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111016.
- XIONG, Jie; YAO, Runming; GRIMMOND, Sue; ZHANG, Qiulei; LI, Baizhan. A hierarchical climatic zoning method for energy efficient building design applied in the region with diverse climate characteristics. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 186, p. 355–367, 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.01.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.005>.
- ZHENG, Xiaohong; SHI, Zhenni; XUAN, Zheqi; QIAN, Hua. Handbook of Energy Systems in Green Buildings. Em: R. WANG; ZHAI, X. (org.). **Handbook of Energy Systems in Green Buildings**. Germany: Springer Nature, 2018. p. 1227–1270. DOI: 10.1007/978-3-662-49120-1_8.