

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura
Pós-graduação em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos

Priscila Zampier

**O USO DO ARCHICAD NA AUTOMATIZAÇÃO DE TABELAS PARA CHECAGEM
DOS LIMITES DE APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R À PARTIR
DA MODELAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Belo Horizonte
2024

Priscila Zampier

**O USO DO ARCHICAD NA AUTOMATIZAÇÃO DE TABELAS PARA CHECAGEM
DOS LIMITES DE APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R À PARTIR
DA MODELAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Orientador: Renata Maria Abrantes
Baracho Porto

Belo Horizonte

2024



ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DO TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA PRISCILA ZAMPIER COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS.

Às 14:30 horas do dia 20 de setembro de 2024, reuniu-se na sala 200 da Escola de Arquitetura da UFMG, a Comissão Examinadora composta pela Profa. Dra. Renata Maria Abrantes Baracho, Orientadora-Presidente, pelo Prof. Mozart Joaquim Magalhães Vidigal, membro titular externo, pelo Prof. João Vitor Souza Teixeira, Profa. Roberta Vieira, Prof. Marcelo Franco Porto designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, para avaliação da monografia intitulada **“O uso do Archicad na automatização de tabelas para checagem dos limites de aplicação do método simplificado da INI-R à partir da modelagem de uma edificação de referência”** de autoria da aluna *Priscila Zampier* como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso, obtendo a nota 95,A/Conceito e recomenda que seja encaminhado 01 (um) exemplar digital para o Repositório da UFMG.

Belo Horizonte, 20 de setembro de 2024

Profa. Dra. Renata Maria Abrantes Baracho Porto
Orientadora-Presidente

Profa. Roberta Vieira Gonçalves de Souza
Membro titular

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELO FRANCO PORTO
Data: 30/09/2024 14:19:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Marcelo Franco Porto
Membro titular



**Prof. João Vitor Souza Teixeira
Vidigal**
Membro titular Externo



Prof. Mozart Joaquim Magalhães
Membro titular Externo

À Mãe Terra, fonte de vida e inspiração, dedico este trabalho. Que cada passo dado em direção à sustentabilidade seja um tributo ao seu equilíbrio e beleza. Que possamos, juntos, construir um futuro melhor, onde a harmonia entre o homem e a natureza prevaleça.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por toda força e capacidade para chegar onde cheguei profissionalmente e intelectualmente.

À minha família, meu porto seguro, que sempre esteve ao meu lado com apoio incondicional. À minha mãe, meu pai e meu irmão, que me deram amor, suporte e incentivo em cada etapa dessa jornada. Vocês são a base de tudo que conquistei.

Às minhas amigas do escritório, Raphaela e Daniele, que tornaram os dias de trabalho mais leves e agradáveis. Obrigada pelo apoio diário, pelos desabafos e pela parceria constante. E também à Carolina pelo suporte e divertimento. Vocês são fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus sócios diretores da ACTA, Gaston, Fernanda e Tatiana, que me proporcionaram aprendizado e oportunidades de crescimento. Agradeço pela confiança depositada em mim e pelos ensinamentos que levarei para toda a vida.

Às minhas amigas da vida, Victória, Ana e Gabriella, por sempre estarem presentes, independentemente da distância ou do tempo. À Juliana, amiga que a UFMG me deu e Roma TRE fortaleceu. Vocês sempre vão estar comigo.

Aos orientadores, Renata, Marcelo e Mozart e à UFMG, pelo conhecimento de excelência que me foi proporcionado desde minha entrada na graduação em 2011. É uma honra estar de volta a esta instituição, certa de que este é apenas mais um “até logo” em nossa jornada conjunta.

Aos colegas de classe, que tornaram esta experiência ainda mais enriquecedora. Em especial, agradeço à Thaianne, por sua amizade e entendimento mútuo, que levarei para a vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento. Cada um de vocês tem um lugar especial nesta conquista.

**"Aqueles que olham para as leis da Natureza como um apoio
para os seus novos trabalhos colaboram com o Criador."**

Antoni Gaudí

RESUMO

O uso eficiente de energia em edificações residenciais é fundamental para reduzir o consumo, que representa 27,5% da oferta interna de energia elétrica. A iluminação e a climatização são os maiores responsáveis por essa demanda, e projetar edifícios que aproveitem estratégias naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento pode resultar em economias significativas. Para incentivar a eficiência energética, o Brasil conta com regulamentações, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que através da Instrução Normativa do Inmetro para Edifícios Residenciais (INI-R) da instruções para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Entretanto, o processo de projeto e a análise de desempenho energético frequentemente não estão integrados. Simulações de consumo energético são realizadas tardiamente, após a definição das decisões arquitetônicas. O uso do *Building Information Modeling* (BIM) tem potencial para alterar essa dinâmica, permitindo avaliações de desempenho energético nas fases iniciais do projeto, otimizando o desenvolvimento de soluções sustentáveis. O estudo explora a inserção de parâmetros e a criação de tabelas automatizadas no Archicad para verificar a conformidade dos limites de aplicação do método simplificado da INI-R durante o processo de projeto. A análise inclui a modelagem de um modelo de referência e a criação de um *template* de tabelas e propriedades pré-configuradas. Parâmetros térmicos foram inseridos manualmente e salvos em uma biblioteca, enquanto parâmetros geométricos foram extraídos automaticamente. Variáveis angulares foram inseridas manualmente devido a dificuldades em criar expressões vinculadas aos elementos analisados. O trabalho sugere futuras verificações paramétricas dos ângulos e a avaliação completa da INI-R. Este artigo contribui para a automação de regulamentos de rotulagem em edifícios e apoia equipes de projeto na exploração de alternativas de *design*.

Palavras-chave: *Building Information Modeling* (BIM), INI-R, Automatização da checagem, Eficiência Energética, Configuração de parâmetros, Cidades Inteligentes.

ABSTRACT

Efficient energy use in residential buildings is crucial for reducing consumption, which accounts for 27.5% of the national internal electricity supply. Lighting and climate control are the primary contributors to this demand, and designing buildings that utilize natural lighting, heating, and cooling strategies can result in significant savings. To promote energy efficiency, Brazil has regulations such as the National Program for Electrical Energy Conservation, which, through the Inmetro Normative Instruction for Residential Buildings (INI-R), provides guidelines for obtaining the National Energy Conservation Label. However, the design process and energy performance analysis are often not integrated, with energy consumption simulations conducted late, after architectural decisions have been made. Building Information Modeling (BIM) has the potential to change this dynamic, enabling energy performance evaluations in the early stages of design, optimizing the development of sustainable solutions. This study explores the insertion of parameters and the creation of automated tables in Archicad to verify compliance with the simplified INI-R method during the design process. The analysis includes modeling a reference model and creating a template of pre-configured tables and properties. Thermal parameters were manually entered and saved in a library, while geometric parameters were automatically extracted. Angular variables were manually entered due to difficulties in creating expressions linked to the analyzed elements. The work suggests future parametric verifications of angles and a comprehensive evaluation of the INI-R. This article contributes to the automation of labeling regulations in buildings and supports design teams in exploring design alternatives.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), INI-R, Automated Checking, Energy Efficiency, Parameter Configuration, Smart Cities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico de Participação setorial no consumo de eletricidade	13
Figura 2 - Framework.....	27
Figura 3 - Tabela 6.1 - Limites de Aplicação do Método simplificado	28
Figura 4 - Propriedades dos Elementos	30
Figura 5 - Configuração de expressões para valores de dimensões	30
Figura 6 – Configuração de expressões para valores de áreas	31
Figura 7 - Configuração de expressões para valores de pé direito.....	31
Figura 8 - Configuração dos valores angulares nas definições de parede	32
Figura 9 - Propriedades Térmicas de Paredes e Telhado	33
Figura 10 - Composição de Parede Cerâmica 9cm.....	33
Figura 11 - Definições da Parede.....	34
Figura 12 - Favoritos de Paredes.....	35
Figura 13 - Configuração de composições de cobertura	35
Figura 14 - Definições de Cobertura	36
Figura 15 - Favoritos de Telhados	36
Figura 17 - Propriedades de Limites de Aplicação	37
Figura 18 - Expressões lógicas das propriedades.....	38
Figura 19 - Definições de Esquema dos mapas de Limites de aplicação	39
Tabela 1 - Tabelas de atendimento dos limites de aplicação do método.....	40
Tabela 2 - Teste de funcionalidade da tabela	41
Tabela 3 - Síntese dos dados	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AECO - Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações

APPs - Áreas de Permanência Prolongada

BIM - *Building Information Modeling* (Modelagem da Informação da Construção)

CAD - *Computer Aided Design*

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

DPE - Demanda de Projeto Externa

DPI - Demanda de Projeto Interna

INI-C - Instrução Normativa do Inmetro para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicas

INI-R - Instrução Normativa do Inmetro para Edifícios Residenciais

LOD - *Level of Development* (Nível de Desenvolvimento)

PHFT - Percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RTQ-C - Regulamento Técnico de Qualidade para nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R - Regulamento Técnico de Qualidade para nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

UHs - Unidade Habitacionais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Eficiência Energética em Edificações e o Método INI-R.....	12
2.2. Modelagem de Informação da Construção (BIM) e software Archicad	19
2.3. Trabalhos Correlatos	23
3. MÉTODO.....	26
3.1. Configuração das propriedades dos elementos.....	29
3.2. Criação da Biblioteca de favoritos	32
3.3. Configuração dos dados de limites de aplicação do método	37
3.4. Configuração dos mapas (tabelas) de checagem	38
4. RESULTADOS.....	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6. BIBLIOGRAFIA.....	44

1. INTRODUÇÃO

No cenário nacional, as edificações residenciais demandam 27,5% da oferta interna de energia elétrica, um dado do Balanço Energético Nacional de 2024, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024). Dessa demanda, os dispositivos que mais consomem energia elétrica em edificações, independentemente do seu tipo, estão relacionados com iluminação e climatização (SOARES et al., 2017). Dentro desse panorama, economias significativas de energia podem ser alcançadas por edifícios adequadamente projetados e operados. Segundo Lamberts et al (2013), um projeto arquitetônico adequado ao clima e consciente das vantagens da utilização de estratégias naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes tem um grande potencial em reduzir a demanda de energia esperada para os próximos anos.

Diversas regulamentações estatais foram estabelecidas com o intuito de promover e difundir a implementação de conceitos relacionados à eficiência energética em edifícios. Um exemplo é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado pelo Ministério de Minas e Energia em 1985, instituindo em 2003 o Procel Edifica. Em 2022 foi estabelecida a Instrução Normativa do Inmetro para Edifícios Residenciais (INI-R) como substituição ao antigo método de classificação denominado Requisitos Técnicos de Qualidade de Edificações Residenciais (RTQ-R). A INI-R teve sua última atualização pela portaria nº 309, de setembro de 2022, onde a partir 1 de novembro de 2024, a emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações comerciais, de serviços e públicas e residenciais deverá ser realizada com base nos requisitos aprovados pela portaria em questão.

Na prática, observa-se uma falta de integração entre o processo de projeto e a análise de desempenho, com simulações energéticas sendo realizadas somente após as decisões arquitetônicas e fundamentais já terem sido estabelecidas. Apesar do advento do *Building Information Modeling* (BIM) como uma ferramenta crucial de suporte à tomada de decisão, especialmente nas fases iniciais do projeto e de seu papel na promoção de avanços no desenvolvimento e análise de edifícios sustentáveis, ainda há uma carência de ferramentas e fluxos de trabalho bem estruturados no processo de projeto desses edifícios. Essa lacuna impede a obtenção de um *feedback* instantâneo sobre o desempenho dos edifícios durante

o desenvolvimento do projeto.

Este panorama reforça a importância de investigar o processo de adoção do BIM como facilitador do processo de avaliação energética ainda nas fases iniciais de projeto. O BIM surge como opção para uma nova modelagem que tem como objetivo reunir os diversos projetos inerentes a uma construção em uma mesma plataforma (SOUZA, AMORIM E LYRIO, 2009). Além disso, possui componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam, conforme são necessários para análises e processos de trabalho, por exemplo, quantificação, especificação e análise energética. (EASTMAN et al, 2011). Ainda segundo Eastman (2011) vincular o modelo da construção a ferramentas de análise energética permite a avaliação do uso de energia durante fases mais preliminares do projeto. Por meio da modelagem paramétrica, é possível realizar simulações e avaliações de diferentes soluções de projeto desde a fase de concepção. Isso aumenta significativamente a probabilidade de as soluções desenvolvidas atenderem facilmente aos critérios estabelecidos para a sustentabilidade.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é investigar a checagem automatizada dos limites de aplicação do método simplificado da INI-R, através da modelagem de um modelo de referência no *software* Archicad.

Como objetivos específicos, o estudo busca realizar uma revisão aprofundada da literatura sobre o uso do BIM na avaliação de desempenho energético, com foco no método INI-R, além de investigar o estado da arte em trabalhos que conectam ambos os temas. Outro objetivo é examinar como os dados da INI-R podem ser incorporados diretamente na interface do Archicad, criando fluxos de trabalho eficientes que proporcionem uma análise energética automática e integrada. Busca-se assim posteriormente delimitar quais parâmetros de entrada são atendidos pela ferramenta e identificar possíveis limitações na avaliação.

3. JUSTIFICATIVA

A pesquisa se justifica pela lacuna existente entre o processo de projeto arquitetônico e a

análise de desempenho energético, especialmente no que diz respeito à integração de regulamentações como a INI-R. Embora o uso do BIM já seja reconhecido por sua capacidade de otimizar projetos e promover práticas sustentáveis, a aplicação de *workflows* bem estruturados que incorporem diretamente os requisitos da legislação brasileira ainda é limitada. A falta de ferramentas automatizadas e fluxos de trabalho integrados dificulta o recebimento de *feedback* imediato sobre o desempenho energético nas fases iniciais do projeto, o que poderia resultar em edifícios mais eficientes e alinhados às normas de eficiência energética.

Essa pesquisa, portanto, visa preencher essa lacuna ao propor soluções inovadoras que facilitem a integração entre o BIM e a INI-R, permitindo que arquitetos e engenheiros realizem avaliações de eficiência energética de maneira automatizada e contínua ao longo do processo de projeto. Ao desenvolver um *template* personalizado no Archicad, espera-se não apenas promover a adoção dessas práticas no mercado brasileiro, mas também contribuir para a sustentabilidade no setor da construção civil.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

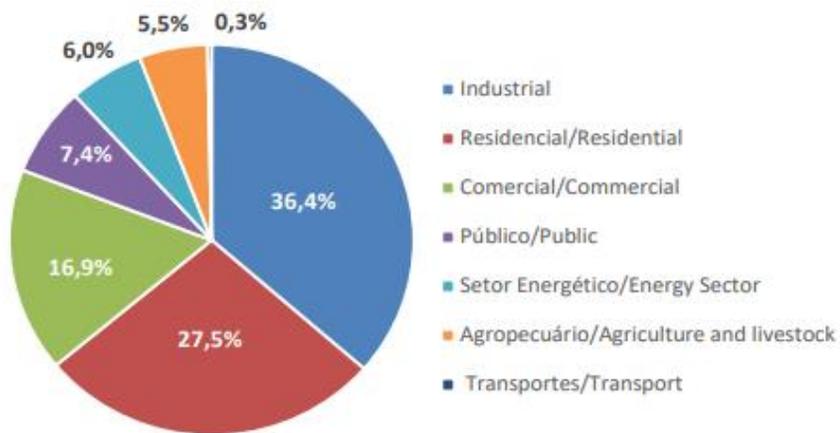
O referencial teórico deste trabalho abrange os conceitos de Eficiência Energética em Edificações, incluindo o histórico e a implementação de etiquetas de avaliação no Brasil, com ênfase na aplicação da INI-R para a obtenção da ENCE e na legislação pertinente. Além disso, apresenta um panorama geral do BIM, sua conceituação, uso e possibilidades, com foco no *software* Archicad. Por fim, são discutidos dois trabalhos correlatos que analisam o uso do BIM na avaliação das instruções normativas do Inmetro.

4.1. Eficiência Energética em Edificações

As edificações representam uma parte significativa do consumo energético mundial, atualmente, os edifícios são responsáveis por 37% das emissões globais de dióxido de carbono (*CO2*) e 36% do consumo global de energia final. Segundo o Balanço Energético Nacional, com base no ano de 2023, o consumo de energia chega a 27,5% em edifícios residenciais, 24,3% não residenciais (comércios e edifícios públicos) e 36,4% da indústria conforme demonstrado na figura 1 (EPE, 2024). Nas últimas duas décadas, cientistas de todo o mundo têm trabalhado em soluções de construções e edifícios existentes que sejam

mais eficientes, buscando reduzir o consumo de energia e minimizar os impactos ambientais associados à construção e operação de edificações.

Figura 1 – Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024)

O consumo de energia elétrica em residências tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, especialmente devido ao uso de aparelhos de ar-condicionado. Entre 2005 e 2017, a demanda por energia elétrica desses equipamentos cresceu 9,0% (EPE, 2019), e essa tendência deve se intensificar com o aumento do poder aquisitivo da população, o aquecimento global e a falta de adequação das edificações ao clima local. Isso ressalta a importância de projetos arquitetônicos mais eficientes, que integrem estratégias como o uso de iluminação natural e soluções passivas de aquecimento e resfriamento, capazes de reduzir a demanda energética. Além disso, a adoção de fontes alternativas, como a energia solar e eólica, é altamente recomendada.

A racionalização do uso de energia está diretamente vinculada à adaptação da arquitetura ao clima, com o objetivo de reduzir ou até evitar o uso de sistemas artificiais de climatização, como o ar-condicionado e aquecedores. O emprego de controles térmicos naturais ajuda a minimizar o calor interno dos edifícios, especialmente em climas quentes, sem necessariamente aumentar os custos de construção. Pelo contrário, essa abordagem pode reduzir custos operacionais e de manutenção, ao mesmo tempo em que proporciona conforto térmico aos ocupantes. Adaptar a arquitetura ao clima significa criar ambientes

confortáveis, mesmo em condições climáticas extremas, como calor ou frio excessivo.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira, 2013 a eficiência energética na arquitetura:

[...] pode ser entendida como um atributo inerente à edificação, evidenciando seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

A eficiência energética das edificações está, portanto, intimamente ligada à adequação ao clima local. Ajustar os projetos arquitetônicos para reduzir a dependência de sistemas artificiais de aquecimento e resfriamento pode minimizar o consumo de energia e, ao mesmo tempo, proporcionar conforto térmico. Soluções como o uso de controles térmicos naturais reduzem o calor excessivo em climas quentes, melhorando o desempenho energético sem aumentar os custos de construção e, ainda, diminuindo as despesas de operação e manutenção (FROTA, 2016).

Outros fatores essenciais incluem o paisagismo, a orientação da edificação e a tipologia arquitetônica, que devem ser adequados ao clima. Dispositivos de sombreamento, como brises e toldos, são eficazes para bloquear a radiação solar excessiva no verão e permitir o aquecimento passivo no inverno, equilibrando o conforto térmico durante o ano todo. Além disso, o uso eficiente de sistemas de iluminação natural é crucial. Edifícios bem iluminados de forma natural podem reduzir o consumo de energia elétrica, mas isso requer o uso de controles automáticos, como sensores de presença e de luz, para garantir o aproveitamento eficiente da luz natural sem desperdícios. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2013)

A integração de aspectos térmicos, acústicos e visuais é um desafio no projeto arquitetônico, especialmente no que se refere às aberturas, como janelas, que influenciam a iluminação, a ventilação, o isolamento acústico e o controle térmico. Para que um projeto seja bem-sucedido, é necessária a colaboração de diferentes profissionais e um profundo conhecimento das variáveis que afetam a eficiência energética, garantindo que as edificações ofereçam conforto ambiental aos seus ocupantes, além de otimizar o uso de recursos naturais e energia.

Algumas normas específicas, como a ABNT NBR15215 e a NBR15220, regulam o

desempenho térmico e a iluminação natural nas edificações. Essas normas orientam arquitetos no cálculo da disponibilidade de luz natural e no desempenho térmico das construções, fornecendo subsídios para a criação de projetos mais eficientes. A escolha correta dos materiais de construção, levando em consideração suas propriedades térmicas e adequação ao clima local, é fundamental para melhorar o conforto ambiental interno e reduzir a necessidade de sistemas artificiais de climatização. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2013)

4.2. Etiquetas de avaliação energética em edificações no Brasil

No Brasil, as pesquisas para a implantação de etiquetas de avaliação da eficiência energética das edificações surgiram por volta de 1990, mas com baixos incentivos e em sua maioria constituindo de avaliações voluntárias, onde poucas edificações passam pelo processo de classificação da sua eficiência (FOSSATI et. al, 2016). A primeira lei referente à eficiência energética surgiu após um racionamento de energia, a Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e foi regulamentada pelo Decreto no 4.059 de 19 de dezembro de 2001, onde estabeleceu o dever de serem criados “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas” (BRASIL, 2001). Indicou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país.

Sendo assim, a partir do decreto, foi criado um “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” para propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica (BRASIL, 2001). Nesse sentido, o PROCEL lançou, no ano de 2003, o “Procel – Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações”, dividido em seis vertentes de ação, o programa visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia de edificações no Brasil. As vertentes são:

1. Arquitetura Bioclimática;
2. Indicadores Referenciais para Edificações;
3. Certificação de Materiais e Equipamentos;

4. Regulamentação /Legislação;
5. Remoção de Barreiras à Conservação de Energia Elétrica;
6. e Educação. (BRASIL, 2001).

Nesse contexto, diversas normas também foram elaboradas considerando o impacto nos custos de construção de edificações perante a alteração do padrão construtivo, no intuito de avaliá-los por meio do benefício que estas medidas construtivas mais eficientes, do ponto de vista energético, proporcionam ao reduzir o custo da energia consumida. Em 2009, foi oficialmente lançada no Brasil a etiqueta de eficiência energética, apresentando o Regulamento Técnico de Qualidade para nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), e após dois anos foi divulgado o Regulamento Técnico de Qualidade para nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), (BRASIL, 2012). Tais regulamentos dão diretrizes para a obtenção da ENCE onde a edificação é avaliada em uma escala de eficiência que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

As limitações de aplicabilidade apresentadas pelo RTQ-R motivaram sua atualização e consequente surgimento da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), que se trata de um método mais atual que traz como proposta corrigir as falhas verificadas no seu antecessor. O INI-R busca definir os parâmetros e procedimentos para avaliar a eficiência energética de casas individuais, apartamentos em prédios residenciais, partes residenciais de edifícios com uso misto e espaços compartilhados em prédios residenciais multifamiliares ou condomínios, seja durante a fase de planejamento ou após a construção, com o objetivo de atribuir classificações de eficiência energética às construções, qual seja A para mais eficiente e D para edificações menos eficientes.

4.3. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)

A simulação de edifícios conforme o método da INI-R oferece vantagens em comparação com o método do RTQ-R, pois no método anterior, era necessário que o analista criasse modelos para quatro edifícios de referência, cada um correspondendo a um nível diferente de eficiência energética (de "A" a "D"), além do edifício real que estava sendo avaliado. Por

outro lado, no método da INI-R, é suficiente modelar apenas o edifício real em questão e um único edifício de referência, que é classificado como Classe "C" em termos de eficiência energética. Essa simplificação na modelagem resulta em uma economia de tempo e esforço para o analista. Outra vantagem oferecida pela INI-R é a disponibilidade de tabelas no Anexo A, que fornecem uma variedade de parâmetros construtivos a serem adotados nos modelos do edifício real e do edifício de referência. Diferentemente do RTQ-R, onde esses parâmetros não eram expressos diretamente e precisavam ser calculados indiretamente por meio de equações prescritivas. Com as tabelas da INI-R, a aplicação prática desses parâmetros é facilitada, eliminando a necessidade de cálculos adicionais. (PBE EDIFICA)

Para edificações residenciais, a estimativa de consumo de energia pode ser feita utilizando três métodos: prescritivo, simplificado e simulação. No método prescritivo, a classificação da envoltória é obtida ao comparar as características geométricas das Áreas de Permanência Prolongada (APPs) e as propriedades térmicas dos sistemas construtivos com os valores de referência indicados no método simplificado da ABNT NBR 15575:2021, partes 4 e 5, nas seções 11. De acordo com o procedimento simplificado, o desempenho térmico mínimo corresponde à classe C de eficiência energética da envoltória. Para alcançar uma classificação superior (classes B ou A), a avaliação deve ser feita pelo método simplificado ou de simulação. Nos métodos simplificado e de simulação, a classificação da envoltória baseia-se no percentual de redução do consumo de energia primária, comparando o consumo da edificação no modelo real com o de uma edificação com características de referência, que equivale à classe C. Independentemente do método escolhido para avaliar a envoltória, o sistema de aquecimento de água será analisado pelo método simplificado, utilizando como critério o percentual de redução no consumo de energia do sistema real em comparação com uma referência. No caso das áreas de uso comum, a estimativa do consumo de energia também deve ser feita pelo método simplificado. A classificação resulta da comparação entre o consumo de energia primária dessas áreas na condição real e em uma condição de referência, medindo-se o percentual de redução no consumo. (PBE EDIFICA)

A INI-R está estruturada em um texto principal e sete anexos, designados de A a G. No texto principal, são descritas as condições para a aplicação dos métodos prescritivo e simplificado da envoltória, as exigências de elegibilidade para a obtenção da classificação

A, os procedimentos para determinar a classificação de eficiência energética das unidades habitacionais (UHs) e dos sistemas individuais. Ademais aborda os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética das áreas comuns em edificações multifamiliares ou condomínios residenciais. (BRASIL, 2022)

O Anexo A apresenta os procedimentos específicos para determinar a eficiência energética da envoltória utilizando o método prescritivo. Já o Anexo B trata dos parâmetros do método simplificado, subdivididos em três áreas: envoltória (B.I), condicionamento de ar (B.II) e aquecimento de água (B.III). Na avaliação da envoltória pelo método simplificado, são considerados parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1, como o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), as temperaturas operativas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín), além das cargas térmicas de aquecimento, refrigeração e total. O consumo de energia para refrigeração e aquecimento da UH é determinado pelo sistema de condicionamento de ar, e o consumo de água quente é avaliado no sistema de aquecimento de água.

O Anexo C define os procedimentos para calcular os percentuais de redução de carga térmica e de consumo de energia, aplicando o método de simulação termoenergética, além de apresentar os procedimentos para determinar o PHFT, Tomáx e Tomín, que são indicadores de desempenho térmico. Estes indicadores estão de acordo com a ABNT NBR 15575-1, que incorpora a simulação computacional descrita no item 8.2.1 da INI-R.

No Anexo D, são definidos os procedimentos para avaliar o potencial de geração de energia renovável local, bem como as condições para classificar as Edificações de Energia Quase Zero (NZEBS) e Edificações de Energia Positiva (EEP). O Anexo E estabelece os critérios para determinar o percentual de aumento ou redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) da edificação. O Anexo F trata dos critérios para avaliar a redução anual no consumo de água potável, promovendo o uso racional. Por fim, o Anexo G apresenta os critérios para a avaliação das áreas comuns de edificações multifamiliares ou condomínios residenciais. (BRASIL, 2022)

O método simplificado, apresentado no Anexo B.I, abrange diversas soluções arquitetônicas comuns em edificações residenciais, mas sua aplicação é limitada às construções cujos parâmetros construtivos estão dentro dos intervalos especificados na Tabela 6.1. da portaria

nº 309, de setembro de 2022. Para edificações fora desses limites, a avaliação deve ser realizada pelo método de simulação, conforme descrito no Anexo C. Os limites de aplicação do método incluem a determinação da carga térmica anual de refrigeração ($C_{gTRreal}$) e de aquecimento ($C_{gTAreal}$) para o modelo real, assim como os parâmetros PHFT, Tomáx e Tomín, todos relacionados às propriedades térmicas e geométricas da envoltória listadas na Tabela 6.1. As propriedades térmicas devem ser calculadas de acordo com a parte 2 da NBR 15220 ou utilizando o catálogo de propriedades térmicas disponível no site do PBE Edifica (BRASIL, 2022).

4.4. Modelagem de Informação da Construção (BIM)

Ao longo dos anos, o desenvolvimento de projetos na construção civil evoluiu significativamente com a introdução das tecnologias digitais, inicialmente com o *Computer Aided Design* (CAD), que automatizou os projetos manuais, e atualmente com o *Building Information Modeling* (BIM). O BIM é um processo colaborativo que permite aos envolvidos em um empreendimento compartilhar informações, facilitando a tomada de decisões ao longo da execução (EASTMAN et al., 2011). Ao contrário do CAD, que foca na representação gráfica, o BIM propõe uma abordagem mais ampla, abrangendo todas as fases do ciclo de vida da construção, desde o planejamento até a manutenção e demolição, o BIM permite identificar erros precocemente, facilita revisões, integra diferentes equipes e melhora a qualidade do projeto (BARISON, 2015).

O BIM permite uma colaboração em rede, onde os profissionais trabalham em projetos individuais, mas de forma integrada, compartilhando informações em tempo real. Um dos fundamentos do BIM é a troca de informações entre todos os participantes, sendo a parametrização um elemento chave nesse processo. De acordo com Abanda (2015), a parametrização permite que os componentes de um modelo digital sejam atualizados de forma automática, o que melhora a eficiência. Contudo, para que essa otimização seja alcançada, é fundamental garantir a interoperabilidade, assegurando que os dados permaneçam consistentes ao serem transferidos entre diferentes plataformas (EASTMAN, 2011). A interoperabilidade facilita a integração entre tecnologias de fornecedores distintos, evitando a duplicação de dados e automatizando processos, embora exija um cuidado

rigoroso na modelagem devido ao estágio inicial de adoção por muitas empresas (EASTMAN et al., 2014).

Segundo Addor (2009), o BIM expande as dimensões de um projeto, evoluindo de 3D (largura, espessura e altura) para outras dimensões conforme o projeto avança. A quarta dimensão (4D) adiciona o tempo, com fases e sequências do projeto. A quinta dimensão (5D) inclui o custo, enquanto a sexta (6D) abrange o ciclo de vida da edificação, importante para proprietários e gerentes de *facilities*. Por fim, a sétima dimensão (7D) aborda sustentabilidade e controle energético. Cada dimensão exige um novo nível de desenvolvimento (LOD), que define a maturidade do projeto. O LOD, criado pelo Vico Software em 2008 e desenvolvido pelo subcomitê de tecnologia do *American Institute of Architects*, é utilizado para gerenciar o nível de detalhamento das informações gráficas e não gráficas do projeto, sendo uma ferramenta essencial para a coordenação e gestão no setor de Arquitetura, Engenharia, Construções e Operações (AECO) (DE ALMEIDA VASCONCELOS, 2019).

O BIM, portanto, é uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados utilizados para produzir, comunicar e analisar modelos de construção que possuem as seguintes características:

- Componentes de construção representados por meio de objetos digitais inteligentes, que possuem conhecimento sobre suas próprias características e podem ser associados a atributos computáveis (gráficos e dados) e regras paramétricas;
- Esses componentes incluem dados que descrevem seu comportamento, sendo necessários para análises e processos de trabalho, como quantificação, especificação e análise energética;
- Os dados dos componentes são consistentes e não redundantes, garantindo que as modificações feitas nesses dados sejam refletidas em todas as visualizações do modelo. Os dados são coordenados, garantindo que todas as visualizações do modelo sejam apresentadas de forma coordenada (EASTMAN, 2011).

Implementado desde a etapa de planejamento de projetos e abrangendo todas as fases do ciclo de vida da construção, incluindo modelagem 3D, orçamentação, cronograma de obras e execução, o BIM ainda se estende à manutenção pós-obra e possíveis reforços estruturais

futuros. Sua aplicação permite a identificação precoce de erros, facilita revisões, promove a integração entre os diversos responsáveis e contribui para um resultado final de maior qualidade. (BARISON, 2015).

Visto como um progresso tecnológico na área de AECO, o BIM é um conceito que gradualmente está sendo adotado e disseminado na indústria da construção, com a finalidade de aprimorar a gestão dos procedimentos envolvidos e a qualidade do resultado de um projeto. (MOREIRA,2020). O BIM tem como objetivo reunir os diversos projetos inerentes a uma construção em uma mesma plataforma, um modelo de construção produzido por uma ferramenta BIM pode dar suporte a múltiplas vistas diferentes dos dados contidos dentro de um conjunto de desenhos, incluindo 2D e 3D. (EASTMAN, 2011). Para Moreira (2020), a utilização do conceito BIM já mostrou que é capaz de aumentar a qualidade construtiva a níveis bastante elevados, proporcionando empreendimentos de alto padrão de rendimento, não apenas ligados a quesitos técnicos, mas ainda sob pontos de vista voltados a sustentabilidade.

Vincular o modelo de construção a ferramentas de análise energética no BIM permite avaliar o uso de energia durante fases iniciais do projeto, possibilitando modificações para melhorar o desempenho energético. As aplicações de análise ambiental no BIM incluem análises de energia, iluminação e saída de incêndio, fornecendo uma visão antecipada dos comportamentos do projeto e estimativas de custos operacionais. No entanto, a compatibilidade com as ferramentas existentes de projeto BIM é limitada (EASTMAN, 2011).

O uso da plataforma BIM no Brasil data de aproximadamente vinte anos, porém ainda com baixa adesão, tanto por falta de profissionais capacitados, quanto por falta de conhecimento de empresas do mercado. Entretanto, a previsão é que a adesão ao BIM cresça cada vez mais e a ampliação de sua utilização está diretamente vinculada às novas possibilidades de análise que ele traz.

4.5. O software Archicad

O Archicad começou a ser desenvolvido na Hungria em 1984 pela Graphisoft®, que atualmente é uma subsidiária da empresa alemã Nemetschek. O software é um dos pioneiros em um conceito chamado *Virtual Building*, que se baseia na ideia de que a

edificação deve ser totalmente modelada em 3D. A partir desse modelo, também conhecido como edifício virtual, é possível obter as visualizações e documentações necessárias. Essa ideia foi introduzida em 1987 e faz parte das primeiras experiências do que posteriormente seria chamado de sistema de trabalho em BIM. (GASPAR; TURRI, 2014)

O Archicad hoje é reconhecido como uma das principais soluções BIM do mercado, o programa permite aos profissionais da arquitetura, engenharia e construção criar modelos 3D detalhados e precisos de edifícios, além de gerenciar informações essenciais ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Com uma interface intuitiva, o Archicad oferece uma ampla gama de ferramentas para a criação de geometrias complexas, análises de desempenho energético, documentação precisa e colaboração eficiente em equipe. Uma das ferramentas é a possibilidade de criar parâmetros e tabelas personalizadas, com expressões e cálculos complexos. Seu fluxo de trabalho integrado e a capacidade de sincronização em tempo real entre o modelo e as informações garantem uma maior produtividade e qualidade no processo de projeto e construção.

O Archicad permite a criação de tabelas personalizadas utilizando cálculos e expressões por meio das funcionalidades do “Gestor de Propriedades” com a configuração de expressões, que facilita a gestão de informações associadas aos elementos do modelo, contribuindo para a criação de tabelas e relatórios detalhados. Esse recurso é especialmente útil para extrair e manipular dados de forma eficiente.

No Gestor de Propriedades, é possível definir e editar propriedades de diversos elementos, como paredes, janelas, portas e outros componentes do projeto. É viável adicionar novas propriedades personalizadas para atender às necessidades específicas de cada projeto, incluindo informações sobre materiais, custos ou desempenho energético. As expressões permitem aplicar cálculos e lógica nas propriedades. Isso inclui o uso de constantes, operadores e várias funções, como funções lógicas, matemáticas, trigonométricas, estatísticas e de edição de texto. Essas expressões permitem a automatização de cálculos e a criação de propriedades dinâmicas que se ajustam conforme as mudanças no projeto. As expressões são escritas em uma linguagem de programação simples, tornando o processo acessível mesmo para aqueles sem experiência em programação. Essa flexibilidade permite a personalização de tabelas e relatórios, garantindo que as informações

sejam apresentadas de maneira clara e adequada às necessidades do projeto.

Além disso, o Gestor de Propriedades e expressões facilita a atualização automática dos dados, assegurando que qualquer alteração no modelo seja refletida instantaneamente nas tabelas e relatórios. Essa funcionalidade não apenas economiza tempo, mas também reduz a possibilidade de erros, proporcionando um fluxo de trabalho mais eficiente e eficaz na documentação do projeto. (GASPAR; TURRI, 2014)

4.6. Trabalhos Correlatos

Os trabalhos analisados nessa revisão têm o objetivo de aliar a avaliação de eficiência energética a tecnologia BIM como extração de dados para análises pelos métodos das Instruções Normativas do Inmetro (INIs) em questão.

4.6.1. Análise do uso de BIM na extração dos dados necessários para a avaliação de eficiência energética da INI-C

MUTA (2022), desenvolveu um artigo com o objetivo de analisar o uso da plataforma BIM na obtenção dos dados necessários para a avaliação de eficiência energética da envoltória pelo método definir simplificado da Instrução Normativa do Inmetro para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Usando um estudo de caso como método, dividido em 5 etapas, (a) identificar os dados necessários para o método simplificado da INI-C; (b) uma ferramenta de modelagem BIM; (c) identificar um objeto de estudo; (d) modelar o objeto de estudo; e (e) avaliar a eficiência energética da envoltória. A ferramenta escolhida para a avaliação, foi o *software* Revit. A avaliação da eficiência da envoltória começou com a verificação da viabilidade do método simplificado, que foi confirmada conforme os critérios da Tabela 1. Em seguida, as zonas térmicas do modelo foram definidas conforme as diretrizes da INI-C.

Os parâmetros necessários para essa avaliação foram extraídos do modelo BIM, conforme especificado na INI-C. O coeficiente de redução de carga térmica anual variou de D para A, dependendo do grupo climático e do fator de forma da edificação. Todos os dados foram inseridos no metamodelo do PBE Edifica. Todos os parâmetros essenciais para a avaliação da eficiência energética foram retirados diretamente do modelo BIM. Isso incluiu parâmetros

como área, tipo de zona, orientação solar, DPI (Demanda de Projeto Interna), DPE (Demanda de Projeto Externa) e pé-direito. As informações de área foram calculadas pelo Revit, enquanto os outros parâmetros foram inseridos manualmente durante o processo de modelagem.

O estudo destacou que as edificações desenvolvidas em BIM podem enfrentar desafios na avaliação de eficiência energética, especialmente devido à extração manual de dados e à limitação na utilização de dados diretamente do BIM. A quantidade de dados disponíveis nas tabelas do modelo BIM varia de acordo com o processo de modelagem. Atualmente, não existem procedimentos específicos identificados para desenvolver modelos que atendam às exigências da avaliação de eficiência energética da envoltória definidas pela INI-C.

O estudo de Muta (2022) evidencia a carência na elaboração de *workflows* e *templates* personalizados para cada tipo de análise, ademais, nota-se que foram usados apenas as configurações básicas do programa, não tendo sido avaliada toda a potencialidade do *software* em relação a criação de parâmetros e cálculos que a ferramenta permite. O estudo destaca que muitos parâmetros essenciais, como DPI, DPE e pé-direito, foram inseridos manualmente durante o processo de modelagem. Isso sugere uma subutilização das capacidades automatizadas do BIM para a extração e integração de dados diretamente do modelo digital. A criação de propriedades personalizadas no BIM poderia facilitar a avaliação de eficiência energética ao permitir a configuração de parâmetros específicos diretamente no modelo. No entanto, o estudo não menciona a utilização dessa funcionalidade, o que poderia ter simplificado a coleta de dados e reduzido a necessidade de inserções manuais.

Embora o estudo de Muta (2022) tenha demonstrado a viabilidade do uso do BIM para a avaliação de eficiência energética da envoltória, ele também revela que há um potencial significativo não explorado na utilização completa das funcionalidades do BIM. A criação de propriedades personalizadas e a configuração de cálculos específicos poderiam ter melhorado a eficiência e a precisão do processo de avaliação, reduzindo a dependência de inserções manuais e aumentando a integração com outras ferramentas de simulação energética. Explorar essas funcionalidades avançadas do BIM pode não apenas otimizar o

processo de avaliação, mas também contribuir para o desenvolvimento de procedimentos padronizados que atendam às exigências da INI-C de maneira mais eficaz e eficiente.

4.6.2. *A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage*

BRACHT, MELO e LAMBERTS, (2021), investigaram a viabilidade de integrar modelos de informações de construção com um metamodelo para previsão de carga térmica. O metamodelo adotado foi desenvolvido para ser incorporado ao processo de definição da classe de eficiência energética no programa brasileiro de rotulagem de edifícios residenciais. O artigo está dividido em 6 seções onde explica o metamodelo de previsão de carga térmica utilizado e a proposta normativa associada. Detalha o desenvolvimento da ferramenta de integração. Define um caso de teste de validação e apresenta os resultados obtidos, com o objetivo de avaliar a flexibilidade da ferramenta e a consistência do esquema gbXML. Analisa os resultados e discute as limitações do estudo propondo questões para pesquisas futuras. Por fim, fornece um resumo das principais descobertas do estudo.

A ferramenta de integração foi desenvolvida com sucesso, permitindo realizar o processo de validação, embora tenham sido encontradas limitações relacionadas aos padrões de nomenclatura de salas e à necessidade de parametrização adicional conforme o método descrito pelo INI-R. A validação exigiu simplificações nos modelos antes de exportá-los para gbXML, com diferentes necessidades para cada software: o Autodesk Revit não precisou de ajustes, enquanto o Graphisoft Archicad exigiu a remoção de portas, e o OpenBuildings necessitou de simplificações na geometria do telhado e ajustes manuais no código gbXML. A importância da implementação correta das ferramentas de exportação pelos desenvolvedores de software BIM foi destacada, evidenciando falhas na transformação dos dados para o formato gbXML. Apesar dessas falhas, a ferramenta permite integração semiautomática com rápida previsão de desempenho térmico, possibilitando a variação de parâmetros fixos e a apresentação de resultados em gráficos interativos. No entanto, a eficácia dessa abordagem depende de pesquisas sobre as necessidades dos projetistas, que não foram abordadas neste estudo, mas serão consideradas futuramente. Nas fases iniciais de design, a integração com metamodelos facilita a exploração de alternativas, e modelos mais completos podem ser usados para simulações detalhadas, ressaltando a necessidade de métodos robustos para a

integração eficaz de ferramentas BIM e software de simulação energética.

Os testes mostraram a viabilidade da integração com pequenos erros nos valores de previsão (máximo de 2,23% para resfriamento e 13,04% para aquecimento). O estudo avança em direção a um método mais automatizado para aplicação de regulamentos de rotulagem de edifícios e auxilia as equipes de projeto na exploração de alternativas de design.

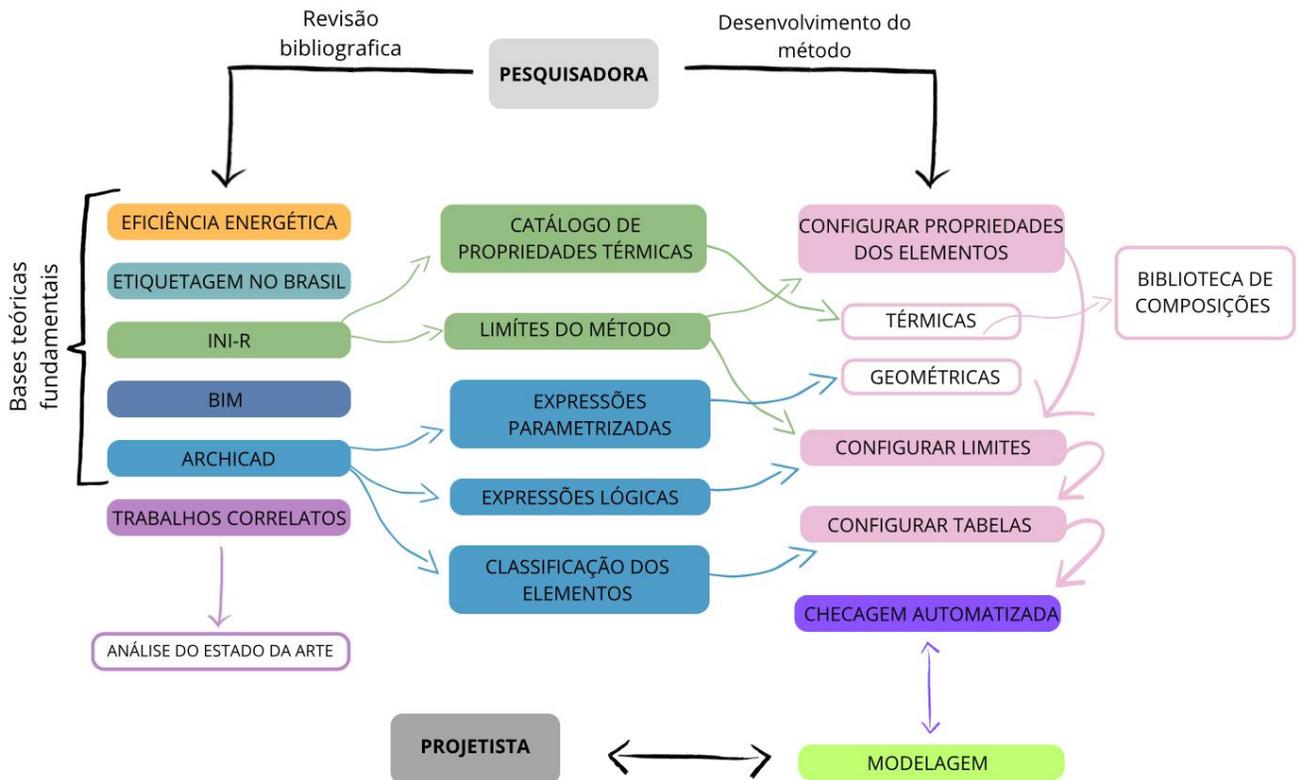
O estudo revela uma lacuna significativa na interoperabilidade de dados entre diferentes *softwares* e a necessidade de investigar formas de avaliação pelo método dentro da própria plataforma BIM. A ferramenta de integração desenvolvida permitiu realizar o processo de validação, mas encontrou limitações relacionadas aos padrões de nomenclatura de salas e à necessidade de parametrização adicional conforme o método descrito pelo INI-R. Essas diferenças evidenciam a falta de interoperabilidade entre os *softwares*, o que pode comprometer a precisão e a eficiência do processo de avaliação.

Investigar formas de avaliação pelo método dentro da própria ferramenta BIM poderia reduzir a dependência de exportações e simplificações manuais, aumentando a precisão e a eficiência do processo de avaliação. Isso também permitiria uma maior automação e padronização, beneficiando as equipes de projeto na exploração de alternativas de design e na aplicação de regulamentos de rotulagem de edifícios de maneira mais eficaz e eficiente.

5. MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO *TEMPLATE*

O método deste trabalho envolve configurar parâmetros (propriedades) vinculados a elementos de modelagem para checar os limites do método simplificado da INI-R. As propriedades geométricas são configuradas por expressões que variam conforme a modelagem, enquanto as térmicas são preenchidas manualmente e salvas em uma biblioteca de componentes. Para checar os limites, são criadas expressões lógicas que delimitam os valores da instrução normativa, configurando mapas (tabelas) que indicam o atendimento aos limites. Por fim é feita uma síntese dos resultados, abordando a inserção de dados, automatização, limitações e sugestões para futuros trabalhos.

Figura 2 - Framework



Fonte: Elaborado pela autora

A INI-R começa sua avaliação estabelecendo as condições para a utilização dos métodos simplificado e de simulação. O método simplificado só pode ser aplicado a edificações cujos parâmetros construtivos estejam dentro dos intervalos especificados na Tabelas 6.1 (FIGURA 2) da portaria nº 309 (BRASIL, 2022). Casos que não se enquadrem nessas faixas de limites devem ser avaliados utilizando o método de simulação.

Figura 3 - Tabela 6.1 - Limites de Aplicação do Método simplificado

Tabela 6.1 – Limites de aplicação do método simplificado

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,20	0,90
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	0,20	0,90
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito e esquerdo (AHF _D e AHF _E)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento da fachada (AVS _{FAC})	0°	55°
Ângulo vertical de obstrução do entorno (AVE)	0°	60°
Área de piso do ambiente de permanência prolongada	5 m ²	100 m ²
Área de piso do ambiente de permanência transitória	2 m ²	100 m ²
Área de superfície dos elementos transparentes	0 m ²	60 m ²
Capacidade térmica da cobertura (CT _{cob})	25 kJ/(m ² .K)	550 kJ/(m ² .K)
Capacidade térmica das paredes externas (CT _{par})	26 kJ/(m ² .K)	440 kJ/(m ² .K)
Capacidade térmica do piso (CT _{piso})	25 kJ/(m ² .K)	440 kJ/(m ² .K)
Ângulo de desvio da parede norte em relação ao norte verdadeiro	-45°	45°
Dimensão horizontal da parede externa (por orientação)	0 m	15 m
Dimensão horizontal da parede interna em contato com sala	0 m	65 m
Dimensão horizontal da parede interna em contato com dormitório	0 m	60 m
Dimensão horizontal da parede interna em contato com APT	0 m	50 m
Área efetiva de abertura para ventilação	0 m ²	60 m ²
Fator solar do elemento transparente (FS)	0,20	0,87
Pé-direito (PD)	2,40 m	7,50 m
Transmitância térmica da cobertura (U _{cob})	0,45 W/(m ² .K)	3,80 W/(m ² .K)
Transmitância térmica das paredes externas (U _{par})	0,24 W/(m ² .K)	4,40 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do piso (U _{piso})	0,70 W/(m ² .K)	4,10 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do elemento transparente	2,50 W/(m ² .K)	5,87 W/(m ² .K)

Fonte: Portaria nº309, 2022.

Graças aos recursos dos programas BIM, que permitem armazenar dados e informações sobre os elementos de construção, é possível inserir e parametrizar no Archicad dados necessários para avaliar a eficiência energética pelo método simplificado da INI-R (GASPAR; TURRI, 2014). Os parâmetros de entrada avaliados neste trabalho serão apenas relativos aos limites do método simplificado da INI-R. Podendo a pesquisa se estender para a avaliação completa do método simplificado em trabalhos futuros.

Cada parâmetro é inserido no Archicad como uma nova propriedade que deverá ser configurada e atribuída aos seus respectivos elementos. Algumas propriedades são configuradas através de expressões matemáticas ou funções lógicas que vinculam o dado ao

elemento modelado de forma paramétrica, quais sejam parâmetros relativos à geometria, outras, relativas aos materiais, serão inseridas de forma manual durante a criação de um banco de dados, que ficará salvo no *template* do modelo (GASPAR; TURRI, 2014). Após inseridos todos os parâmetros, eles serão duplicados e configurados para os limites do método.

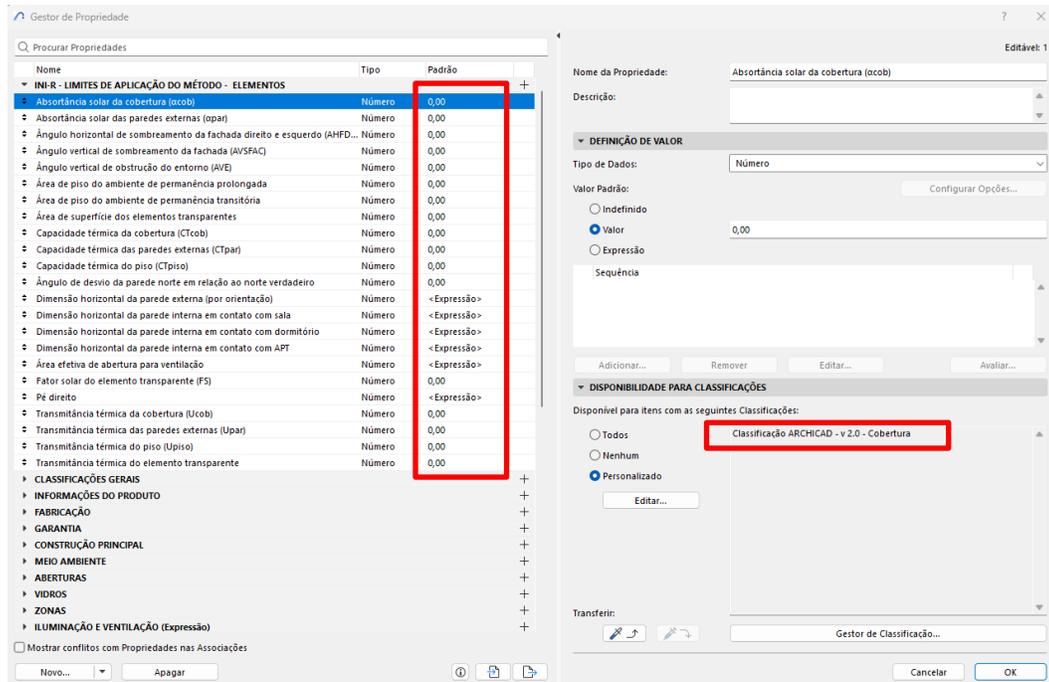
A criação da tabela de atendimento dos intervalos estabelecidos visa indicar quais parâmetros estão fora dos intervalos e permite sua checagem logo nos primeiros passos do projeto de forma paramétrica e automática. Cada passo do processo será detalhado no presente trabalho seguido de uma tabela síntese que indicará limitações do software e sugestões de melhoria do processo.

5.1. Configuração das propriedades dos elementos

O BIM permite a incorporação de informações que sejam vinculadas a elementos modelados, no caso do Archicad, esse processo se dá no preenchimento de propriedades nativas ou na criação de novas propriedades que podem ser configuradas através de expressões, quais sejam cálculos, funções lógicas, trigonométricas entre outras, que permitem uma grande variedade de análises dentro do próprio *software* (GASPAR; TURRI, 2014).

Dessa forma, para cada parâmetro de limite de aplicação do método uma propriedade é criada usando o “Gestor de Propriedades”. Os parâmetros serão disponibilizados para determinadas classificações a depender do elemento em que serão vinculados, por exemplo, o item “Absortância solar da cobertura” será disponibilizado para elementos classificados como “Cobertura”, esse passo ajuda a organizar o modelo e facilita no preenchimento dos dados durante a modelagem, além de ser essencial na configuração das tabelas de checagem.

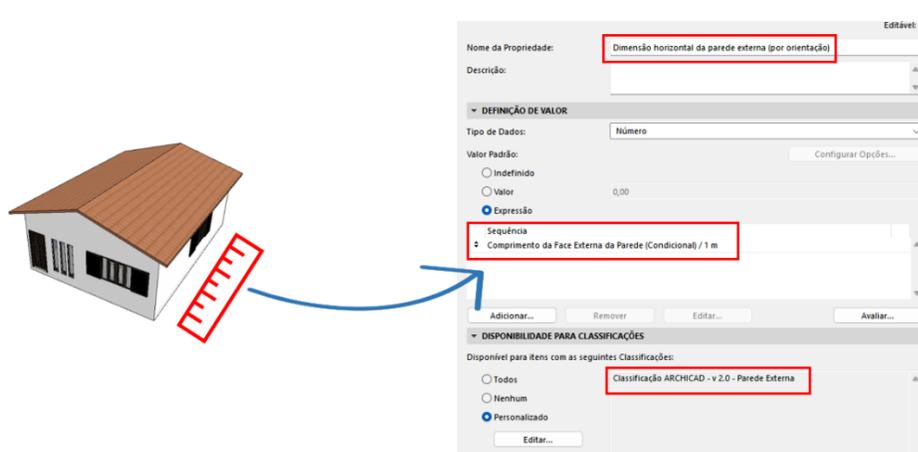
Figura 4 - Propriedades dos Elementos



Fonte: Elaborado pela autora

Os parâmetros relativos às características geométricas dos elementos serão configurados através de expressões em que vinculam a propriedade ao elemento em si, como no caso da “Dimensão horizontal da parede externa” onde a propriedade tem seu valor numérico a expressão igual ao “Comprimento da Face Externa da Parede”, dessa forma qualquer alteração na dimensão da parede o valor da propriedade é automaticamente atualizado.

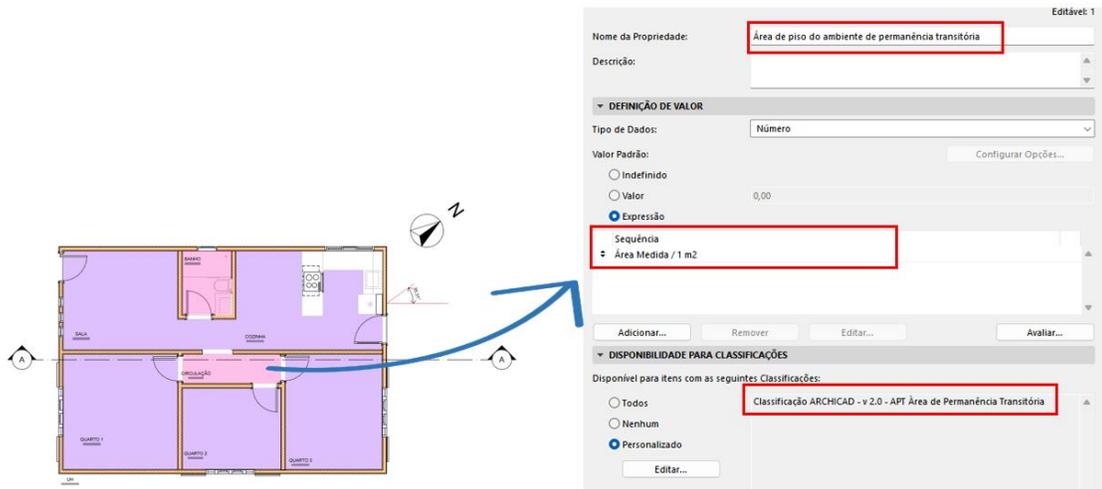
Figura 5 - Configuração de expressões para valores de dimensões



Fonte: Elaborado pela autora

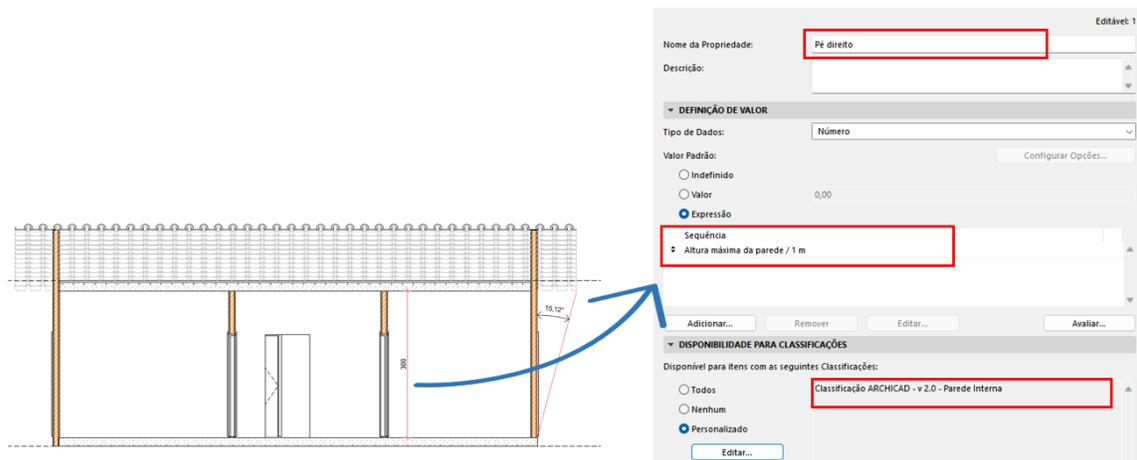
O procedimento se repete nos casos das áreas e de pé direito, onde a propriedade é configurada através de uma expressão que a vincula ao elemento desejado.

Figura 6 – Configuração de expressões para valores de áreas



Fonte: Elaborado pela autora

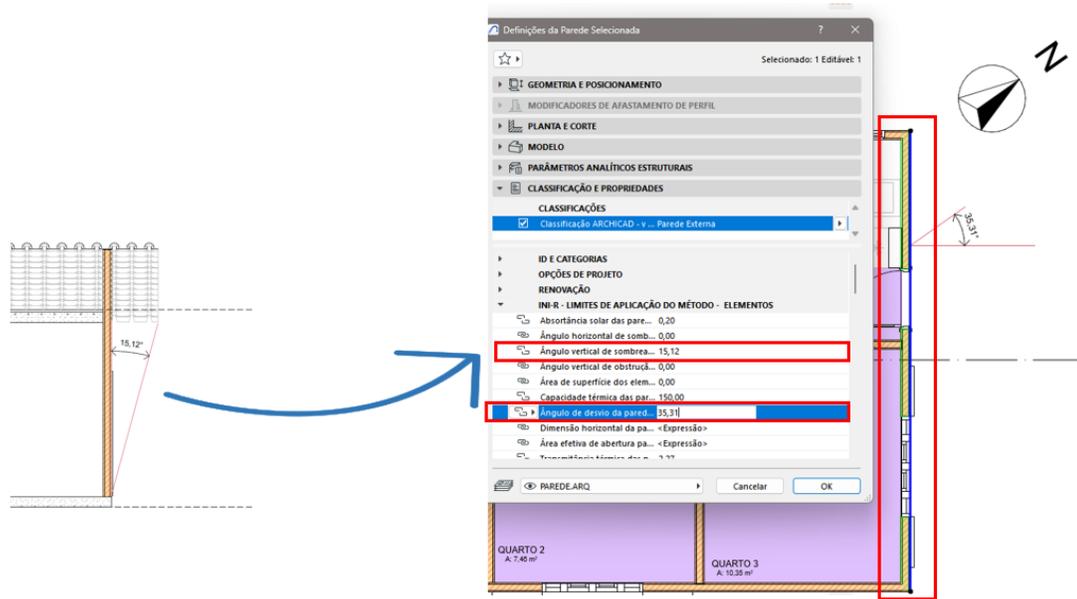
Figura 7 - Configuração de expressões para valores de pé direito



Fonte: Elaborado pela autora

No caso dos ângulos o procedimento é manual e inserido após conferência em planta e cortes. O valor padrão configurado nesse caso é “Valor” e o preenchimento é realizado após a modelagem nas definições da parede analisada, conforme figura 8.

Figura 8 - Configuração dos valores angulares nas definições de parede



Fonte: Elaborado pela autora

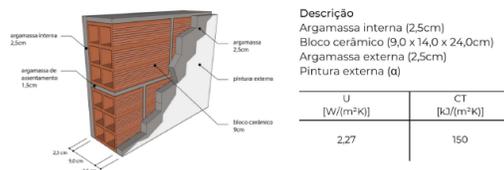
Em parâmetros relativos às características térmicas o preenchimento dos valores é manual, porém com a criação de uma biblioteca de favoritos o processo torna-se automático durante a modelagem com o uso do *template*.

5.2. Criação da Biblioteca de favoritos

O Archicad fornece em seu *template* de base um catálogo de propriedades físicas de diversos materiais de construção, entretanto para fins dessa verificação serão criadas composições de paredes e coberturas presentes no “Catálogo de Propriedades Térmicas” disponibilizado na aba RAC (Requisitos de avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações) no site do PBE Edifica (BRASIL, 2022) (FIGURA 9). Tal procedimento automatiza a modelagem e auxilia na tomada de decisão em relação a qual método construtivo a adotar no projeto.

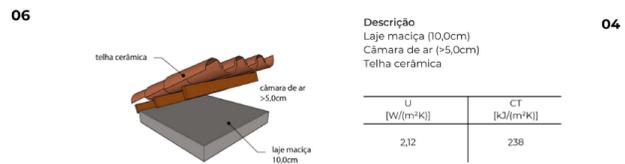
Figura 9 - Propriedades Térmicas de Paredes e Telhado

1.3. PAREDES COM BLOCO CERÂMICO



2.2. TELHADOS

O livro "Biblioteca de Absortância de Telhas" (DORNELLES, Kelen Almeida, 2021), apresenta uma base de dados de absortância solar para inúmeros tipos de telhas e deve ser consultado para o levantamento da absortância solar.

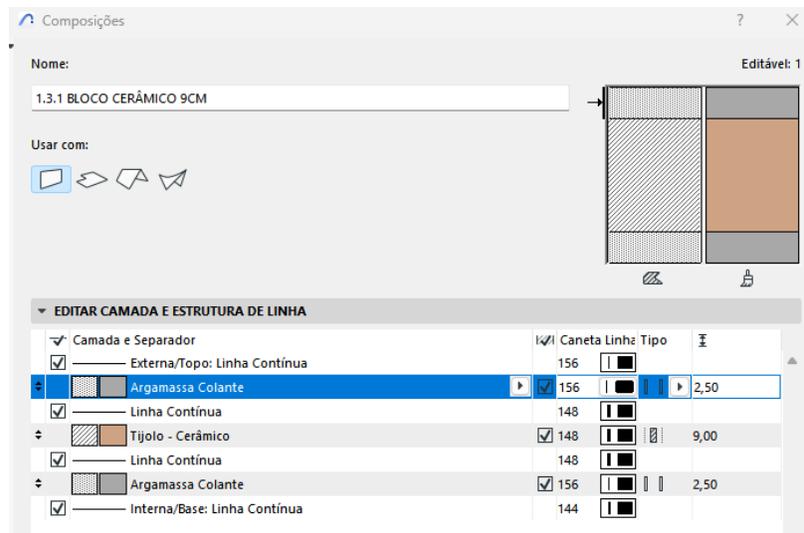


Fonte: Catálogo de Propriedades Térmicas PBE Edifica

O processo nessa etapa consiste em criar as composições desejadas, configurar as propriedades das composições e salvá-las numa pasta de favoritos dentro do *software*. Para as paredes foram criadas 6 tipologias de composições, sendo elas:

1. Parede de Bloco de Concreto 9cm e Argamassa;
2. Parede de Bloco de Concreto 14cm e Argamassa;
3. Parede de Bloco Cerâmico 9cm e Argamassa;
4. Parede de Bloco Cerâmico 14cm e Argamassa;
5. Parede Steel Frame com camada de 2cm de Ar;
6. Parede Steel Frame com 10cm de Lã de Vidro.

Figura 10 - Composição de Parede Cerâmica 9cm

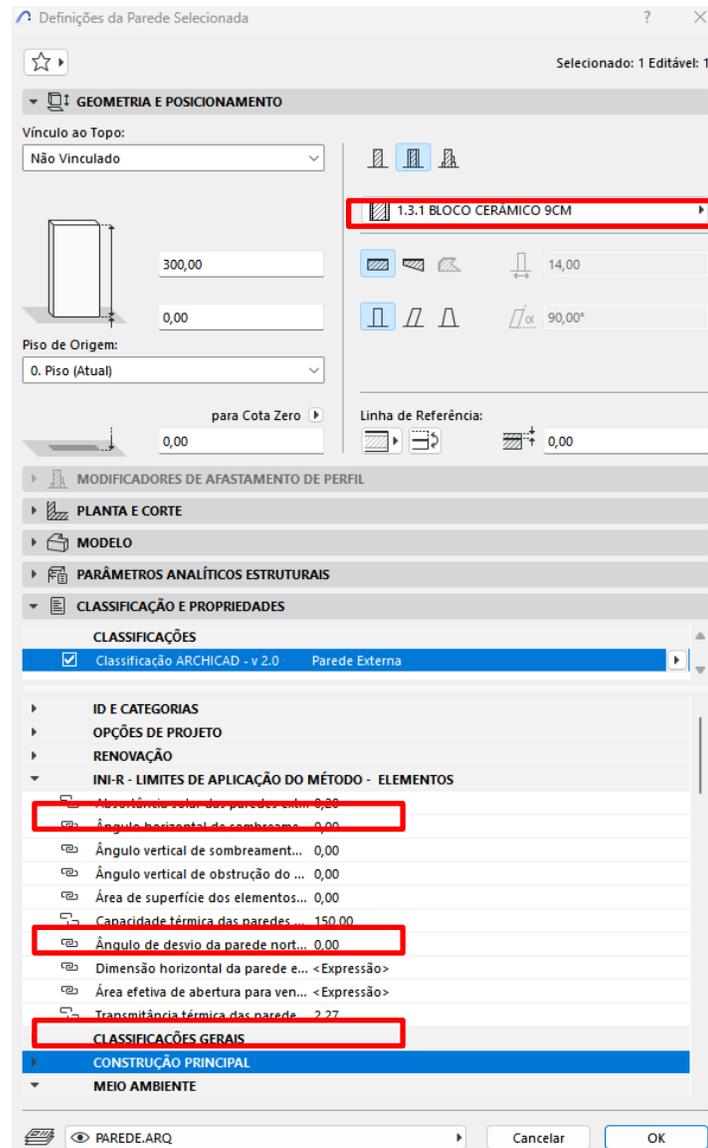


Fonte: Elaborado pela autora

Em seguida, deve-se configurar as propriedades de cada composição na aba de definições

de paredes. Os valores encontrados no Catálogo de Propriedades Térmicas são preenchidos em cada campo correspondente conforme figura 11. Os valores de “Absortância das Paredes Externas” foram padronizados em de 0,2, esse valor varia conforme a cor das paredes e deverá ser atualizado em cada caso manualmente se for necessário (BRASIL, 2022).

Figura 11 - Definições da Parede



Fonte: Elaborado pela autora

Após a configuração as definições são salvas na pasta “PAREDES” na aba de favoritos, dessa forma todas as propriedades preenchidas ficam salvas dentro do *template* do modelo (FIGURA 12).

Figura 12 - Favoritos de Paredes

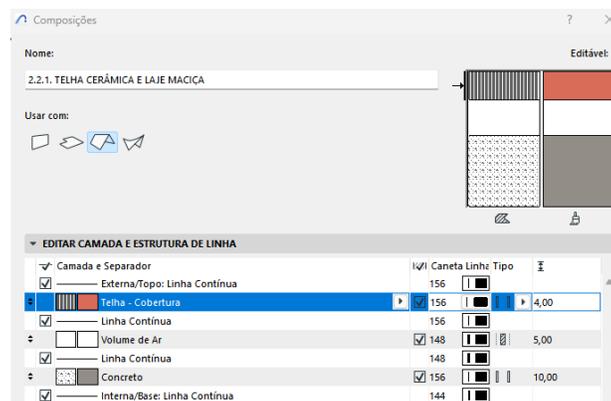


Fonte: Elaborado pela autora

O mesmo procedimento foi adotado na configuração de elementos de cobertura, utilizando os valores de Absortância no livro indicado no Catálogo, foram criadas 6 tipologias de composições, sendo:

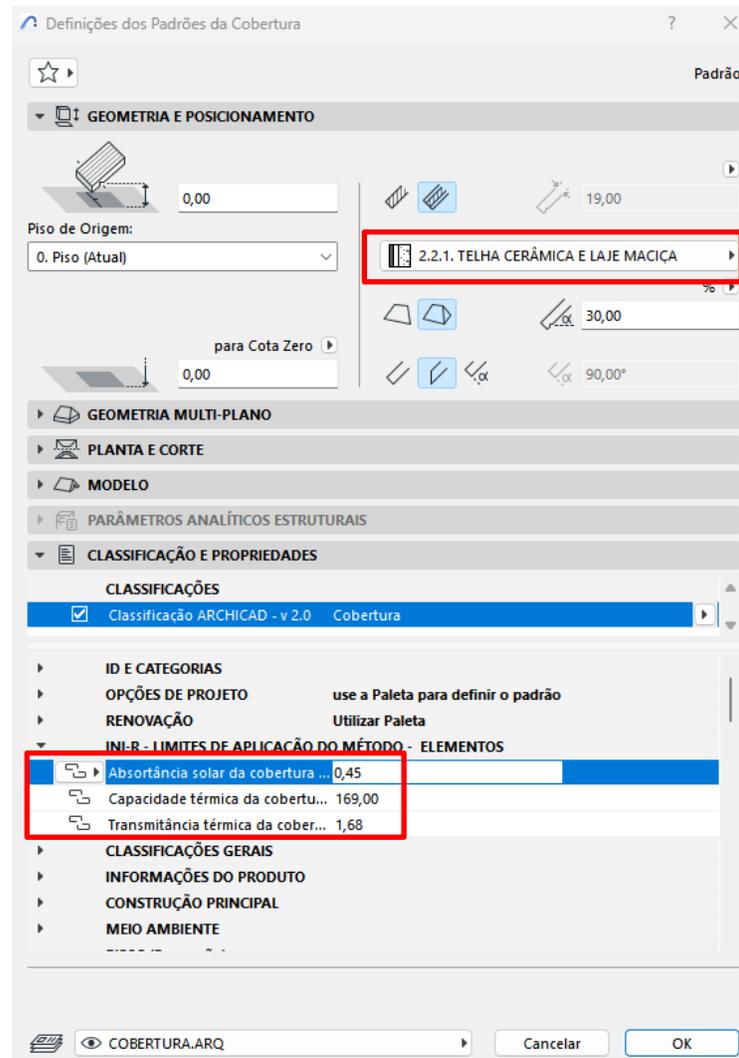
1. Cobertura Cerâmica e Laje Maciça;
2. Telha Cerâmica e Lajota Cerâmica;
3. Telha de Fibrocimento e Laje Maciça;
4. Telha de Fibrocimento e lajota cerâmica;
5. Telha Metálica e lajota cerâmica;
6. Telha Metálica sanduíche e laje maciça.

Figura 13 - Configuração de composições de cobertura



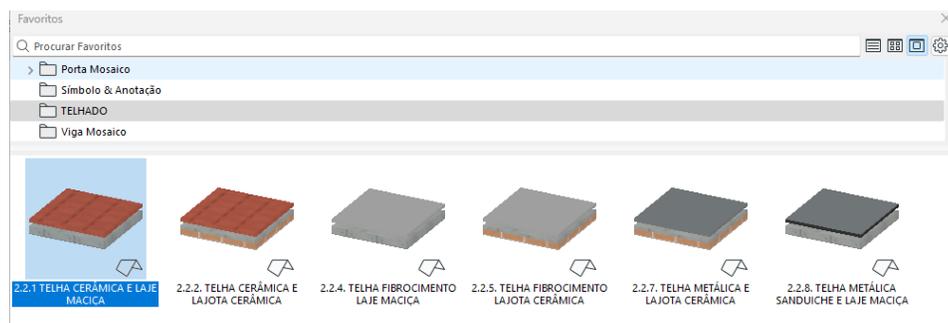
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14 - Definições de Cobertura



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15 - Favoritos de Telhados

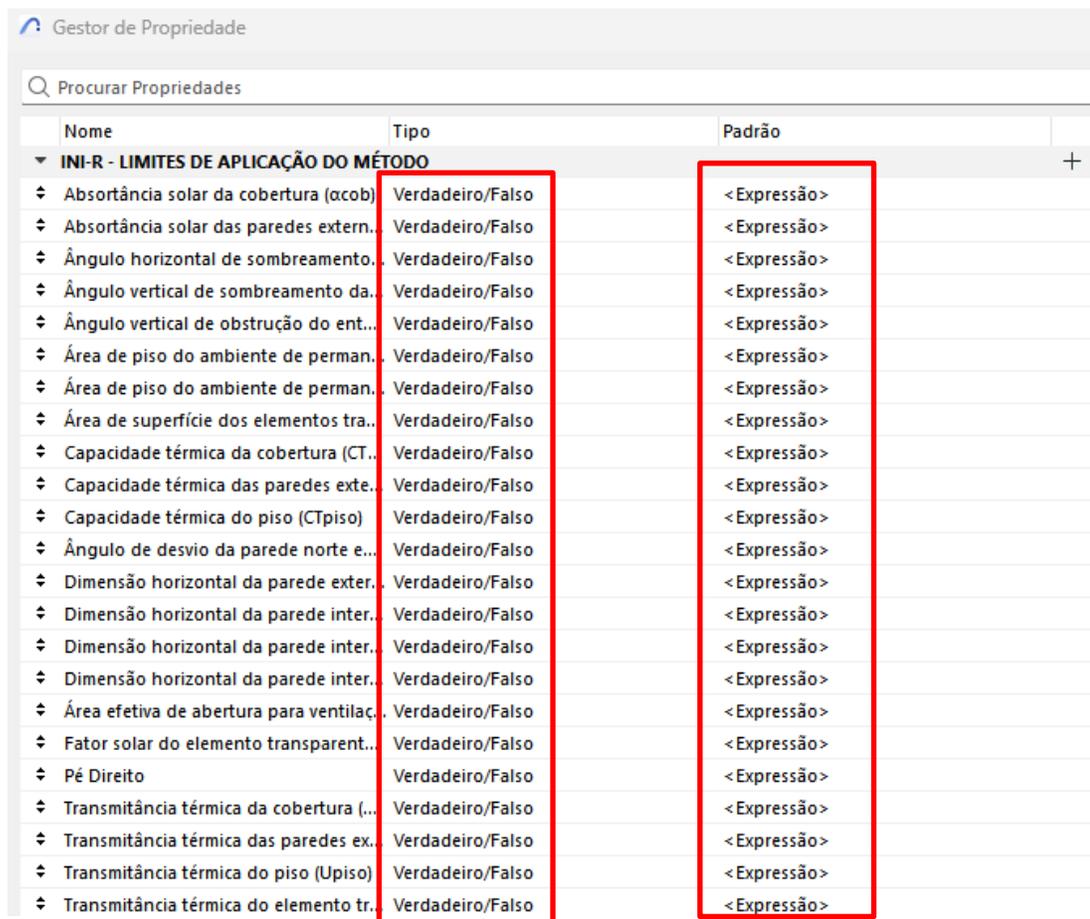


Fonte: Elaborado pela autora

5.3. Configuração dos dados de limites de aplicação do método

Para verificar a conformidade do modelo com os limites estabelecidos pela instrução normativa, as tabelas de limites irão informar automaticamente à medida que os dados do projeto são inseridos. Para a checagem de atendimento dos limites estabelecidos na tabela 6.1, são criadas as propriedades com valores de Verdadeiro/Falso (FIGURA 10) (BRASIL, 2022).

Figura 16 - Propriedades de Limites de Aplicação

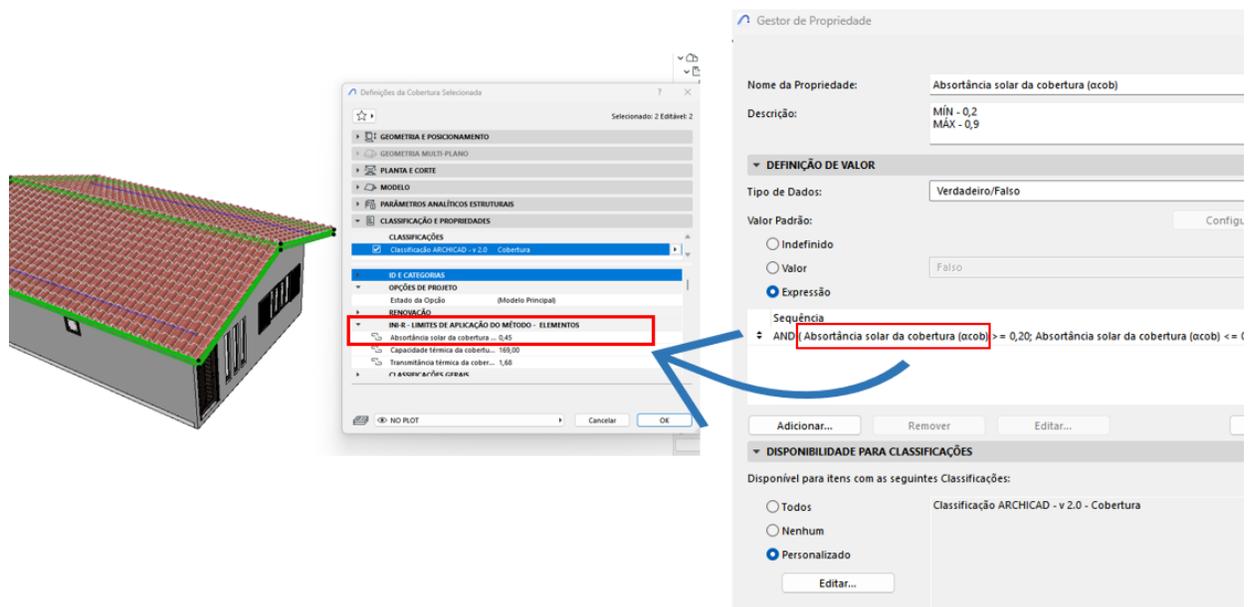


Nome	Tipo	Padrão
INI-R - LIMITES DE APLICAÇÃO DO MÉTODO		
↳ Absortância solar da cobertura (αcob)	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Absortância solar das paredes extern...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Ângulo horizontal de sombreamento...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Ângulo vertical de sombreamento da...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Ângulo vertical de obstrução do ent...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Área de piso do ambiente de perman...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Área de piso do ambiente de perman...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Área de superfície dos elementos tra...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Capacidade térmica da cobertura (CT...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Capacidade térmica das paredes exte...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Capacidade térmica do piso (CTpiso)	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Ângulo de desvio da parede norte e...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Dimensão horizontal da parede exter...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Dimensão horizontal da parede inter...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Dimensão horizontal da parede inter...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Dimensão horizontal da parede inter...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Área efetiva de abertura para ventilaç...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Fator solar do elemento transparent...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Pé Direito	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Transmitância térmica da cobertura (...)	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Transmitância térmica das paredes ex...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Transmitância térmica do piso (Upiso)	Verdadeiro/Falso	< Expressão >
↳ Transmitância térmica do elemento tr...	Verdadeiro/Falso	< Expressão >

Fonte: Elaborado pela autora

Cada propriedade recebe uma expressão lógica com os limites definidos na tabela 6.1, as quais são atrelados à propriedade criadas anteriormente, de forma que, o resultado indique qual parâmetro atende (verdadeiro) ou não atende (falso) os limites do método (FIGURA 11).

Figura 17 - Expressões lógicas das propriedades



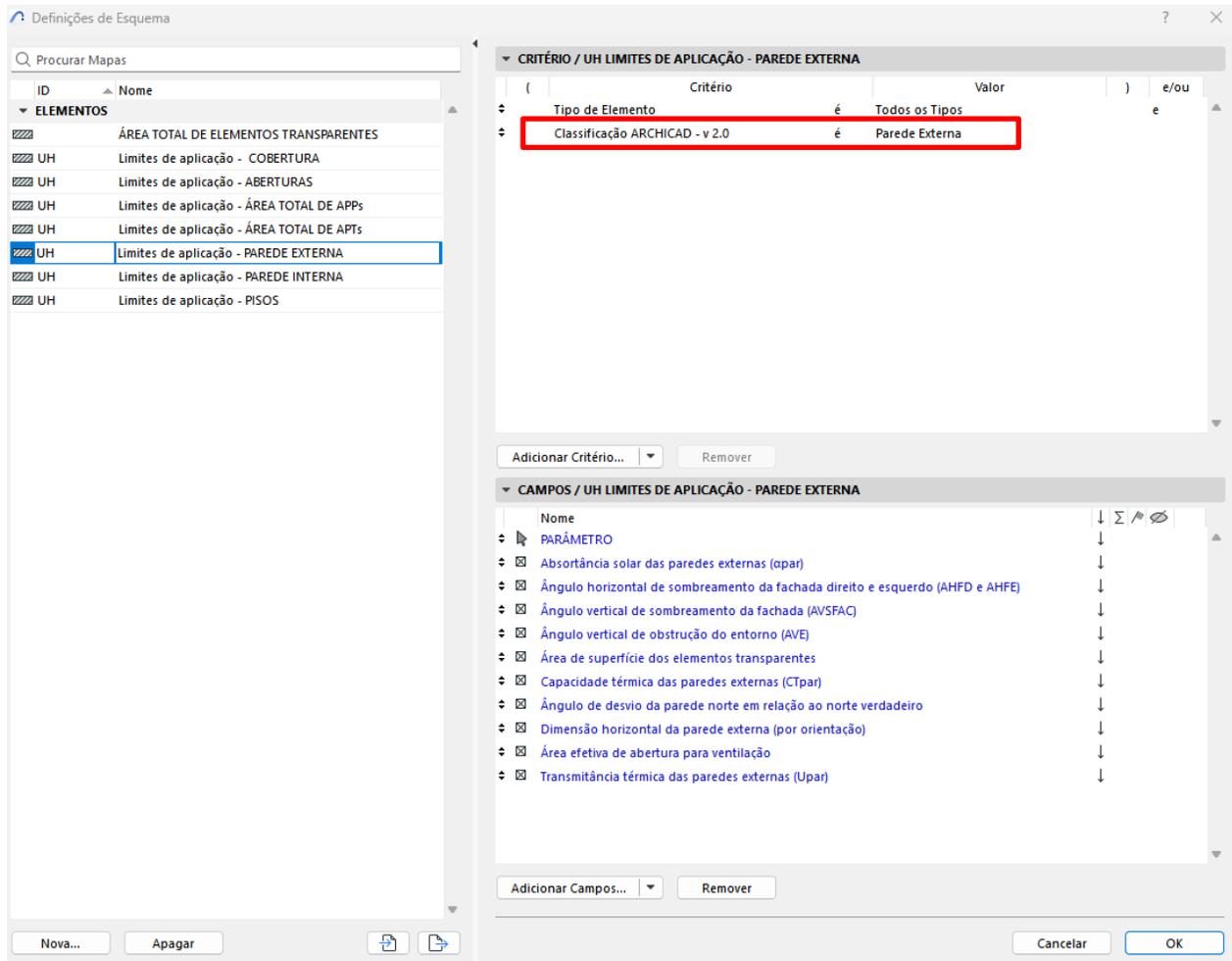
Fonte: Elaborado pela Autora

5.4. Configuração dos mapas (tabelas) de checagem

Após configuradas todas as propriedades com as devidas expressões, serão criados os mapas (tabelas) que indicarão quais parâmetros atendem ou não os limites estabelecidos. Para uma melhor organização e visualização da tabela, os mapas precisaram ser divididos por elementos, pois verificou-se que quando todos os parâmetros são dispostos num único mapa a coluna de atendimento é multiplicada, tornando a checagem confusa. Dessa forma a divisão dos mapas em Limites de Aplicação de Paredes, Limites de Aplicação de Coberturas, Limites de Aplicação de Pisos, Limites de Aplicação de Aberturas, Limites de Aplicação de APPs e Limites de Aplicação de APTs facilitou a leitura e conferência de cada parâmetro. O mesmo método foi utilizado para cada uma das tabelas, trocando apenas o critério de classificação para identificação dos elementos corretos (FIGURA 12).

Por exemplo: o mapa de limites de aplicação de paredes externas filtra no modelo apenas os elementos classificados como parede externa e são listados nos campos apenas os parâmetros de limites do método relacionados à paredes externas. Assim é feito até listarem todos os parâmetros da tabela 6.1 (BRASIL, 2022).

Figura 18 - Definições de Esquema dos mapas de Limites de aplicação



Fonte: Elaborado pela Autora

6. RESULTADOS

Nesta etapa do processo, uma vez que todos os campos foram devidamente preenchidos, cada mapa resultante indica automaticamente se os parâmetros estão em conformidade com as restrições especificadas na Tabela 6.1, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Tabelas de atendimento dos limites de aplicação do método

UH Limites de aplicação - PAREDES EXTERNAS		
PARÂMETRO	ATENDE/ NÃO ATENDE	
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito e esquerdo (AHFD e AHFE)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ângulo vertical de sombreamento da fachada (AVSFAC)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ângulo vertical de obstrução do entorno (AVE)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Área de superfície dos elementos transparentes	<input checked="" type="checkbox"/>	
Capacidade térmica das paredes externas (CTpar)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ângulo de desvio da parede norte em relação ao norte verdadeiro	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dimensão horizontal da parede externa (por orientação)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Área efetiva de abertura para ventilação	<input checked="" type="checkbox"/>	
Transmitância térmica das paredes externas (Upar)	<input checked="" type="checkbox"/>	

UH- Limites de aplicação - PISOS		
PARÂMETRO	ATENDE/ NÃO ATENDE	
Capacidade térmica do piso (CTpiso)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Transmitância térmica do piso (Upiso)	<input checked="" type="checkbox"/>	

UH - Limites de aplicação - ÁREA TOTAL DE APTs		
NOME	ÁREA	ATENDE/ NÃO ATENDE
BANHO	2,90	<input checked="" type="checkbox"/>
CIRCULAÇÃO	2,70	<input checked="" type="checkbox"/>
	5,60 m ²	

UH Limites de aplicação - PAREDES INTERNAS		
PARÂMETRO	ATENDE/ NÃO ATENDE	
Dimensão horizontal da parede interna em contato com sala	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dimensão horizontal da parede interna em contato com dormitório	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dimensão horizontal da parede interna em contato com APT	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pé Direito	<input checked="" type="checkbox"/>	

UH - Limites de aplicação - COBERTURA		
PARÂMETRO	ATENDE/ NÃO ATENDE	
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	<input checked="" type="checkbox"/>	
Capacidade térmica da cobertura (CTcob)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	<input checked="" type="checkbox"/>	

UH Limites de aplicação - ABERTURAS		
PARÂMETRO	ATENDE/ NAO ATENDE	
Fator solar do elemento transparente (FS)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Transmitância térmica do elemento transparente	<input checked="" type="checkbox"/>	

UH - Limites de aplicação - ÁREA TOTAL DE APPs		
NOME	ÁREA	ATENDE/ NÃO ATENDE
COZINHA	13,35	<input checked="" type="checkbox"/>
QUARTO 1	12,28	<input checked="" type="checkbox"/>
QUARTO 2	7,46	<input checked="" type="checkbox"/>
QUARTO 3	10,35	<input checked="" type="checkbox"/>
SALA	11,99	<input checked="" type="checkbox"/>
	55,43 m ²	

Fonte: Elaborado pela Autora

Para verificar a eficácia das tabelas, caso qualquer parâmetro seja ajustado de forma a exceder os limites estabelecidos, o status correspondente é alterado, como exemplificado na tabela 2. Por exemplo, se o valor da Absortância Solar das Paredes for ajustado para 0, o sistema indicará que o parâmetro não está em conformidade com os critérios aceitáveis. Essa abordagem automatizada facilita a identificação precisa e rápida de quaisquer desvios em relação aos padrões estabelecidos, garantindo assim a conformidade rigorosa com as normas definidas.

Tabela 2 - Teste de funcionalidade da tabela

UH Limites de aplicação - PAREDES EXTERNAS	
PARÂMETRO	ATENDE/ NÃO ATENDE
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	<input type="checkbox"/>
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito e esquerdo (AHFD e AHFE)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ângulo vertical de sombreamento da fachada (AVSFAC)	<input checked="" type="checkbox"/>
Ângulo vertical de obstrução do entorno (AVE)	<input checked="" type="checkbox"/>
Área de superfície dos elementos transparentes	<input checked="" type="checkbox"/>
Capacidade térmica das paredes externas (CT_{par})	<input checked="" type="checkbox"/>
Ângulo de desvio da parede norte em relação ao norte verdadeiro	<input checked="" type="checkbox"/>
Dimensão horizontal da parede externa (por orientação)	<input checked="" type="checkbox"/>
Área efetiva de abertura para ventilação	<input checked="" type="checkbox"/>
Transmitância térmica das paredes externas (U_{par})	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Elaborado pela Autora

Uma síntese (TABELA 3) da incorporação dos parâmetros considera a extração de valores, o comportamento em relação à geometria e as restrições operacionais, facilitando a identificação dos parâmetros que requerem ajustes para a plena automação das tabelas.

Tabela 3 - Síntese dos dados

SÍNTESE DOS DADOS				
PARÂMETRO	INSERÇÃO NO MODELO	AUTOMATIZÁVEL	OBSERVAÇÕES / LIMITAÇÕES	SUGESTÃO
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Ângulo horizontal de sombreamento da fachada direito e esquerdo (AHFD e AHFE)	MANUAL	NÃO	VALOR DEVE SER INSERIDO APÓS CONFERIR A ANGULAÇÃO MANUALMENTE NA PLANTA	PODE SER RESOLVIDO ATRAVÉS DE CRIAÇÃO DE EXPRESSÕES COM CÁLCULOS DE VALORES PARAMETRIZADOS
Ângulo vertical de sombreamento da fachada (AVSFAC)	MANUAL	NÃO	VALOR DEVE SER INSERIDO APÓS CONFERIR A ANGULAÇÃO MANUALMENTE NOS CORTES	PODE SER RESOLVIDO ATRAVÉS DE CRIAÇÃO DE EXPRESSÕES COM CÁLCULOS DE VALORES PARAMETRIZADOS
Ângulo vertical de obstrução do entorno (AVE)	MANUAL	NÃO	VALOR DEVE SER INSERIDO APÓS CONFERIR A ANGULAÇÃO MANUALMENTE NOS CORTES	PODE SER RESOLVIDO ATRAVÉS DE CRIAÇÃO DE EXPRESSÕES COM CÁLCULOS DE VALORES PARAMETRIZADOS

Área de piso do ambiente de permanência prolongada	AUTOMÁTICA	SIM	EXPRESSÃO QUE VINCULA A PROPRIEDADE AO CÁLCULO DE ÁREA. PORÉM A CHECAGEM É DE CADA AMBIENTE INDIVIDUALMENTE	A TABELA DE CHECAGEM DE ÁREAS DEVERÁ SER FEITA SEPARADAMENTE, NELA É POSSÍVEL TER O SOMATÓRIO DE TODAS AS ÁREAS
Área de superfície dos elementos transparentes	AUTOMÁTICA	SIM	VERIFICAR EXPRESSÃO PARA CADA TIPO DE ABERTURA	CRIAÇÃO DE UMA BIBLIOTECA DE ESQUADRIAS PRÉ-CONFIGURADAS
Capacidade térmica da cobertura (CTcob)	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Capacidade térmica das paredes externas (CTpar)	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Capacidade térmica do piso (CTpiso)	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Ângulo de desvio da parede norte em relação ao norte verdadeiro	MANUAL	NÃO	VALOR DEVE SER INSERIDO APÓS CONFERIR A ANGULAÇÃO MANUALMENTE NA PLANTA	PODE SER RESOLVIDO ATRAVÉS DE CRIAÇÃO DE EXPRESSÕES COM CÁLCULOS DE VALORES PARAMETRIZADOS
Dimensão horizontal da parede externa (por orientação)	AUTOMÁTICA	SIM	VALOR PARA CADA PAREDE - NÃO SOMADAS	-
Dimensão horizontal da parede interna em contato com sala	AUTOMÁTICA	SIM	VALOR PARA CADA PAREDE - NÃO SOMADAS	-
Dimensão horizontal da parede interna em contato com dormitório	AUTOMÁTICA	SIM	VALOR PARA CADA PAREDE - NÃO SOMADAS	-
Dimensão horizontal da parede interna em contato com APT	AUTOMÁTICA	SIM	VALOR PARA CADA PAREDE - NÃO SOMADAS	-
Área efetiva de abertura para ventilação	AUTOMÁTICA	SIM	VERIFICAR EXPRESSÃO PARA CADA TIPO DE ABERTURA	CRIAÇÃO DE UMA BIBLIOTECA DE ESQUADRIAS PRÉ-CONFIGURADAS
Fator solar do elemento transparente (FS)	MANUAL	SIM	PARA CADA MATERIAL DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	CRIAÇÃO DE UMA BIBLIOTECA DE ESQUADRIAS PRÉ-CONFIGURADAS
Pé Direito	AUTOMÁTICO	SIM	SEMPRE CONSIDERAR APENAS PAREDES INTERNAS	-
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Transmitância térmica das paredes externas (Upar)	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Transmitância térmica do piso (Upiso)	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS
Transmitância térmica do elemento transparente	MANUAL	SIM	PARA CADA COMPOSIÇÃO DEVERÃO SER INSERIDOS OS RESPECTIVOS VALORES	SALVAR DEFINIÇÕES NA BIBLIOTECA DE MATERIAIS

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar de alguns parâmetros terem sido inseridos manualmente, como no caso das propriedades térmicas dos componentes da edificação, o salvamento em uma biblioteca de favoritos automatiza o processo. Dessa forma a troca de sistema construtivo atualiza automaticamente os valores dos parâmetros analisados. Essa biblioteca poderá ainda ser ampliada com a configuração de novos e diversos sistemas construtivos e tipologias de esquadrias. Parâmetros relativos à geometria, como áreas, dimensões e pé direito, puderam ser extraídos de maneira automática através de expressões que vinculam o parâmetro criado ao valor determinado na modelagem.

Em relação às variáveis de ângulos , os valores foram inseridos manualmente após conferência em plantas e cortes, dado as dificuldades em estabelecer expressões que calculem a angulação exigida na INI-R em relação ao elemento de forma parametrizada. Para trabalhos futuros é interessante verificar cálculos e expressões que forneçam os valores angulares de forma paramétrica, embora isso possa revelar algumas limitações do *software*.

Por fim, observa-se a automação das tabelas facilitou a identificação rápida de desvios dos limites estabelecidos pela norma e a biblioteca de favoritos simplifica futuras atualizações. As principais dificuldades incluíram a inserção manual de parâmetros angulares por conta da dificuldade em configurar expressões mais complexas que poderiam parametrizar tais valores. A eficácia do método foi comprovada, mas ainda há espaço para melhorias, principalmente na parametrização dos ângulos e no aprofundamento do estudo para a checagem do método da INI-R como um todo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi explorar a inserção de parâmetros e criação de tabelas automatizadas que verificam a conformidade dos limites de aplicação do método simplificado da INI-R durante o processo de projeto, utilizando o Archicad. Visto que integrar o BIM com a INI-R, propondo soluções inovadoras que automatizem a análise de desempenho energético no processo de projeto arquitetônico, visa preencher a lacuna entre regulamentações e *workflows*, promovendo edificações mais eficientes. O desenvolvimento de um *template* no Archicad facilitará a adoção dessas práticas sustentáveis no mercado brasileiro. Esta análise foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica, abordando

temas para uma base teórica fundamental, quais sejam, sobre eficiência energética, etiquetagem de edificações no Brasil, o método da INI-R, BIM e o *software* Archicad, bem como uma breve avaliação do estado da arte sobre os temas estudados. Para a validação do estudo foi desenvolvido um *template* através da modelagem de um modelo de referência com a configuração de tabelas e propriedades para o a avaliação da conformidade dos limites do método. A automação das tabelas e a biblioteca de favoritos agilizam a identificação e atualização de desvios normativos, apesar da dificuldade na parametrização de ângulos. O método é eficaz, mas requer melhorias e aprofundamento do estudo INI-R.

Sendo assim, o trabalho poderá ainda avançar para a checagem do método simplificado da INI-R como um todo, através da avaliação da envoltória, condicionamento de ar e aquecimento de água. Visto as possibilidades que o *software* possibilita na configuração de parâmetros e cálculos complexos.

Este artigo contribui para o desenvolvimento de um método automatizado de aplicação de regulamentos de rotulagem em edifícios. Além disso, oferece suporte às equipes de projeto na exploração de alternativas de design durante as diferentes etapas do desenvolvimento.

8. BIBLIOGRAFIA

ADDOR, Miriam. BIM. **FÓRUM ASBEA; ENCONTRO REGIONAL**, v. 8, 2009.

BARISON, M. B. **Introdução da Modelagem da informação da Construção (BIM) no currículo – uma contribuição para a formação do projetista**. Tese doutorado USP, São Paulo, 2015.

BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf>> Acesso em: 08 set. 2024.

BRASIL. Portaria nº 309, de 06 de setembro de 2022. Aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2022.

BRACHT, M. K.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. *Automation in Construction*, v. 121, p. 103422, 2021.

DE ALMEIDA VASCONCELOS, Alexandre et al. Análise de um processo de projeto industrial de mineração com foco na validação para compatibilização dos modelos BIM (Building Information Modeling). 2019.

EASTMAN, Charles M. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

EPE. Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/RelatorioP3_Final.pdf. Acesso em: set. 2024.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023–Relatório Síntese. **EPE, Rio de Janeiro**, 2024

FOSSATI, Michele et al. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216-1231, 2016

FROTA, Anésia Barros. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2016.

GASPAR, João; TURRI, Natália. **ArchiCAD passo a passo**. Lulu. com, 2014.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: PW, 2013.

MARTINS, Fernanda Gonçalves et al. Avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas do Brasil por meio de um método simplificado. 2022.

MOREIRA, Fernando Augusto de Campos Pinheiro et al. O papel das instituições de ensino na difusão da tecnologia BIM. Estudo de caso: articulações e possibilidades emergentes na Escola de Arquitetura da UFMG. 2020.

MUTA, Luís Filipe et al. Análise do uso de BIM na extração dos dados necessários para a avaliação de eficiência energética da INI-C. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 19, p. 1-16, 2022.

PBE EDIFICA. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), [s.d.]. Disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/inirmanuais>>. Acesso em 30/06/2024

SOARES, Bárbara et al. Um Sistema para Gerenciamento Automático e Eficiência Energética em Prédios Inteligentes. 2017.

SOUZA, L.; AMORIM, S.; LYRIO, A. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: oportunidades no mercado imobiliário. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Paulo, vol. 4, n. 2, p. 26-53, nov 2009.

UNEP (2021). Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi, 2021.