

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROJETOS SUSTENTÁVEIS, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E MERCADO DE
CARBONO

LUCAS REBELLO MOREIRA

ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
COM SIMULAÇÃO TÉRMICA E LUMÍNICA
DE ACORDO COM A NBR 15.575-2013

CURITIBA

2020

LUCAS REBELLO MOREIRA

**ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
COM SIMULAÇÃO TÉRMICA E LUMÍNICA
DE ACORDO COM A NBR 15.575-2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final à obtenção do título de Especialista em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José A. Freitas Jr

CURITIBA

2020

Dedico este trabalho, em primeiro lugar, a minha família, em especial minha mãe, meu irmão, meu tio Nilson e meu pai, a mais nova estrela que brilha nesse grandioso céu. Dedico também a minha namorada, meus amigos e colegas que sempre estão comigo em todos os momentos da vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e ao meu guia espiritual pelo apoio incondicional.

À minha família por toda tolerância, apoio e auxílio a mim prestados. Saibam que mesmo nos momentos mais complicados, vocês foram meus pilares para continuar seguindo minha caminhada.

À minha namorada, que sempre me ajuda, ampara e apoia nos momentos bons, mas também nos mais complicados.

Ao meu orientador, José Freitas, pelo apoio, compreensão e motivação durante este trabalho.

A todos os meus amigos de Brasília e do intercâmbio, por todos os momentos de alegria e diversão juntos.

Ao meu pai e, agora, amigo do plano espiritual, Edgar Gomes Moreira, um agradecimento e homenagem especiais para uma grande pessoa que partiu para uma nova vida, mas que muito contribuiu para meu crescimento pessoal e profissional, para esse trabalho e para toda uma vida.

Lucas Rebello Moreira

O tempo que você gosta de perder não é
tempo perdido.
(RUSSELL, Bertrand)

RESUMO

MOREIRA, L.R. **Estudo de caso de uma edificação residencial com simulação térmica e lumínica de acordo com a NBR 15.575-2013**. 2020. 69 f. Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020

Este trabalho teve por objetivo realizar a análise da envoltória de uma edificação residencial localizada em Ceilândia-DF por meio de software computacional e simulação termoenergética e lumínica. A metodologia seguida foi a empregada na NBR 15.575. Neste trabalho é analisado o impacto da construção em alvenaria, vidros e esquadrias na carga térmica e na luminância dos ambientes, dessa forma, o trabalho analisa a condutibilidade térmica e lumínica dos materiais empregados, em geral, alvenaria convencional, nos fechamentos externos para o desempenho da edificação. Após realização das simulações, as análises indicaram que a edificação alcançou classificação mínima para desempenho lumínico e classificação intermediária para desempenho térmico e portanto, atendeu para todas as análises, pelo menos, os requisitos mínimos estipulados pela norma NBR 15.575-2013.

Palavras-chave: Eficiência Energética. NBR 15.575. Simulação Termoenergética. Simulação Lumínica. Desempenho de Edificações Residenciais

ABSTRACT

MOREIRA, L.R. **Estudo de caso de uma edificação residencial com simulação térmica e lumínica de acordo com a NBR 15.575-2013**. 2020. 69 f. Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2020

This paper aims to analyze the envelope of a residential building located in Ceilândia-DF through computational analysis using a software for thermoenergetic and light simulation. The methodology followed was the one presented in the normative NBR 15.575. This paper presents the impacts of construction on masonry, glass and window frames, thus, the work analyzes the thermal and light conductivity of the materials used in the external closures for the performance of the building. After concluding the simulations, the analysis indicated that the building achieved minimum classification for lumen performance and intermediate classification for thermal performance, and so, performed as required by the normative NBR 15.575-2013.

Keywords: Energy efficiency. NBR 15,575. Thermoenergetic Simulation. Light Simulation. Residential Buildings Performance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação da participação do consumo de energia em 2015 (BEN, 2016).	19
Figura 2 - Consumo residencial de energia por fonte, em 2015 (BEN, 2016)	20
Figura 3 - Emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira (BEN, 2016)	20
Figura 4 - Imagem 3D da edificação, com orientação.	29
Figura 5 - Planta Baixa do pavimento TIPO 1, pavimentos 3 a 13	30
Figura 6 - Planta Baixa do pavimento TIPO 2, pavimentos 14 a 19.	31
Figura 7 - Demonstrativo da divisão de ambientes para o edifício residencial.	31
Figura 8 - Demonstrativo da edificação com efeito de sombreamento de edificação vizinha para o dia 23 de abril as 09h30min.	36
Figura 9 - Definição dos apartamentos TIPO 1 e TIPO 2.	37
Figura 10 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 9h30min do dia 23 de abril.	44
Figura 11 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, às 9h30min do dia 23 de abril.	45
Figura 12 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 15h30min do dia 23 de abril.	45
Figura 13 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, às 15h30min do dia 23 de abril.	46
Figura 14 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 9h30min do dia 23 de outubro.	46
Figura 15 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, às 9h30min do dia 23 de outubro.	47
Figura 16 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 15h30min do dia 23 de outubro.	47
Figura 17 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, as 15h30min do dia 23 de outubro.	48
Figura 18 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 09h30min do dia 23 de abril.	48
Figura 19 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 15h30min do dia 23 de abril.	49
Figura 20 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 09h30min do dia 23 de outubro.	49
Figura 21 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 15h30min do dia 23 de outubro.	50
Figura 22 - Distribuição lumínica artificial para o QUARTO do apartamento TIPO 1.	59
Figura 23 - Distribuição lumínica artificial para a SUITE do apartamento TIPO 1.	59
Figura 24 - Distribuição lumínica artificial para a SALA do apartamento TIPO 1.	59
Figura 25 - Distribuição lumínica artificial para o LAVABO do apartamento TIPO 1.	60
Figura 26 - Distribuição lumínica artificial para o BANHEIRO do apartamento TIPO 1	60

Figura 27 - Distribuição lumínica artificial para o QUARTO do apartamento TIPO 2.	61
Figura 28 - Distribuição lumínica artificial para a SUITE do apartamento TIPO 2.	61
Figura 29 - Distribuição lumínica artificial para a SALA do apartamento TIPO 2.	62
Figura 30 - Distribuição lumínica artificial para o LAVABO do apartamento TIPO 2.	62
Figura 31 - Distribuição lumínica artificial para o BANHEIRO do apartamento TIPO 2.	62
Figura 32 - Distribuição lumínica artificial para Hall de acesso, conforme projeto lumínico existente.....	64
Figura 33 - Distribuição lumínica artificial para a GARAGEM no segundo pavimento, conforme projeto lumínico existente.....	64
Figura 34 - Distribuição lumínica artificial para a GARAGEM no térreo e primeiro pavimento, conforme projeto lumínico existente.	65
Figura 35 - Distribuição lumínica artificial para a GARAGEM dos subsolos, conforme projeto lumínico existente.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico mínimo para condições de verão.	25
Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico mínimo para condições de inverno.	26
Tabela 3 - Níveis de iluminação natural por ambientes.....	27
Tabela 4 - Níveis de iluminação artificial por ambientes.	28
Tabela 5 - Dados da cidade de Brasília determinados pela NBR 15.575.....	29
Tabela 6 - Composição e propriedades térmicas das superfícies opacas.	32
Tabela 7 - Composição e propriedades térmicas das superfícies translúcidas.	33
Tabela 8 - Tipologia dos modelos de luminárias utilizados.	37
Tabela 9 - Aplicação dos tipos de luminárias aos ambientes.	37
Tabela 10 - Temperatura máxima interna, temperatura máxima externa e diferença de temperaturas entre as máximas internas e máximas externas para o dia típico de verão.	39
Tabela 11 - Mínima temperatura interna, mínima temperatura externa e diferença de temperaturas entre as mínimas internas e mínimas externas para o dia típico de inverno.	42
Tabela 12 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de abril às 09h30min.	51
Tabela 13 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de abril às 15h30min.	52
Tabela 14 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de outubro às 09h30min.....	54
Tabela 15 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de outubro às 15h30min.....	55
Tabela 16 - Classificação de Desempenho de iluminação natural por ambiente.	57
Tabela 17 - Resultados obtidos do software e Nível de atendimento a NBR 15.575 para os ambientes do apartamento TIPO 1.	60
Tabela 18 - Resumo dos resultados obtidos do software e Nível de atendimento a NBR 15.575 para os ambientes do apartamento TIPO 2.	63
Tabela 19 - Tipologia dos modelos de luminárias utilizados para ambientes comuns.	63
Tabela 20 - Aplicação dos tipos de luminárias aos ambientes.	64
Tabela 21 - Resumo dos resultados obtidos do software e Nível de atendimento a NBR 15.575 para as áreas comuns.	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	American National Standards
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards
DF	Distrito Federal
EISA	Ato de Independência e Segurança Energética
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ICENV	Indicador de Consumo da Envoltória
IES	Integrated Environmental Solutions
ISO	International Organization for Standardization
JSA	Japanese Standards Association
LED	Light Emitting Diode
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	Norma Técnica Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
UNE	Una Norma Española

SUMÁRIO

1 JUSTIFICATIVA	15
2 OBJETIVOS	15
3 INTRODUÇÃO	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
5 METODOLOGIA	23
5.1 SOFTWARE.....	23
5.2 CONDIÇÕES DE AVALIAÇÃO	23
5.3 A NORMA NBR 15.575.....	24
5.3.1 Desempenho Térmico da Edificação	24
5.3.2 Desempenho Lumínico da Edificação.....	27
6 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	29
6.1 LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO.....	29
6.2 CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS.....	30
6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS “PAVIMENTOS TIPO”	30
6.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	32
6.5 CARGAS INTERNAS.....	33
7 ANÁLISE TÉRMICA	34
7.1 ANÁLISE TÉRMICA PARA O VERÃO.....	34
7.2 ANÁLISE TÉRMICA PARA O INVERNO.....	34
8 ANÁLISE LUMÍNICA	35
8.1 ANÁLISE LUMÍNICA NATURAL	35
8.2 ANÁLISE LUMÍNICA ARTIFICIAL	36
9 RESULTADOS	39
9.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO TÉRMICA PARA O VERÃO.....	39
9.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO TÉRMICA PARA O INVERNO.....	41
9.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO LUMÍNICA NATURAL	44
9.4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO LUMÍNICA ARTIFICIAL	58
10 CONCLUSÃO	67
11 PROPOSTAS DE MELHORIA	68
REFERENCIAS	69

1 JUSTIFICATIVA

A motivação deste trabalho é oriunda do Plano Nacional de Eficiência energética, que apresenta a meta de empreendimentos públicos possuírem certificação energética até atual ano e empreendimentos comerciais possuírem alguma certificação energética até o final de 2025.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é verificar o atendimento das exigências mínimas estabelecidas pela NBR 15.575-2013 pela edificação situada em Ceilândia.

Associado a este objetivo temos objetivos secundários, os quais precisam ser atingidos para cumprimento do objetivo principal, são estes:

- determinar a temperatura interna nos ambientes ocupados dos pavimentos residenciais, a fim de se verificar a diferença entre a temperatura interna do ambiente e a temperatura do ar exterior a edificação, tanto no verão quanto no inverno, para atendimento da norma NBR 15.575;
- verificar se os níveis gerais de iluminação natural nas diferentes dependências do edifício habitacional superam o mínimo estabelecido pela norma NBR 15.575;
- verificar se os níveis gerais de iluminação artificial nas diferentes dependências do edifício habitacional superam o mínimo estabelecido pela norma NBR 15.575.

3 INTRODUÇÃO

O edifício residencial analisado situa-se em Ceilândia no Distrito Federal. A edificação que ainda se encontra em fase de projeto possuirá um total de 20 pavimentos e 3 subsolos. Desses pavimentos, os três pavimentos no subsolo, o primeiro pavimento e o segundo pavimento serão garagens e ambientes comuns do prédio (portaria, sala multiuso, etc.). Os pavimentos compreendidos do terceiro ao décimo nono andar serão exclusivamente residenciais, possuindo duas configurações distintas. O décimo terceiro pavimento possui parte de sua cobertura exposta, enquanto o décimo nono pavimento possui sua cobertura completamente exposta. Assim, o vigésimo pavimento compreenderá a cobertura do edifício.

Por se tratar de um empreendimento residencial o edifício busca o atendimento a norma NBR 15.575-2013. Ainda na fase de projeto, para que a análise térmica e lumínica da edificação possuam o objetivo de prever as temperaturas internas de cada ambiente e o nível de iluminação natural e artificial e, se necessário, avaliar possíveis interferências a serem realizadas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Historicamente, com a crise do petróleo ocorrida na década de 70, muitos países investiram recursos em pesquisas para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e sistemas com elevada eficiência. Grande atenção foi voltada ao desempenho energético das edificações (setores residencial, comercial e público), responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica na maioria dos países. Países da Europa e os Estados Unidos, fortemente dependentes de petróleo e carvão para o suprimento de energia elétrica, começaram a financiar iniciativas que promovessem o desenvolvimento de edificações mais eficientes, fossem elas já construídas, conhecido como *retrofit*¹, ou em fase de projeto, por meio da adoção de alternativas que proporcionem menor consumo de energia. O conceito de eficiência energética passou a vigorar em muitos escritórios de engenharia e arquitetura e principalmente no setor público, que precisava promover o uso de tecnologias que proporcionassem o mesmo serviço consumindo menos energia (MENDES, et. al., 2005).

Em 2012 a expansão do consumo de energia elétrica no Brasil aumentou consideravelmente, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) a potência demandada por sistemas de climatização já representava 11,8% de toda a capacidade instalada no país, sendo que os edifícios comerciais são os grandes responsáveis por boa fatia dessa demanda, visto que nessas edificações 48%, em média, da conta de luz deve-se ao condicionamento artificial, um importante consumidor de energia elétrica na atualidade (ELETROBRÁS/PROCEL, 2009).

A partir de 2007, nos Estados Unidos, com o EISA (Ato de Independência e Segurança Energética), e a partir de 2010, na Europa, com a Diretriz de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD - Energy Performance of Buildings Directive), programas visando o aumento gradual da eficiência das edificações são iniciados, e atrelado a estes programas, o incentivo para que o número de construções com balanço energético nulo cresça até que se atinja o nível de 100%.

No Brasil, a certificação ambiental de prédios já é percebida pelos agentes do setor da construção civil, e o interesse pelo tema está se consolidando. O primeiro

¹ Retrofit é o termo utilizado, principalmente na área de engenharia e arquitetura, para descrever o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma.

sistema brasileiro de certificação ambiental de edifícios para o setor da construção civil foi criado em 2007, o Referencial Técnico de Certificação: edifícios do setor de serviços, sistema Alta Qualidade Ambiental (AQUA), da Fundação Vanzolini. (AULICINO, P., 2008).

Outras iniciativas identificadas consistem na criação, em 2003, do Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA, que visa incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente (BRASIL, 2009), e o Selo Azul da Caixa Econômica Federal, que certifica empreendimentos segundo 46 critérios (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2009).

No Brasil também foram estabelecidas metas para aumentar a eficiência das edificações por meio do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF), que estabeleceu o prazo de 2020 para os empreendimentos públicos e 2025 para os edifícios comerciais adquirirem etiqueta de eficiência energética. Esta etiqueta consiste em um selo garantido por meio de certificação. Atualmente, no Brasil, os selos e eficiência podem ser o americano LEED (Leadership Energy and Environmental Design), o AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e o PROCEL Edificações.

Além dos selos que certificam as edificações comerciais públicas e privadas quanto ao seu consumo de energia e recursos, foram criadas algumas normas que regulamentam e parametrizam a construção de edificações residenciais visando garantir a eficiência na sua construção e operação. Entre essas normas está a NBR 15.575, que estabelece parâmetros de avaliação e desempenho mínimos para edificações residências. A norma em questão se divide em seis seções:

Parte 1: Requisitos gerais;

Parte 2: Sistemas estruturais;

Parte 3: Sistemas de pisos;

Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5: Sistemas de coberturas;

Parte 6: Sistemas hidrossanitários.

Em suma, a NBR 15.575, que está em vigor desde junho de 2013, regulamenta o desempenho de edificações habitacionais e seus sistemas, de acordo com a utilização, pelo usuário, de cada edificação. Alguns dos principais conceitos

abordados pela norma são: vida útil, garantia legal, garantia certificada e prazos de garantia. Além disso, a norma define responsabilidades para os participantes de todas as etapas da obra, desde a fase de estudo e construção até a fase de habitação e operação da edificação.

A Figura 1 mostra que, em se tratando de edificações habitacionais, 9,6% de toda a produção de energia elétrica de 2015 foi consumida por residências, identificando a importância de investimento e estudos em reduções do consumo elétrico desse setor.

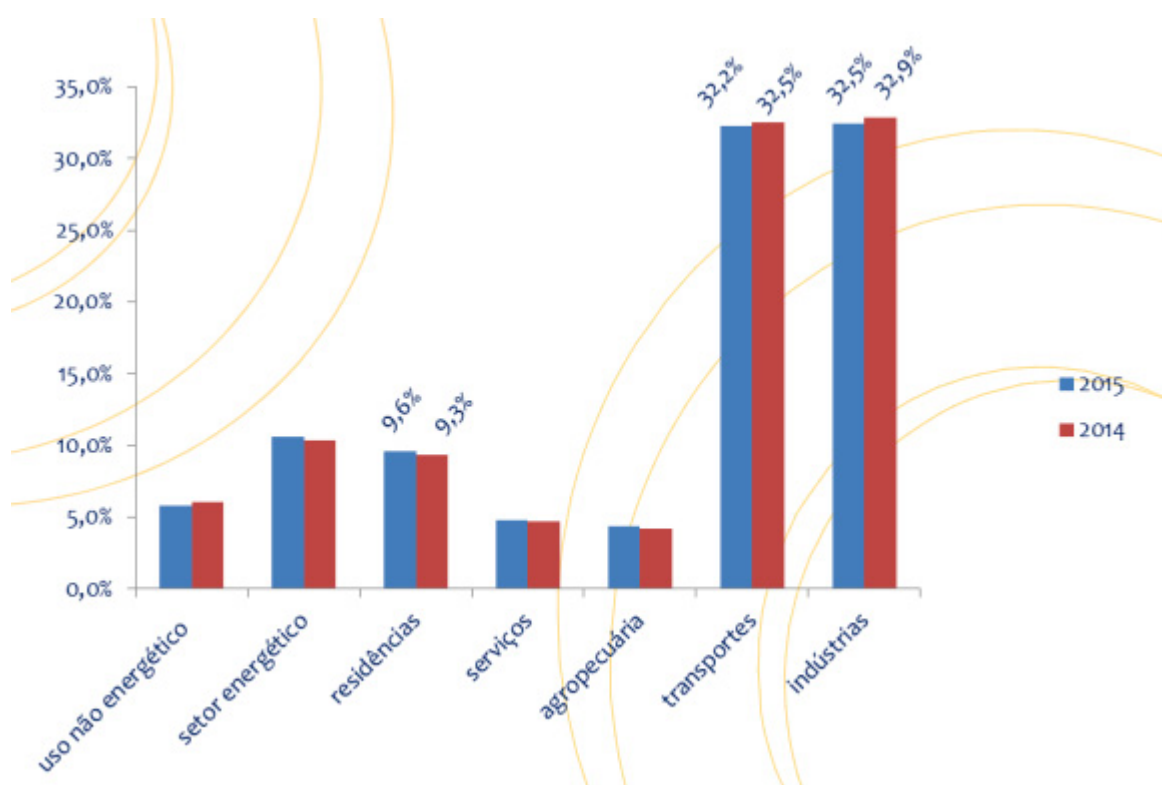


Figura 1 - Variação da participação do consumo de energia em 2015 (BEN, 2016)

Ainda em 2015, segundo o Ministério de Minas e Energia, a energia residencial advinda da eletricidade representou 45,2% de toda a energia residencial consumida, conforme mostra a Figura 2. Dessa parcela de energia elétrica, cerca de 15,1%, é consumido por aquecedores e resfriadores de ambientes, representando, em média um terço de toda a energia consumida em residências.

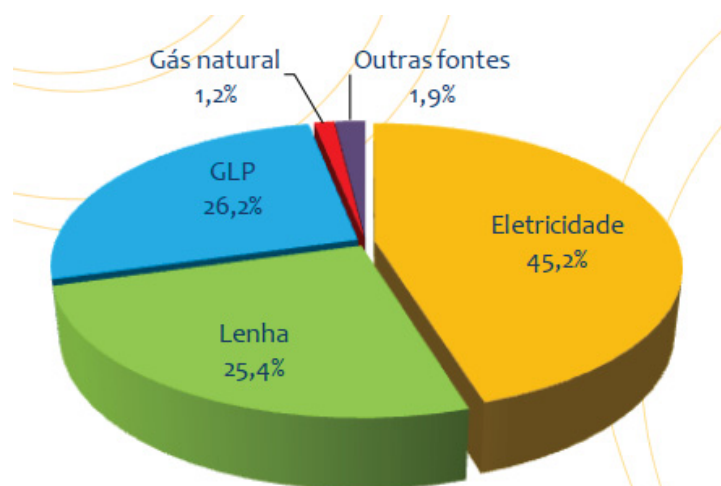


Figura 2 - Consumo residencial de energia por fonte, em 2015 (BEN, 2016)

Diante do atual cenário, é fundamental a difusão de análises que possibilitem a redução do ganho de energia térmica por uma edificação, visando a redução no consumo de energia e redução das emissões gerais de gases poluentes decorrentes de todo o processo de geração, transporte e consumo de energia elétrica em edificações habitacionais. Somente em 2015, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 462,3 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (BEN, 2016). A Figura 3 apresenta os valores brutos e percentuais equivalentes a emissões antrópicas de cada setor consumidor de energia no Brasil, em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂-eq) e em percentual.

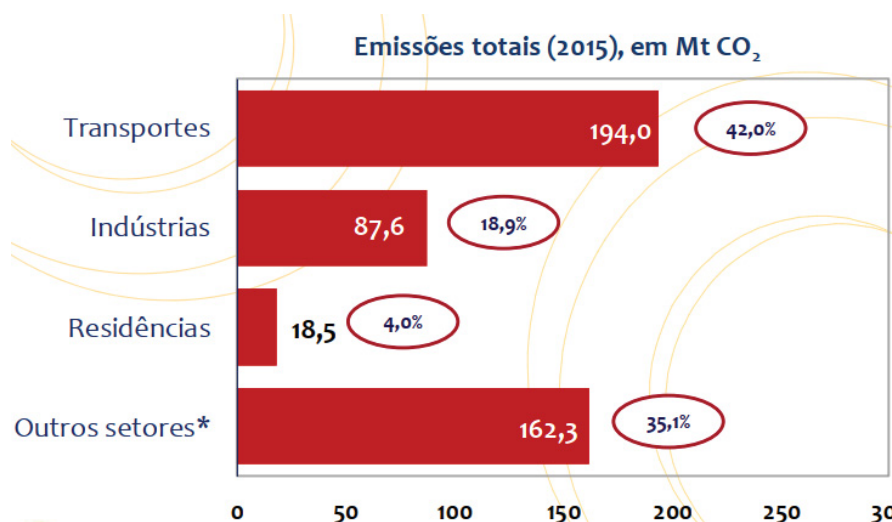


Figura 3 - Emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira (BEN, 2016)

É evidente que a análise do ganho de energia térmica em uma edificação habitacional por meio de simulação termoenergética, onde analisa-se o ganho externo

de energia térmica, é de grande valia na busca pela ótima solução para a redução do consumo de energia elétrica e emissões de poluentes por estas construções. Além disso, a análise lumínica dos ambientes permite identificar possíveis melhorias. Melhorias essas obtidas através da utilização de estratégias como o aumento e/ou redução de uma abertura voltada para o exterior, possibilitando aumento do desempenho térmico e lumínico da edificação e podendo resultar também em redução do consumo de energia geral do empreendimento.

Através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução. Atualmente, existem mais de 290 programas de simulação listados no Building Energy Tools Directory (MENDES, N., et. al., 2005).

No estudo de Carlo (2008), as equações que fornecem o Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}) foram utilizadas na “Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos”, o qual deu origem ao RTQ-C, tendo sido desenvolvidas para climas brasileiros diversos de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Conforme explicado por Krüger (2012), o item da envoltória indica o seu nível de eficiência energética segundo os parâmetros de classificação do Inmetro, sendo o nível mais elevado eficiência “A” e o mais baixo, eficiência “E”. O nível de eficiência é classificado de “A” a “E” para três quesitos. Para o caso, calcula-se também uma pontuação geral para a edificação. Para determinação do nível de eficiência global da edificação são analisados os seguintes itens com seus respectivos pesos:

- envoltória (30%);
- sistema de iluminação (30%), e
- sistema de condicionamento de ar (40%).

O termo envoltória corresponde a “casca” do edifício. Conforme explicita o trabalho de Krüger (2012) as variáveis que são usadas para o cálculo do fator IC_{env}, são as seguintes:

- a) área de janelas;

- b) existência e dimensões de proteções solares;
- c) tipos de vidro;
- d) dimensões da edificação; e
- e) zoneamento bioclimático brasileiro.

Mais uma vez, segundo bem explicou Krüger (2012) em seu trabalho, edifícios que possuem áreas não condicionadas devem comprovar por simulação computacional que nesses locais a temperatura está dentro da zona de conforto durante um considerável percentual de tempo das horas de uso durante o ano, que é exatamente parte do método abordado pela NBR 15.575-2013, para edifícios residenciais (KRÜGER, E., 2012).

Os conceitos e definições das variáveis das equações do IC_{env} são os constantes no RTQ-C e disponíveis no Inmetro (INSTITUTO, 2010).

Entretanto, a análise do desempenho energético de edificações é uma tarefa um tanto quanto complexa, envolvendo desde simples informações como localização e orientação da edificação como complexas variáveis multidisciplinares dos materiais e informações da ocupação.

Dessa forma, a avaliação global do desempenho térmico de edificações pode ser realizada por meio de simulação computacional e por medição em campo. Quando por simulação computacional, em geral, dois requisitos devem ser avaliados: as exigências de desempenho no verão e no inverno. Estes são os dois métodos abordados pela norma que trataremos ao longo deste trabalho. Pelo método de simulação, para o verão, a edificação deve apresentar condições térmicas em seu interior equivalentes ou melhores às do ambiente externo, à sombra para o dia típico do período. Para o inverno, a edificação deve apresentar condições térmicas em seu interior melhores às do ambiente externo, no seu dia típico (ABNT, 2008).

Este trabalho, então, avaliará termicamente e luminicamente o caso de uma edificação em fase de projeto que será construída em Ceilândia – DF.

5 METODOLOGIA

Esta seção do trabalho tem por objetivo estabelecer os critérios da simulação termoenergética para análise da edificação como um todo.

5.1 SOFTWARE

O projeto, em sua parte térmica, foi embasado em Simulação Térmica Computacional realizada no software IES - Virtual Environment, Versão 2018 1.1.0, validado no BESTEST adotado pela ANSI/ASHRAE Standard 140-2014.

Para a simulação lumínica, foram utilizados os softwares DIALUX, Versão 2017 4.13, para o cálculo da iluminação artificial e o software IES – Virtual Environment, Versão 2018 1.1.0 para o cálculo de iluminação natural.

5.2 CONDIÇÕES DE AVALIAÇÃO

A simulação foi executada para as 8760 horas de um ano e os resultados foram analisados para duas condições:

- 01 (um) dia típico de verão e um dia típico de inverno com condições climáticas definidas por norma e que se equivale a média dos dados climáticos dos últimos 10 anos e;
- 01 (um) arquivo climático de um ano típico disponibilizado pela ASHRAE para a cidade de Brasília-DF.

Para adequação térmica do primeiro dia do ano, os cálculos térmicos foram iniciados dez dias antes do primeiro dia do ano, possibilitando a contabilização da inércia térmica da edificação já no início da simulação – no primeiro dia do ano.

Para a simulação anual, os cálculos foram realizados com um *time-step*² de 10 minutos e a representação dos resultados foi feita com a mesma fração horária.

² É a variação incremental no tempo para a qual as equações governantes estão sendo resolvidas. Foi selecionado um tamanho pequeno de incremento de tempo para obter de maneira bem definida todas as flutuações do fluxo analisadas.

5.3 A NORMA NBR 15.575

A norma NBR 15.575-2013 foi desenvolvida para verificação do desempenho de edificação habitacionais. A norma busca atender às exigências dos usuários, que, no caso desta norma, referem-se a sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado.

A NBR 15.575 é embasada em diversas outras normas, como:

- NBR's da ABNT;
- normas ANSI/ASHRAE;
- standard 140 da ASHRAE;
- normas ASTM
- norma BS 7453;
- eurocodes;
- normas ISO's
- norma JSA-1423;
- normas UNE.

Ressalta-se que a norma em questão é complementar às normas prescritivas, e desta forma, não as substituem.

5.3.1 Desempenho Térmico da Edificação

A NBR 15.575-2013, em sua seção 11. Desempenho Térmico, determina o procedimento que deve ser adotado para o cálculo da temperatura interna de cada ambiente ocupado.

Primeiramente, deve ser selecionada a zona bioclimática na qual a edificação está inserida consultando a ABNT NBR 15.220-3. Após selecionamento da zona bioclimática, na seção 16.2 Simulação Computacional – Introdução da NBR 15.575-2013, são descritos critérios que a simulação computacional deve atender, alguns são:

- utilização de Software validado no ASHRAE Standard 140;
- consideração da habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica;

- utilização de dados dos materiais construtivos diretamente obtidos com o fabricante, ou os dados disponibilizados na NBR 15.220-2;
- as tabelas A1, A2 e A3, apresentadas no anexo A da NBR 15.575.

Por fim, são estabelecidos os requisitos mínimos que a edificação atenda, tanto no dia típico de verão quanto no dia típico de inverno.

Dessa forma, para o verão, a norma determina que o valor máximo diário da temperatura do ar no interior de recintos de permanência prolongada deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, na sombra, portanto, para atendimento aos requisitos mínimos da norma, a equação abaixo deve ser válida para a edificação no dia típico de verão.

$$T_{int,max} \leq T_{ext,max}$$

Equação 1 - Equação para conformidade de desempenho térmico mínimo para condições de verão.

Complementarmente, a Tabela 1 abaixo deve ser analisada para obtenção dos requisitos intermediário e superior para a edificação simulada no dia típico verão.

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico mínimo para condições de verão.

Nível de desempenho	Critério
Mínimo	$T_{int,max} \leq T_{ext,max}$
Intermediário	$T_{int,max} \leq (T_{ext,max} - 2^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{int,max} \leq (T_{ext,max} - 4^{\circ}\text{C})$

Tanto na Equação 1 quanto na Tabela 1 acima $T_{int,max}$ é a máxima temperatura diária do ar no interior do ambiente e $T_{ext,max}$ é a máxima temperatura diária do ar externo.

Já para o inverno, a abordagem é diferente, pois trata das mínimas temperaturas diárias internas ao ambiente e externas ao prédio. Como nesta época do ano ocorrem temperaturas mais baixas, a norma estipula que os valores mínimos diários de temperatura do ar no interior de recintos de permanência prolongada devam ser maiores ou iguais à temperatura mínima externa diária acrescida de três graus Celsius. Portanto, a equação apresentada abaixo deve ser sempre atendida para obtenção de desempenho térmico mínimo, pela edificação no dia típico de inverno.

$$T_{int, min} \geq (T_{ext, min} + 3^{\circ}C)$$

Equação 2 - Equação para conformidade de desempenho térmico mínimo para condições de inverno.

Complementarmente, a Tabela 2 abaixo deve ser analisada para obtenção dos requisitos intermediário e superior para a edificação no inverno.

Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico mínimo para condições de inverno.

Nível de desempenho	Critério
Mínimo	$T_{int, min} \geq (T_{ext, min} + 3^{\circ}C)$
Intermediário	$T_{int, min} \geq (T_{ext, min} + 5^{\circ}C)$
Superior	$T_{int, min} \geq (T_{ext, min} + 7^{\circ}C)$

Tanto na Equação 2 quanto na Tabela 2, apresentadas acima, $T_{int, min}$ é a mínima temperatura diária do ar no interior do ambiente e $T_{ext, min}$ é a mínima temperatura diária do ar externo.

Tanto para o verão quanto para o inverno, a norma determina que para edificações multipiso deve-se selecionar a unidade habitacional representativa da edificação no último andar, com a cobertura exposta e dessa forma simular todos os requisitos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos de dormitórios e de salas considerando que:

- unidades habitacionais adjacentes a unidade analisa apresentam a mesma condição térmica da unidade analisada;
- a edificação deve ser orientada conforme implantação.

Além disso, como condição crítica, do ponto de vista térmico, a norma recomenda que:

- para o verão sejam analisados os ambientes de dormitório ou sala com pelo menos uma janela voltada para o oeste e, se possível, uma parede exposta voltada para o norte;
- para o inverno sejam analisados os ambientes de dormitório ou sala com pelo menos uma janela voltada para o sul e, se possível, uma parede exposta voltada para o leste;

- nas simulações de verão e inverno deve-se considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetações nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento.

5.3.2 Desempenho Lumínico da Edificação

Em se tratando da simulação para o desempenho lumínico da edificação, duas exigências devem ser atendidas, uma para o requisito de iluminação natural, e outra para o requisito de iluminação artificial.

Para o requisito de iluminação natural, durante o dia, os ambientes de Sala de estar, Dormitório, Copa/Cozinha e Área de serviço devem receber iluminação natural igual ou maior que 60 lux para atingirem o requisito mínimo solicitado pela norma, isto para o centro do ambiente e em um plano que passa 0,75 metros acima do piso. Para atender a essa exigência, os ambientes devem ser simulados em 4 condições, são elas:

- As 09h30min do dia 23 de abril;
- As 15h30min do dia 23 de abril;
- As 09h30min do dia 23 de outubro e;
- As 15h30min do dia 23 de outubro.

Outros ambientes de permanência transitória, como banheiros e corredores não exigem níveis mínimos de iluminação natural. Dessa forma, a Tabela 3 abaixo mostra os ambientes e seus valores de iluminação natural para atendimentos aos critérios mínimos, intermediários e superior de iluminação natural.

Tabela 3 - Níveis de iluminação natural por ambientes.

Dependência	Iluminação geral (lux) – Nível Mínimo	Iluminação geral (lux) – Nível Intermediário	Iluminação geral (lux) – Nível Superior
Sala de Estar Dormitório Copa ou Cozinha Área de serviço	≥60	≥90	≥120
Banheiro Corredor ou escada interna Corredor de uso comum Garagens e estacionamentos	Não exigido	≥30	≥45

Aqui ressalta-se que para os ambientes de corredor ou banheiro, optou-se pela não realização da simulação, uma vez que está não é exigida para atendimento aos requisitos mínimos de luminância.

Para o requisito de iluminação artificial, durante a noite, os ambientes devem atender ao disposto na Tabela 4, abaixo. Dessa forma, a Tabela 4 abaixo mostra os ambientes e seus valores de iluminação artificial para atendimento aos critérios mínimos, intermediários e superior de iluminação artificial, todos para medição ao centro de um plano que passa 0,80 metros acima do piso.

Tabela 4 - Níveis de iluminação artificial por ambientes.

Dependência	Iluminação geral (lux) – Nível Mínimo	Iluminação geral (lux) – Nível Intermediário	Iluminação geral (lux) – Nível Superior
Sala de Estar Dormitório Banheiro Área de serviço Garagens/estacionamentos internos e cobertos	≥100	≥150	≥200
Copa ou cozinha	≥200	≥300	≥400
Corredor ou escada interna Corredor de uso comum Escadaria de uso comum	≥100	≥150	≥200
Garagens ou estacionamentos descobertos	≥20	≥30	≥40

6 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Nesta seção serão definidas todas as características próprias da edificação como, localização e orientação, condições climatológicas aplicadas, características construtivas e outros pormenores.

6.1 LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO

A edificação está localizada na Ceilândia – DF, nas proximidades de Brasília – DF. As condições de localização e altitude simuladas foram ajustas conforme determina a Tabela A1, no anexo A da NBR 15.575-2013. Abaixo, na Tabela 5 são apresentadas as condições determinadas pela norma para a cidade de Brasília.

Tabela 5 - Dados da cidade de Brasília determinados pela NBR 15.575.

UF	Zona Bioclimática	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude [m]
DF	4	Brasília	15,78 S	47,93 W	1160

O norte do edifício está, de acordo com projeto arquitetônico, a 298° norte (62° em sentido anti-horário), conforme mostra a Figura 4.

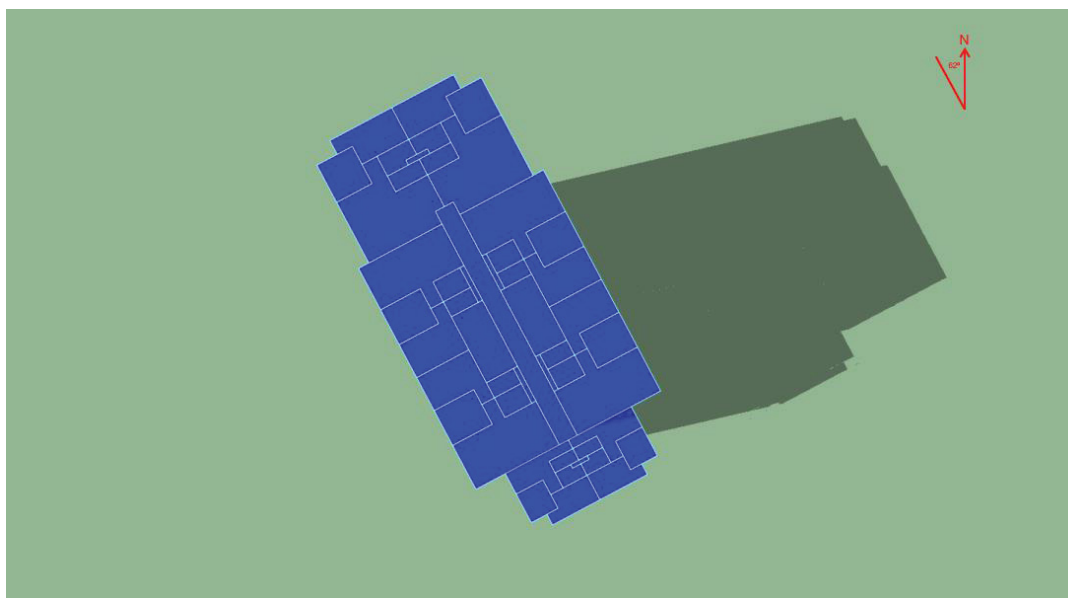


Figura 4 - Imagem 3D da edificação, com orientação.

6.2 CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS

O arquivo climático que melhor representa a localização do projeto é o da ASHRAE – Brasília Intl Airport, ajustado com os dados abaixo, obtidos do Tabela A2, do anexo A da NBR 15.575-2013:

- Máxima Temperatura Diária: 31,2 °C;
- Amplitude Diária de Temperatura: 12,5 °C;
- Temperatura de Bulbo Úmido: 20,9 °C;
- Radiação Solar: 4625 Wh/m²;
- Nebulosidade décimos: 4.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS “PAVIMENTOS TIPO”

A Edificação possui um total de 20 pavimentos, destes, os pavimentos de 3 a 13 são representados pelo pavimento TIPO 1, conforme mostra a Figura 5 abaixo e os pavimento de 14 a 19 são representados pelo pavimento TIPO 2, conforme mostra a Figura 6.

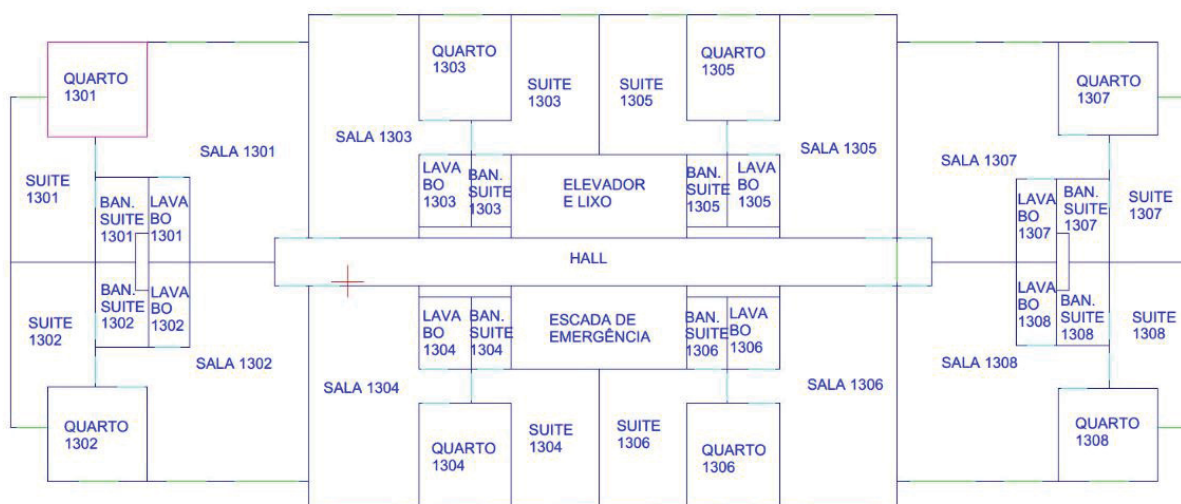


Figura 5 - Planta Baixa do pavimento TIPO 1, pavimentos 3 a 13

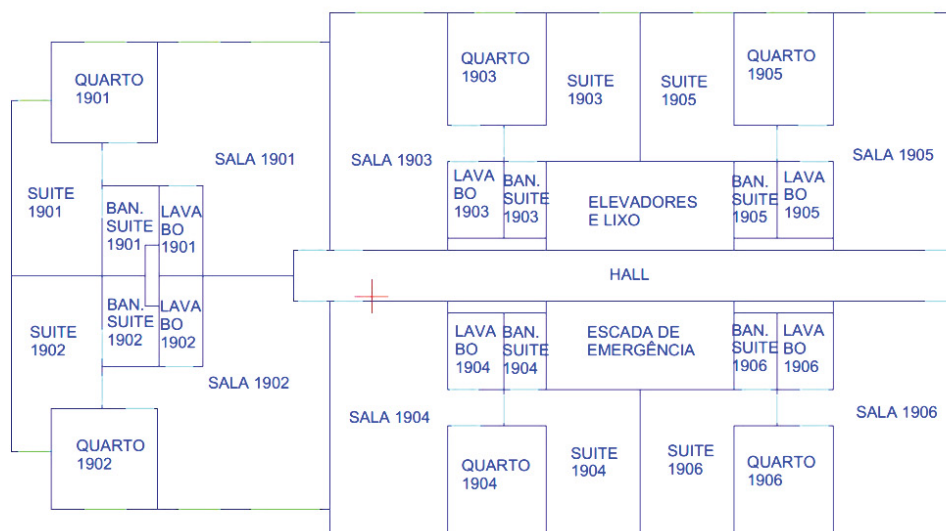


Figura 6 - Planta Baixa do pavimento TIPO 2, pavimentos 14 a 19.

Para os pavimentos 3, 13 e 19, as zonas térmicas foram modeladas individualmente, ambiente a ambiente, e conforme determina a norma. Para os demais pavimentos, é adotada uma simplificação, como permite a norma, e os ambientes dos demais pavimentos são modelados em conjunto.

Para análise térmica, serão considerados os pavimentos 13 e 19, por possuírem cobertura exposta em sua parte superior, e os demais pavimentos serão modelados conjuntamente. Para a análise lumínica, serão considerados os pavimentos 3, 13 e 19 devido a existência de edificação adjacente ao edifício residencial com altura equivalente a três pavimentos. A Figura 7 mostra a divisão de zonas térmicas realizada para a edificação.

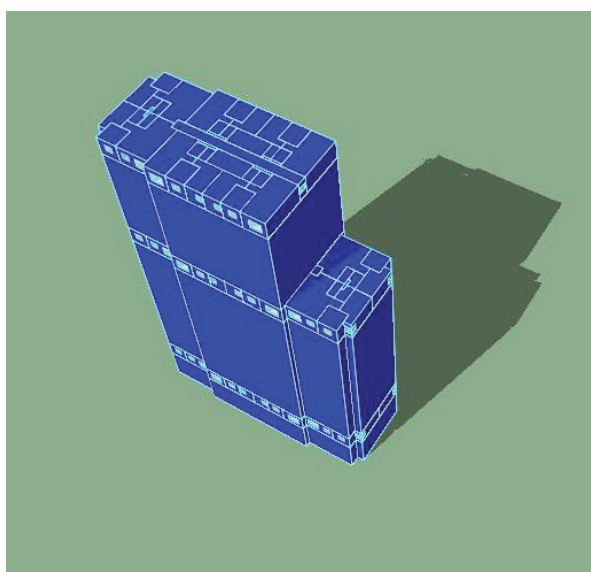


Figura 7 - Demonstrativo da divisão de ambientes para o edifício residencial.

Na Figura 7, mostrada acima, é importante destacar que os pavimentos que possuem suas coberturas expostas, pavimento 13 e 19, são os pavimentos que estão sendo levados em consideração na análise térmica.

6.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

São permitidas duas abordagens para a modelagem da composição dos materiais para a simulação:

- Composição dos materiais com suas propriedades definidas em laboratório, a partir de uma amostra, através de um método de ensaio normalizado;
- Composição dos materiais e suas propriedades térmicas definida com base nos dados disponibilizados pela NBR 15.220-Parte 2 como referência.

Para a simulação do Edifício Residencial, a composição dos materiais e das propriedades térmicas destes foi feita com base na norma NBR 15.220-2013-Parte 2, e na ausência de dados relevantes para construção do material foi utilizada o Anexo V do PROCEL - portaria do Inmetro número 50/2013, que contém um catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros e é amplamente aceito no mercado.

Um resumo dos materiais utilizados, local de aplicação e de suas propriedades térmicas é apresentado na Tabela 6 e na Tabela 7 a seguir.

Tabela 6 - Composição e propriedades térmicas das superfícies opacas.

Identificação	Descrição	Espessura Total [m]	U-Value ³ [W/(m ² ·K)]	R-Value ⁴ [(m ² ·K)/W]
Paredes Externas	Parede composta por blocos cerâmicos furados na horizontal, com argamassa interna e externa, pintura interna em cor clara e pintura externa em cor escura.	0,183	2,4425	0,2323
Paredes Internas	Parede composta por blocos cerâmicos furados na horizontal, com argamassa interna e externa e pintura interna e externa em cor clara.	0,140	2,4345	0,1766

Identificação	Descrição	Espessura Total [m]	U-Value ³ [W/(m ² ·K)]	R-Value ⁴ [(m ² ·K)/W]
Lajes Internas	Laje de concreto nervurada com regularização, impermeabilização e proteção mecânica.	0,315	1,6665	0,3659
Telhados Externos	Laje nervurada com isopor, câmara de ar e telha de fibrocimento ondulada de 5mm.	0,985	1,2812	0,6234
Pisos	Superfícies em contato com o solo compostas por contrapiso e acabamento em cerâmica ou porcelanato.	0,315	1,9121	0,3659

Tabela 7 - Composição e propriedades térmicas das superfícies translúcidas.

Identificação	Descrição	Espessura Total [m]	Frame [%]	U-Value ³ [%]	R-Value ⁴ [%]	Fator de Sombreamento
Vidros	Vidro SunGuard HP – AG43, incolor, 4mm	0,004	23	5,6306	0,1769	0,4341

6.5 CARGAS INTERNAS

Por determinação da própria norma NBR 15.575-2013 não são consideradas cargas internas e cargas de pessoas na edificação.

³ O U-value é o coeficiente geral de transferência de calor que descreve como um elemento do edifício conduz o calor (ou a taxa de transferência de calor) (em watts) através de um metro quadrado de uma estrutura, dividido pela diferença de temperatura entre as duas faces da estrutura.

⁴ O R-value é uma medida de quão bem uma barreira bidimensional, como uma camada de isolamento, uma janela ou uma parede, resiste ao fluxo condutor de calor. Portanto é a diferença de temperatura por unidade de fluxo de calor necessária para manter uma unidade de fluxo de calor entre a superfície mais quente e a superfície mais fria de uma barreira estacionária e em regime permanente.

7 ANÁLISE TÉRMICA

Nesta seção, é mostrado como foram desenvolvidas as análises térmicas, tanto para o verão quanto para o inverno.

7.1 ANÁLISE TÉRMICA PARA O VERÃO

Para determinação do nível de desempenho da edificação, definido na seção 5.3.1 deste documento, é preciso analisar os dados de temperatura no interior e no exterior dos ambientes do dormitório e da sala em cada unidade habitacional, para o dia típico de verão e comparar com os valores definidos pela NBR 15.575.

Com a máxima temperatura externa diária para o dia típico de verão e com a máxima temperatura diária no interior de cada um dos ambientes mencionados, pode-se realizar uma subtração entre essas e obter o gradiente de temperatura entre o ar exterior e interior. Tendo obtido o gradiente, podemos definir cada ambiente com desempenho mínimo, intermediário e máximo, de acordo com os critérios mencionados na seção 5.3.1.

7.2 ANÁLISE TÉRMICA PARA O INVERNO

Analogamente ao procedimento realizado para a análise no verão, foram analisadas as mínimas temperaturas internas diárias, as mínimas temperaturas externas diárias e as diferenças entre as mínimas temperaturas internas diárias e externas diárias para um dia típico de inverno para determinar o nível de desempenho da edificação para o inverno, conforme determina a NBR 15.575.

8 ANÁLISE LUMÍNICA

Nesta seção, é mostrado como foram desenvolvidas as análises lumínicas, tanto para iluminação natural quanto para iluminação artificial.

8.1 ANÁLISE LUMÍNICA NATURAL

Para avaliação do desempenho de iluminação natural, os ambientes dos pavimentos 3, 13 e 19 foram avaliados em cortes a 75 centímetros do piso nos dias 23 de abril e 23 de outubro, as 09h30min e as 15h30min, de acordo com o descrito na seção 5.3.2. Configurações como localização (latitude e longitude), orientação e nebulosidade média, com índice de nuvens igual a 50%, foram inseridas no software de cálculo para análise térmica e são as mesmas utilizadas para o cálculo lumínico (seções 5.3.1 e 5.3.2).

Consoante a isto, os projetos arquitetônicos foram seguidos para modelagem das janelas e seus frames⁵, com todas as dimensões e posicionamento respeitados. Os dados dos vidros utilizados e dos percentuais de esquadrias e aberturas também foram inseridos conforme projeto arquitetônico e mapa de esquadrias.

Além disso, foi considerada desligada a iluminação artificial bem como foi desconsiderada a existência de obstáculos opacos que obstruam a passagem da luz no interior das habitações, como roupas em varais, cortinas e outros.

Para realizar a análise lumínica para o terceiro pavimento do Edifício Residencial, foi modelado, conforme consta em implantação de projeto, edificação de 03 (três) pavimentos, adjacente ao edifício simulado a fim de analisar possíveis sombreamentos causados por esta no edifício em análise.

Entretanto, para os dias e horários em que a edificação está sendo analisada, conforme descreve a seção 5.3.2, não existe influência da edificação vizinha sobre o edifício analisado. A Figura 8 mostra um exemplo de horário analisado no qual o sombreamento da edificação adjacente não afeta a edificação simulada.

⁵ Sinônimo de esquadrias. É a moldura do vidro da janela, geralmente construída em alumínio.

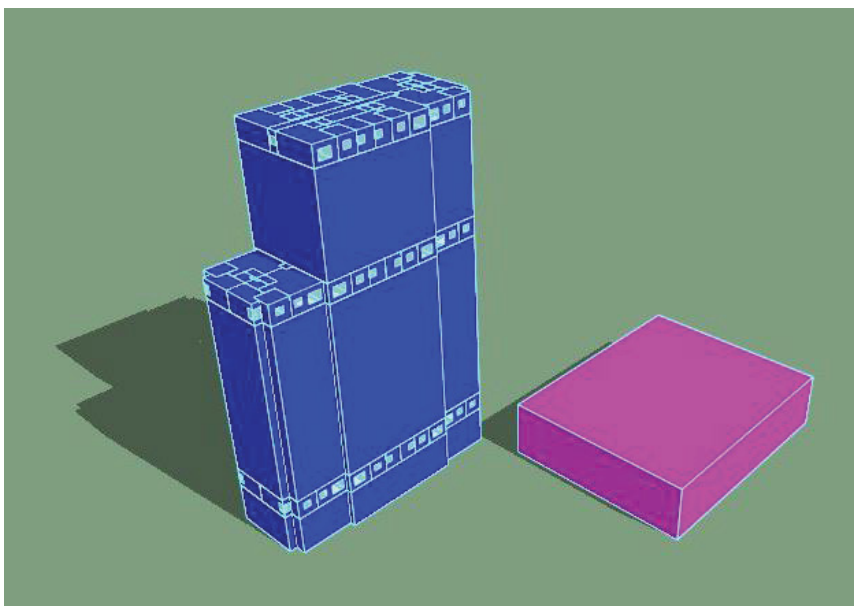


Figura 8 - Demonstrativo da edificação com efeito de sombreamento de edificação vizinha para o dia 23 de abril as 09h30min.

8.2 ANÁLISE LUMÍNICA ARTIFICIAL

Para avaliação do desempenho de iluminação artificial, foram avaliados os ambientes conforme descreve a seção 5.3.2. Para as habitações de cada pavimento foi realizada uma simulação para cada tipo de apartamento. Portanto, as diferentes habitações que apresentam o mesmo *layout*⁶, não foram simuladas repetidamente. Aqui os apartamentos foram divididos em dois tipos, apartamentos do TIPO 1 e apartamento TIPO 2.

Os apartamentos TIPO 1 são os apartamentos “de canto” e os apartamentos TIPO 2 são os apartamentos “internos” a edificação. A Figura 9, a seguir, indica as classificações dos tipos de apartamento utilizados.

⁶ Sinônimo de organização, arranjo, esquema.

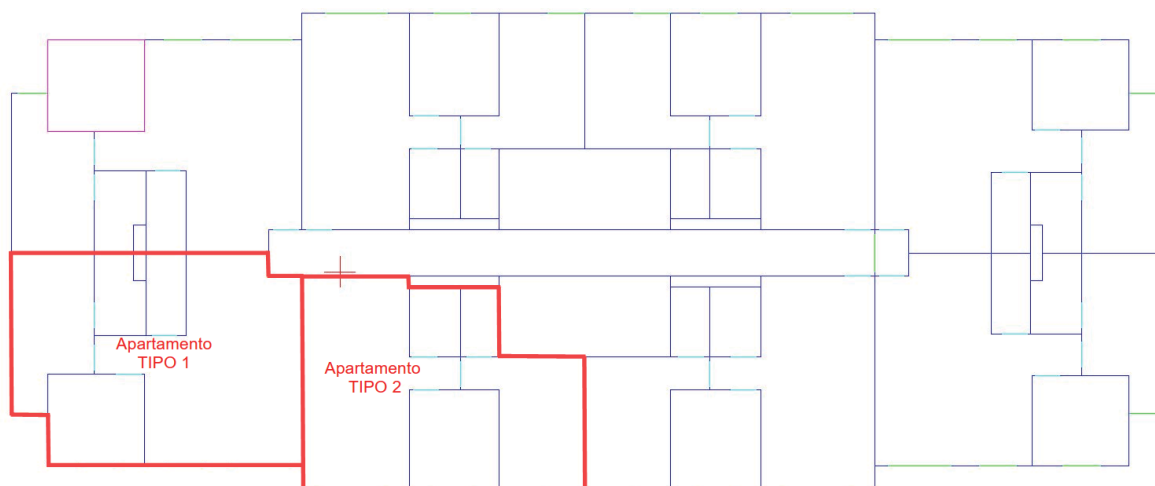


Figura 9 - Definição dos apartamentos TIPO 1 e TIPO 2.

É importante destacar que foram empregadas potências e tamanhos distintos de luminárias nos diferentes ambientes. A Tabela 8 abaixo indica os tipos de luminárias utilizados e a Tabela 9 na sequência indica os ambientes aos quais cada uma destas foi aplicada.

Tabela 8 - Tipologia dos modelos de luminárias utilizados.

Tipologia	Descrição
Luminária TIPO 1	Luminária plafon LED Potência Elétrica: 16 W Fluxo Luminoso: 1528 lm
Luminária TIPO 2	Luminária plafon LED Potência Elétrica: 32 W Fluxo Luminoso: 3557 lm

Tabela 9 - Aplicação dos tipos de luminárias aos ambientes.

Apartamento	Ambiente	Tipo de Luminária Utilizada	Quantidade [unidade]
TIPO 1	QUARTO	TIPO 1	1
	SUITE	TIPO 1	2
	SALA	TIPO 1	1
		TIPO 2	2
	LAVABO	TIPO 1	1
BANHEIRO	TIPO 1	1	
TIPO 2	QUARTO	TIPO 1	1
	SUITE	TIPO 1	2

Apartamento	Ambiente	Tipo de Luminária Utilizada	Quantidade [unidade]
TIPO 2	SALA	TIPO 1	1
		TIPO 2	2
	LAVABO	TIPO 1	1
	BANHEIRO	TIPO 1	1

Tendo como base as informações contidas na Tabela 8 e na Tabela 9 e sabendo que para todos os ambientes que possuem apenas uma luminária esta foi posicionada ao centro do ambiente, podemos analisar cada ambiente individualmente para atendimento as determinações estabelecidas na seção 5.3.2

9 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados todos os resultados obtidos para as simulações térmicas e lumínicas.

9.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO TÉRMICA PARA O VERÃO

A fim de facilitar a visualização dos ambientes e das temperaturas, a Tabela 10, a seguir, mostra as máximas temperaturas exteriores no dia típico de verão e as máximas temperaturas interiores nos dias típicos de verão, bem como as diferenças das máximas temperaturas internas e externas obtida em cada ambiente analisado.

Aqui, cabe também ressaltar que o dia típico de verão analisado é aquele em que, pela análise de dados climáticos dos últimos dez anos (temperaturas de bulbo seco, temperaturas de bulbo úmido, umidades relativas, velocidades do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal), obteve-se o dia mais quente do ano. Considerando-se a temperatura de bulbo seco, o dia típico de verão foi 25 de setembro

Tabela 10 - Temperatura máxima interna, temperatura máxima externa e diferença de temperaturas entre as máximas internas e máximas externas para o dia típico de verão.

Pavimento	Ambiente	Máxima Temperatura interna [°C]	Máxima Temperatura Externa [°C]	Diferença de Temperatura [°C]
13° Pavimento	QUARTO1301	28,95	33,40	4,45
	QUARTO 1302	28,29	33,40	5,11
	QUARTO 1303	28,23	33,40	5,17
	QUARTO 1304	27,42	33,40	5,98
	QUARTO 1305	28,27	33,40	5,13
	QUARTO 1306	27,41	33,40	5,99
	QUARTO 1307	28,93	33,40	4,47
	QUARTO 1308	28,18	33,40	5,22
	SALA 1301	27,9	33,40	5,5
	SALA 1302	27,3	33,40	6,1
	SALA 1303	27,75	33,40	5,65
	SALA 1304	27,17	33,40	6,23
	SALA 1305	27,72	33,40	5,68
	SALA 1306	27,13	33,40	6,27

13º Pavimento	SALA 1307	28,02	33,40	5,38
	SALA 1308	27,41	33,40	5,99
	SUITE 1301	28,79	33,40	4,61
	SUITE 1302	28,51	33,40	4,89
	SUITE 1303	27,74	33,40	5,66
	SUITE 1304	27,05	33,40	6,35
	SUITE 1305	27,74	33,40	5,66
	SUITE 1306	27,05	33,40	6,35
	SUITE 1307	28,48	33,40	4,92
	SUITE 1308	28,19	33,40	5,21
19º Pavimento	QUARTO 1901	29,15	33,40	4,25
	QUARTO 1902	28,41	33,40	4,99
	QUARTO 1903	28,44	33,40	4,96
	QUARTO 1904	27,56	33,40	5,84
	QUARTO 1905	28,38	33,40	5,02
	QUARTO 1906	27,55	33,40	5,85
	SALA 1903	27,94	33,40	5,46
	SALA 1904	27,34	33,40	6,06
	SALA 1905	28,31	33,40	5,09
	SALA 1906	27,88	33,40	5,52
	SUITE 1901	28,92	33,40	4,48
	SUITE 1902	28,63	33,40	4,77
	SUITE 1903	27,93	33,40	5,47
	SUITE 1904	27,22	33,40	6,18
	SUITE 1905	27,9	33,40	5,5
	SUITE 1906	27,21	33,40	6,19
	SALA 1901	27,99	33,40	5,41
	SALA 1902	27,46	33,40	5,94

É possível verificar pela análise da Tabela 10, que os ambientes de permanência prolongada dos pavimentos 13 e 19 atendem aos níveis superiores de desempenho para o verão, pois todos os ambientes possuem, pelo menos, 4 °C de diferença em cada ambiente, entre a temperatura interior do ambiente e a temperatura exterior da edificação. O ambiente crítico, neste caso é o Quarto 1901, com uma diferença térmica entre a máxima temperatura diária exterior e a máxima temperatura diária interior de 4,25 °C. Por outro lado, o ambiente de melhor desempenho é o SUITE

1306 com uma diferença térmica entre a máxima temperatura diária exterior e a máxima temperatura diária interior de 6,35 °C.

Assim como era esperado, o ambiente crítico – QUARTO 1901, no caso do dia típico de verão, encontra-se no décimo nono pavimento da edificação e possui a cobertura exposta. Além disso, o ambiente possui duas paredes voltadas para o exterior. Uma dessas paredes expostas é voltada para nordeste e possui janela. A outra parede exposta é voltada para noroeste. O ambiente em questão atende as diretrizes da norma de se analisar o ambiente com paredes expostas e, preferencialmente, com janelas na parede externa oeste e, se possível, parede voltada para o norte exposta.

Complementarmente, o ambiente – SUITE 1306 apresenta as maiores diferenças entre as temperaturas interna e externa no dia típico de verão, com 6,35 °C de diferença entre as máximas temperaturas internas e externas do ar, se destacando como ambiente mais eficiente. A SUITE 1306 possui as vantagens de não possuir cobertura exposta, possuir apenas uma parede exposta e com janela voltada para sudoeste, se apresentando com características completamente opostas ao do QUARTO 1901.

Portanto, como todos os ambientes atendem ao exigido pelo nível de desempenho superior, da Tabela 1, denotado pela Equação 3 apresentada abaixo, podemos classificar a edificação com desempenho superior para o verão.

$$T_{int,max} \leq (T_{ext,max} - 4 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Equação 3 - Equação para atendimento ao nível de desempenho superior para o verão.

Na Equação 3 utilizada acima, $T_{int,max}$ é a máxima temperatura diária do ar no interior do ambiente e $T_{ext,max}$ é a máxima temperatura diária do ar externo a edificação.

9.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO TÉRMICA PARA O INVERNO

A fim de facilitar a visualização dos ambientes e das temperaturas, a Tabela 11 a seguir mostra as mínimas temperaturas exteriores no dia típico de inverno, as mínimas temperaturas interiores nos dias típicos de inverno bem como as diferenças das mínimas temperaturas internas e externas obtida em cada ambiente analisado.

Aqui, cabe também ressaltar que o dia típico de inverno analisado é aquele em que, pela análise de dados climáticos dos últimos dez anos (temperaturas de bulbo

seco, temperaturas de bulbo úmido, umidades relativas, velocidades do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal), obteve-se o dia mais frio do ano. No caso, o dia típico de inverno é o dia 21 de junho.

Tabela 11 - Mínima temperatura interna, mínima temperatura externa e diferença de temperaturas entre as mínimas internas e mínimas externas para o dia típico de inverno

Pavimento	Ambiente	Mínima Temperatura interna [°C]	Mínima Temperatura Externa [°C]	Diferença de Temperatura [°C]
13° Pavimento	QUARTO1301	18,24	12,80	5,44
	QUARTO 1302	17,99	12,80	5,19
	QUARTO 1303	18,52	12,80	5,72
	QUARTO 1304	18,22	12,80	5,42
	QUARTO 1305	18,52	12,80	5,72
	QUARTO 1306	18,22	12,80	5,42
	QUARTO 1307	18,28	12,80	5,48
	QUARTO 1308	17,99	12,80	5,19
	SALA 1301	18,57	12,80	5,77
	SALA 1302	18,4	12,80	5,60
	SALA 1303	18,66	12,80	5,86
	SALA 1304	18,45	12,80	5,65
	SALA 1305	18,68	12,80	5,88
	SALA 1306	18,48	12,80	5,68
	SALA 1307	18,87	12,80	6,07
	SALA 1308	18,67	12,80	5,87
	SUITE 1301	18,33	12,80	5,53
	SUITE 1302	18,15	12,80	5,35
	SUITE 1303	18,71	12,80	5,91
	SUITE 1304	18,44	12,80	5,64
SUITE 1305	18,71	12,80	5,91	
SUITE 1306	18,44	12,80	5,64	
SUITE 1307	17,98	12,80	5,18	
SUITE 1308	17,85	12,80	5,05	
19° Pavimento	QUARTO 1901	18,72	12,80	5,92
	QUARTO 1902	18,43	12,80	5,63
	QUARTO 1903	19,11	12,80	6,31

19° Pavimento	QUARTO 1904	18,75	12,80	5,95
	QUARTO 1905	18,92	12,80	6,12
	QUARTO 1906	18,59	12,80	5,79
	SALA 1901	19,19	12,80	6,39
	SALA 1902	18,98	12,80	6,18
	SALA 1903	19,29	12,80	6,49
	SALA 1904	19,04	12,80	6,24
	SALA 1905	18,53	12,80	5,73
	SALA 1906	18,29	12,80	5,49
	SUITE 1901	18,8	12,80	6,00
	SUITE 1902	18,6	12,80	5,80
	SUITE 1903	19,33	12,80	6,53
	SUITE 1904	19,00	12,80	6,20
	SUITE 1905	19,28	12,80	6,48
	SUITE 1906	18,95	12,80	6,15

A partir análise da Tabela 11, os ambientes de permanência prolongada dos pavimentos 13 e 19 atendem aos níveis intermediários de desempenho para o inverno. O ambiente crítico, neste caso é a SUITE 1308, com uma diferença térmica entre a mínima temperatura diária exterior e a mínima temperatura diária interior de 5,05 °C. Por outro lado, o ambiente de melhor desempenho é a SUITE 1903 com uma diferença térmica entre a mínima temperatura diária exterior e a mínima temperatura diária interior de 6,53 °C.

Assim como era esperado, o ambiente crítico – SUITE 1308, no caso do dia típico de inverno, encontra-se no décimo terceiro pavimento da edificação e possui a cobertura exposta, permitindo que o quarto ganhe mais calor durante o dia e, pela inércia térmica, compense as baixas temperaturas da noite. Além disso, o ambiente possui duas paredes voltadas para o exterior. Uma dessas paredes expostas é voltada para sudeste e possui janela. A outra parede exposta é voltada para sudoeste e também possui janela. O ambiente em questão atende as diretrizes da norma que determinam a análise do ambiente com paredes expostas e, preferencialmente, com janelas na parede externa voltada para o sul e, se possível, parede voltada para o leste exposta.

Complementarmente, o ambiente – SUITE 1903 apresenta as maiores diferenças entre as mínimas temperaturas interna e externa no dia típico de verão,

com 6,53 °C de diferença entre as mínimas temperaturas internas e externas do ar, se destacando como ambiente mais eficiente neste quesito. Analisando para o dia típico de inverno, a SUITE 1903 possui a desvantagem de não possuir cobertura exposta e possuir apenas uma parede exposta com janela voltada para nordeste, se apresentando com características completamente opostas ao do SUITE 1308.

Portanto, como todos os ambientes atendem ao exigido pelo nível de desempenho intermediário, da Tabela 2 denotado pela Equação 4 apresentada abaixo, podemos classificar a edificação com desempenho intermediário para o inverno.

$$T_{int,min} \geq (T_{ext,min} + 5\text{ }^{\circ}\text{C})$$

Equação 4 - Equação para atendimento ao nível de desempenho intermediário para o inverno.

Na Equação 4, mostrada acima, $T_{int,min}$ é a mínima temperatura diária do ar no interior do ambiente e $T_{ext,min}$ é a mínima temperatura diária do ar externo.

9.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO LUMÍNICA NATURAL

Foram gerados cortes com os gradientes lumínicos para os pavimentos 13 e 19 nos dias e horários analisados. A Figura 10 e a Figura 11 mostram os cortes, às 9h30min do dia 23 de abril para os pavimentos 13 e 19 respectivamente.

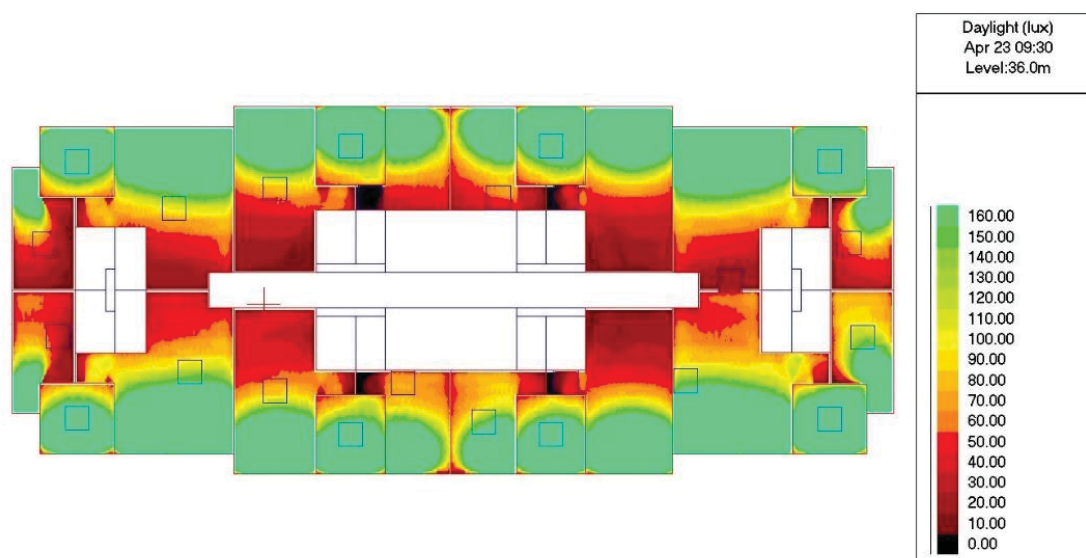


Figura 10 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 9h30min do dia 23 de abril.

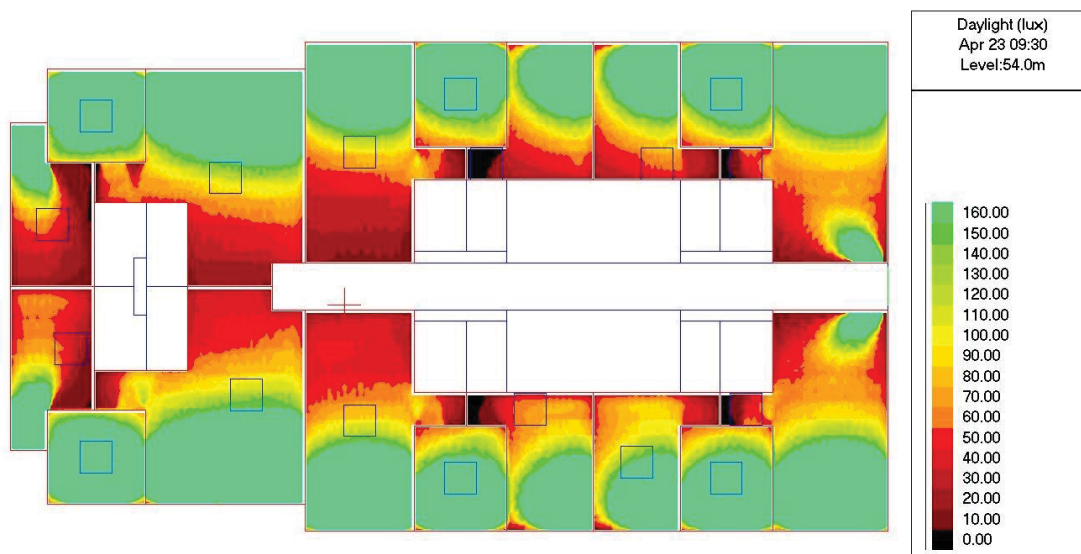


Figura 11 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, às 9h30min do dia 23 de abril.

Ao analisar o centro dos ambientes em cada imagem, constata-se que os ambientes críticos são: SUITE 1301 e SUITE 1302 para o pavimento 13 e SUITE 1901 e SUITE 1902 para o pavimento 19.

Dada continuidade a análise dos pavimentos, sucede-se com o manutenção da data em 23 de abril, mas com a alteração do horário para 15h30min. A Figura 12 e 13 mostram os cortes com gradientes de luminosidade para cada um dos pavimentos.

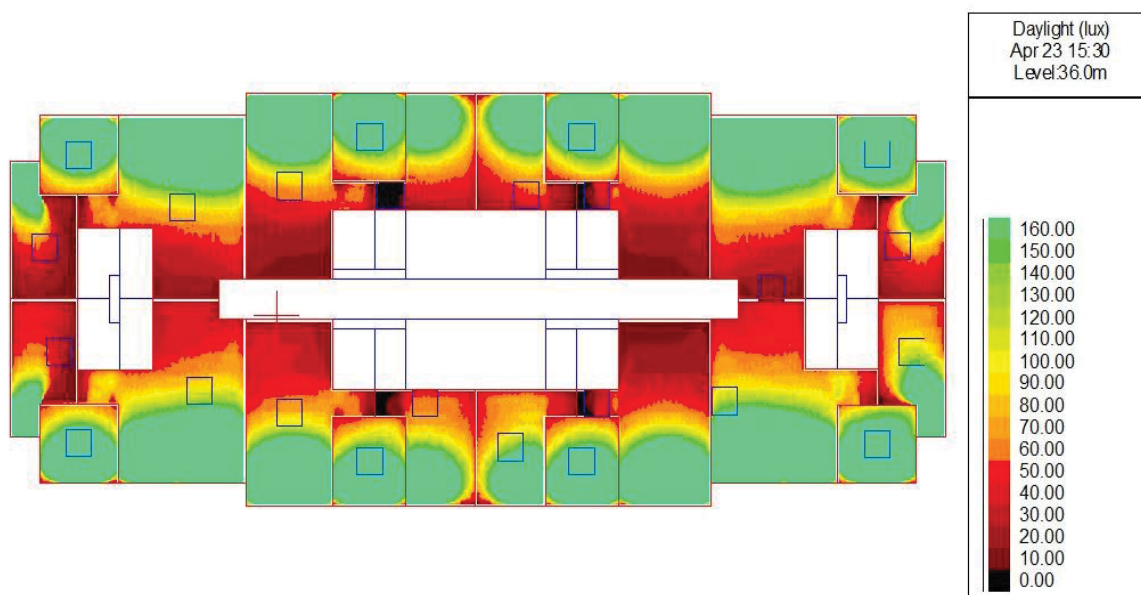


Figura 12 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 15h30min do dia 23 de abril.

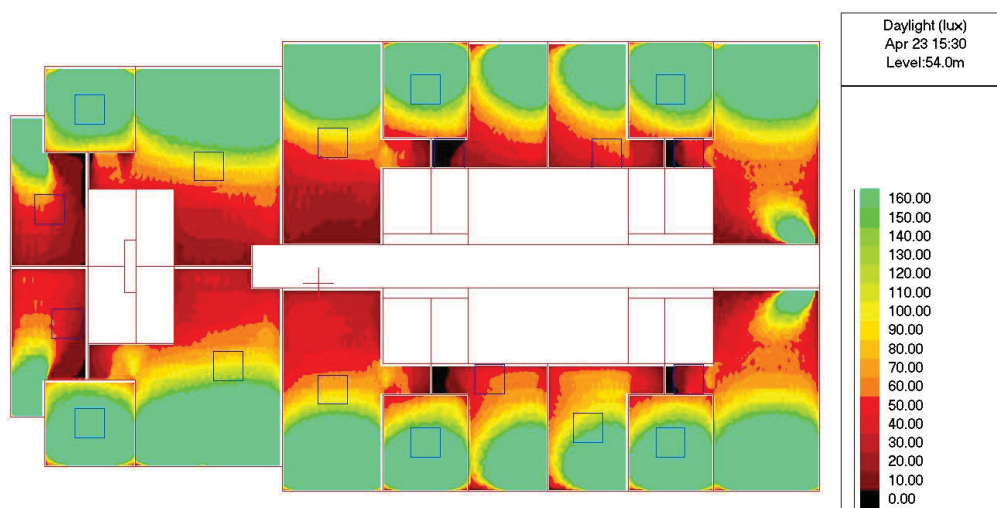


Figura 13 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, às 15h30min do dia 23 de abril.

Na Figura 12 e na Figura 13, apesar de similares a Figura 10 e a Figura 11, nota-se a influência do horário do dia na luminosidade dos ambientes. Ambientes como a SUITE 1901 e a SUITE 1902 possuem pequenas regiões com luminosidade próxima a zero, mas que não influenciam negativamente a análise de iluminação natural desses ambientes nesses horários.

Após a análise completa do dia 23 de abril, sucedeu-se com a análise para o dia 23 de outubro nos mesmos horários já apresentados, 09h30mins e 15h30min, conforme denota a NBR 15.575. A Figura 14 e 15 mostram os cortes, às 9h30min do dia 23 de outubro para os pavimentos 13 e 19 respectivamente.

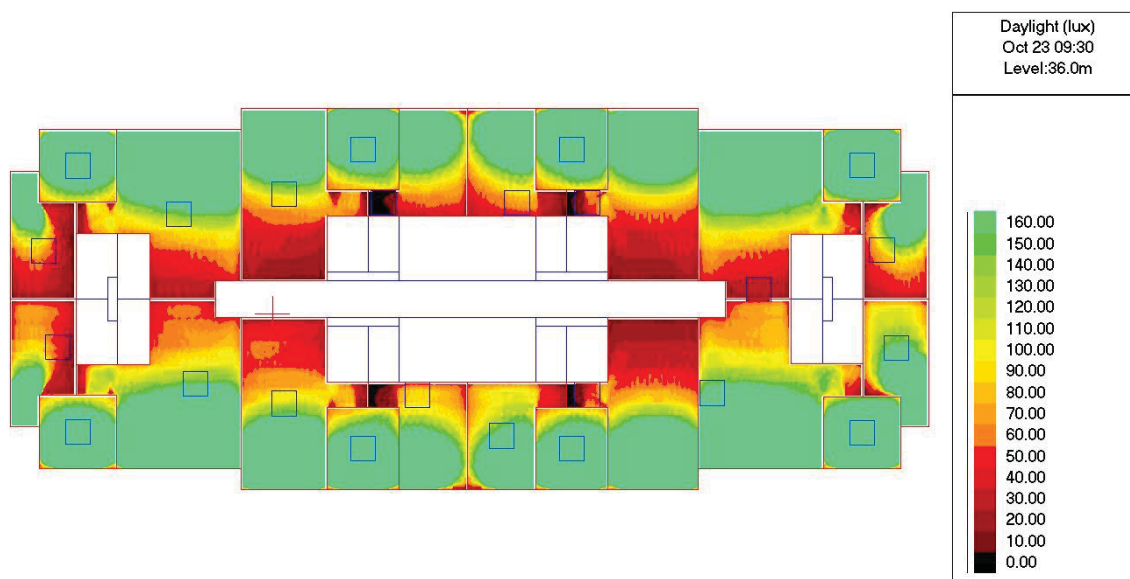


Figura 14 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 9h30min do dia 23 de outubro.

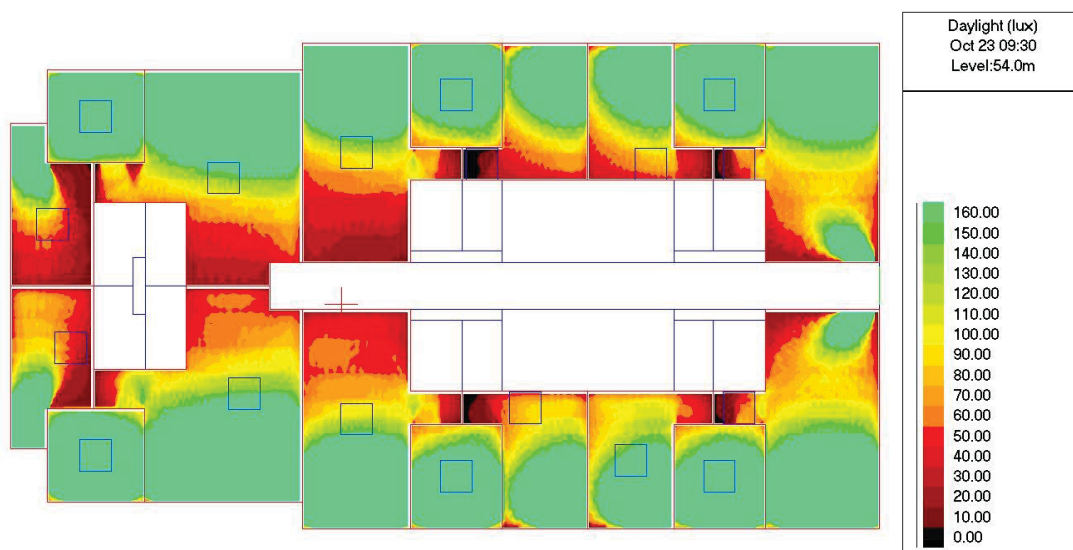


Figura 15 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, às 9h30min do dia 23 de outubro.

Pela análise das Figuras 14 e 15, podemos notar cortes com gradiente de luminosidade mais com cores mais claras quando comparados com a Figura 10 e Figura 11, isto graças ao movimento de translação da Terra. De modo geral, todos os ambientes apresentados recebem mais luminosidade exterior, diminuindo a incidência de regiões escuras nas imagens.

Analogamente ao apresentado para o dia 23 de abril, os cortes com gradiente de luminosidade também foram gerados para o dia 23 de outubro às 15h30min, e são apresentados abaixo na Figura 16 e na Figura 17.

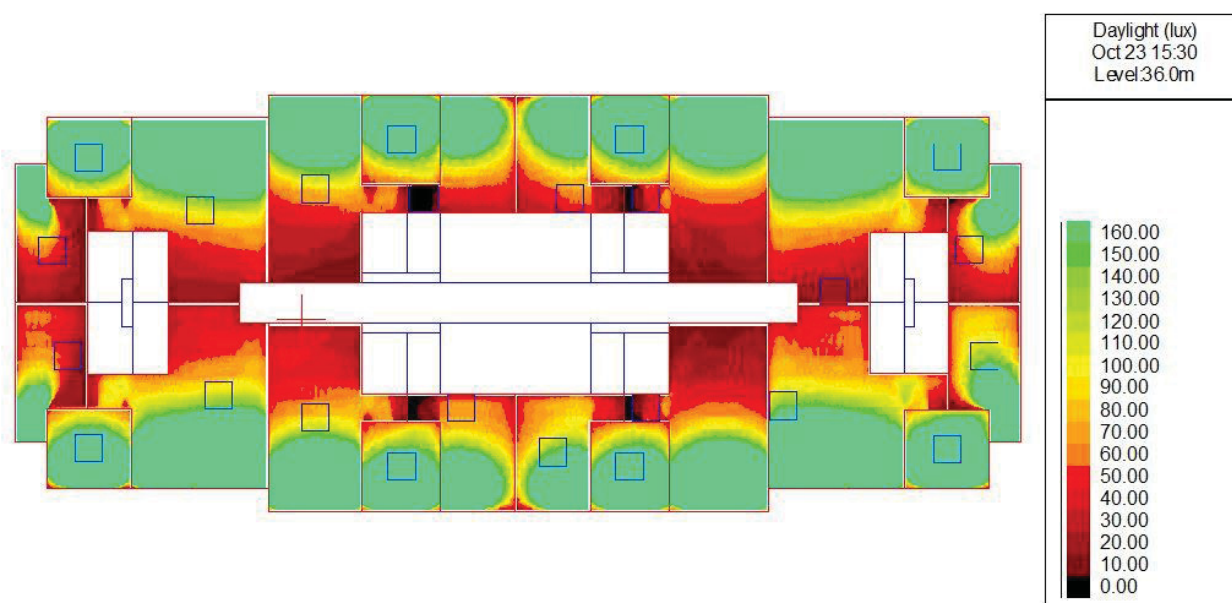


Figura 16 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 13, às 15h30min do dia 23 de outubro.

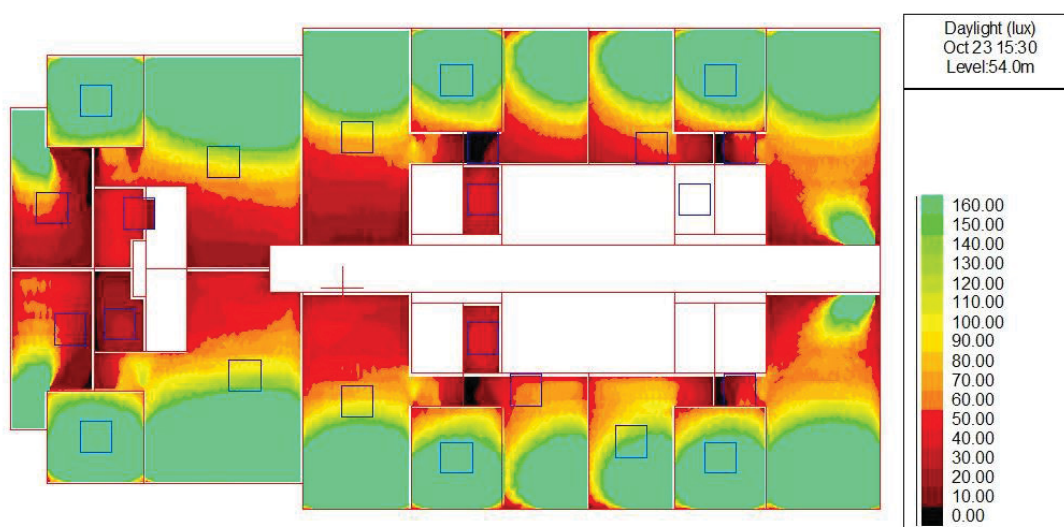


Figura 17 - Corte com gradiente de luminosidade a 75cm acima do pavimento 19, as 15h30min do dia 23 de outubro.

Da mesma forma como fora notado para às 9h30min do dia 23 de outubro, pode-se perceber, na Figura 16 e na Figura 17, que os cortes com gradientes de luminosidade para às 15h30min do dia 23 de outubro possuem cores ligeiramente mais claras que os cortes de cada pavimento para o mesmo horário de abril.

Para os apartamentos do terceiro pavimento, os quais poderiam receber influência de sombreamento de edificação vizinha, foi feita uma análise horária simplificada para verificar se o sombreamento causado pela edificação vizinha exigiria novas simulações. As Figuras de 18 a 21 mostram os efeitos da edificação vizinha no Edifício Residencial, nos horários que a NBR 15.575 determina para realização da análise lumínica natural.

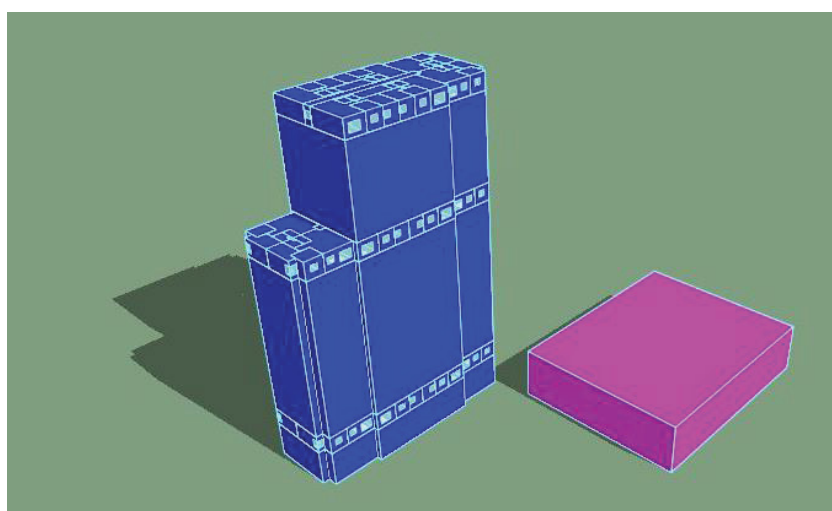


Figura 18 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 09h30min do dia 23 de abril.

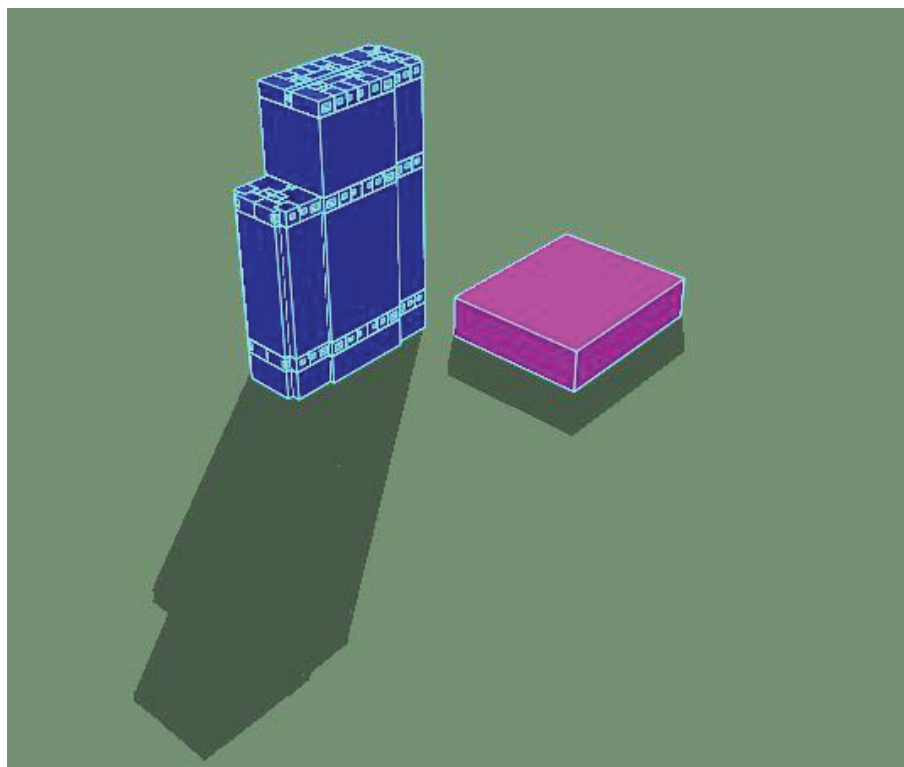


Figura 19 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 15h30min do dia 23 de abril.

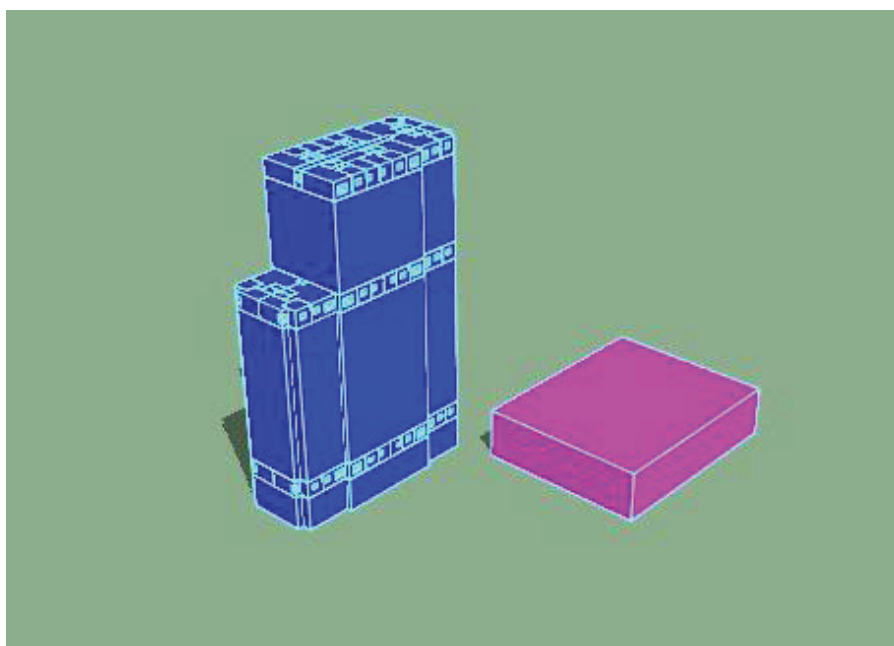


Figura 20 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 09h30min do dia 23 de outubro.

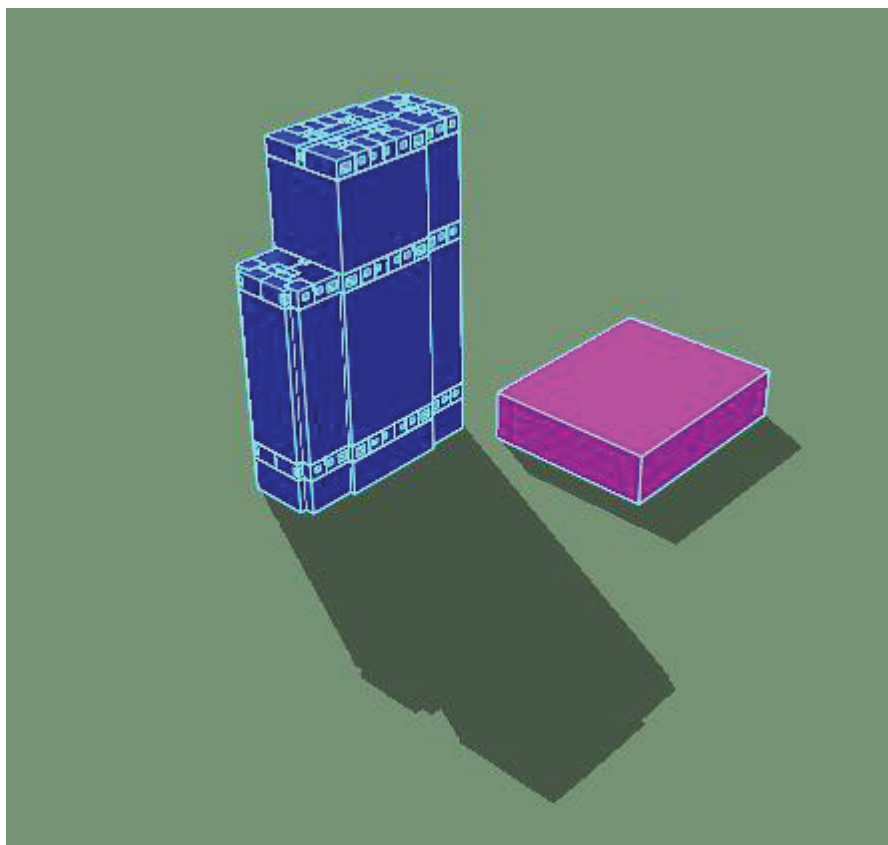


Figura 21 - Representação do sombreamento da edificação adjacente sobre o Edifício Residencial, às 15h30min do dia 23 de outubro.

Tendo observado as figuras acima, pode-se concluir que não há influência do sombreamento da edificação vizinha sobre o prédio nos horários determinados pela NBR 15.575. Dessa forma, não há necessidade de realização de uma nova simulação para o pavimento 3 visto que este possui a mesma distribuição de ambientes do pavimento 13. Portanto, assume-se que os valores encontrados para o pavimento 13 são aplicáveis ao pavimento 3, bem como a todos os demais pavimentos do pavimento TIPO 1 que este representa.

Para análise quantitativa dos valores de luminância máximos, mínimos e ao centro do corte lumínico de cada ambiente, apresenta-se abaixo uma sequência de tabelas que resumem todos os dados obtidos como *output*⁷ do software. Nas Tabelas 12 e 13 observa-se os dados de luminância mínima, máxima e ao centro do corte de cada ambiente, na data de 23 de abril.

⁷ Resultado do processamento interno realizado por um software. Tal resultado é usualmente extraído pelo usuário para tomada de decisões.

Tabela 12 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de abril às 09h30min.

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]	
23 de abril 09h30min	13º Pavimento	QUARTO 1301	52,31	1820,48	≥160	
		QUARTO 1302	39,27	1812,37	≥160	
		QUARTO 1303	49,03	1816,97	≥160	
		QUARTO 1304	48,53	1816,53	≥160	
		QUARTO 1305	41,9	1831,45	≥160	
		QUARTO 1306	41,37	1831,04	≥160	
		QUARTO 1307	61,4	1839,84	≥160	
		QUARTO 1308	53,14	1838,58	≥160	
		SALA 1301	5,27	4005,77	120	
		SALA 1302	14,76	4246,26	120	
		SALA 1303	9,28	4404,02	120	
		SALA 1304	6,63	4618,91	120	
		SALA 1305	3,13	4449,44	120	
		SALA 1306	3,26	4617,25	120	
		SALA 1307	8,88	4085,47	120	
		SALA 1308	16,87	4270,08	120	
		SUITE 1301	7,27	2784,39	120	
		SUITE 1302	11,42	3087,71	120	
		SUITE 1303	2,18	1885,98	≥160	
		SUITE 1304	2,37	1824,97	≥160	
	SUITE 1305	5,55	1940,46	≥160		
	SUITE 1306	7,69	1918,5	≥160		
	SUITE 1307	5,49	5759,2	≥160		
	SUITE 1308	9,04	5840,1	≥160		
		19º Pavimento	QUARTO 1901	64,09	1846,63	≥160
			QUARTO 1902	51	1838,74	≥160
			QUARTO 1903	49,54	1820,49	≥160
			QUARTO 1904	48,37	1820,2	≥160
	QUARTO 1905		42,72	1835,98	≥160	
	QUARTO 1906		42,24	1837,86	≥160	
	SALA 1901		4,79	4007,86	130	

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]
23 de abril 09h30min	19º Pavimento	SALA 1902	8,04	4246,18	130
		SALA 1903	7,17	4424,49	100
		SALA 1904	7,68	4629,16	100
		SALA 1905	5,14	4414,86	100
		SALA 1906	4,68	4643,41	100
		SUITE 1901	5,65	2741,18	100
		SUITE 1902	8,02	3071,15	100
		SUITE 1903	2,54	1893,83	≥160
		SUITE 1904	2,82	1910,48	≥160
		SUITE 1905	6,71	1943,66	≥160
		SUITE 1906	10,8	1927,41	≥160

Tabela 13 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de abril às 15h30min.

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]
23 de abril 15h30min	13º Pavimento	QUARTO 1301	43,47	1510,99	≥160
		QUARTO 1302	32,58	1503,11	≥160
		QUARTO 1303	40,91	1508,38	≥160
		QUARTO 1304	40,41	1507,99	≥160
		QUARTO 1305	34,72	1520,19	≥160
		QUARTO 1306	34,87	1523,09	≥160
		QUARTO 1307	51,43	1530,21	≥160
		QUARTO 1308	44,78	1528,27	≥160
		SALA 1301	4,6	3324,91	100
		SALA 1302	12,94	3520,93	100
		SALA 1303	8,85	3662,6	100
		SALA 1304	6,87	3836,95	100
		SALA 1305	3,76	3650,71	80
		SALA 1306	3,58	3842,35	80
		SALA 1307	7,88	3406,41	140
		SALA 1308	14,57	3541,39	140

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]
23 de abril 15h30min	13º Pavimento	SUITE 1301	6,38	2316,02	80
		SUITE 1302	8,27	2567,8	100
		SUITE 1303	2,05	1564,02	≥160
		SUITE 1304	2,2	1514,6	≥160
		SUITE 1305	6,05	1609,18	≥160
		SUITE 1306	9,8	1592,07	≥160
		SUITE 1307	4,42	4785,98	140
		SUITE 1308	5,97	4848,48	150
	19º Pavimento	QUARTO 1901	52,8	1528,34	≥160
		QUARTO 1902	41,6	1520,94	≥160
		QUARTO 1903	40,86	1509,3	≥160
		QUARTO 1904	40,23	1509,13	≥160
		QUARTO 1905	35,2	1521,68	≥160
		QUARTO 1906	35,06	1523,75	≥160
		SALA 1901	4,1	3326,03	110
		SALA 1902	7,06	3519,19	110
		SALA 1903	6,17	3664,98	100
		SALA 1904	5,71	3838,37	100
		SALA 1905	4,29	3655,33	110
		SALA 1906	4,09	3850,87	110
		SUITE 1901	4,87	2271,75	90
		SUITE 1902	6,14	2544,64	70
		SUITE 1903	2,16	1569,42	≥160
		SUITE 1904	2,17	1583,92	≥160
SUITE 1905	6,25	1609,64	≥160		
SUITE 1906	8	1596,4	≥160		

Da análise dos resultados apresentados na Tabela 12 e na Tabela 13, pode-se verificar que o ambiente com menor incidência de luz é a SUITE 1902, com incidência no ponto central do ambiente de 70 lux. Desta forma é possível concluir que todos os ambientes simulados atendem aos requisitos mínimos de desempenho lumínico de 60 lux no centro do ambiente, para o dia 23 de abril.

Por fim, apresenta-se na sequência, a Tabela 14 e a Tabela 15, com os dados de luminância mínima, máxima e ao centro do corte de cada ambiente, na data de 23 de outubro.

Tabela 14 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de outubro às 09h30min.

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]	
23 de outubro 09h30min	13º Pavimento	QUARTO 1301	64,15	2223,24	≥160	
		QUARTO 1302	48,54	2213,39	≥160	
		QUARTO 1303	59,58	2218,6	≥160	
		QUARTO 1304	59,24	2218,68	≥160	
		QUARTO 1305	51,8	2237,37	≥160	
		QUARTO 1306	50,64	2236,8	≥160	
		QUARTO 1307	77,11	2255,16	≥160	
		QUARTO 1308	68,69	2250,72	≥160	
		SALA 1301	6,5	4884,62	≥160	
		SALA 1302	15,47	5181,74	≥160	
		SALA 1303	9,09	5370,48	130	
		SALA 1304	8,37	5637,37	130	
		SALA 1305	4,58	5343,76	130	
		SALA 1306	3,97	5621,72	130	
		SALA 1307	11,25	4985,66	≥160	
		SALA 1308	21,07	5212,63	≥160	
		SUITE 1301	8,81	3408,03	100	
		SUITE 1302	13,06	3765,88	110	
		SUITE 1303	2,58	2303,43	≥160	
		SUITE 1304	3,03	2226,9	≥160	
	SUITE 1305	6,55	2369	≥160		
	SUITE 1306	12,57	2341,97	≥160		
	SUITE 1307	6,84	7031,37	≥160		
	SUITE 1308	12,04	7130,76	≥160		
		19º Pavimento	QUARTO 1901	80,4	2252,28	≥160
			QUARTO 1902	60,77	2239,41	≥160
			QUARTO 1903	60,3	2221,27	≥160
			QUARTO 1904	58,49	2217,21	≥160

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]
23 de outubro 09h30min	19º Pavimento	QUARTO 1905	53,57	2240,51	≥160
		QUARTO 1906	51,49	2237,15	≥160
		SALA 1901	6,12	4900,91	≥160
		SALA 1902	9,62	5184,7	≥160
		SALA 1903	8,24	5375,32	100
		SALA 1904	7,97	5641,43	100
		SALA 1905	5,45	5370,25	100
		SALA 1906	5,52	5659,39	100
		SUITE 1901	6,77	3341,04	100
		SUITE 1902	9,88	3737,69	100
		SUITE 1903	2,94	2310,53	≥160
		SUITE 1904	3,42	2327,42	≥160
		SUITE 1905	7,61	2373,06	≥160
		SUITE 1906	13,21	2347,43	≥160

Tabela 15 - Resumo dos outputs do software para data de 23 de outubro às 15h30min.

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente [lux]
23 de outubro 15h30min	13º Pavimento	QUARTO 1301	48,86	1697,03	≥160
		QUARTO 1302	36,51	1685,91	≥160
		QUARTO 1303	45,53	1691,33	≥160
		QUARTO 1304	45,13	1691,1	≥160
		QUARTO 1305	38,94	1705,54	≥160
		QUARTO 1306	38,25	1703,82	≥160
		QUARTO 1307	58,42	1718,41	≥160
		QUARTO 1308	49,29	1712,76	≥160
		SALA 1301	5,26	3731,7	110
		SALA 1302	12,81	3951,73	110
		SALA 1303	9,06	4112,79	100
		SALA 1304	8,14	4307,18	100
		SALA 1305	4,08	4096,64	100
		SALA 1306	3,65	4308,16	100

Data e Hora	Pavimento	Ambiente	Mínima Luminância [lux]	Máxima Luminância [lux]	Luminância Observada ao Centro do Ambiente[lux]
23 de outubro 15h30min	13º Pavimento	SALA 1307	9,22	3824,92	110
		SALA 1308	15,59	3976,86	110
		SUITE 1301	7,03	2602,29	90
		SUITE 1302	10,52	2979,25	100
		SUITE 1303	2,21	1757,22	≥160
		SUITE 1304	2,47	1701,11	≥160
		SUITE 1305	6,39	1807,89	≥160
		SUITE 1306	11,23	1790,74	≥160
		SUITE 1307	5,16	5374,99	≥160
		SUITE 1308	9,57	5443	≥160
	19º Pavimento	QUARTO 1901	61,42	1715,98	≥160
		QUARTO 1902	45,79	1705,37	≥160
		QUARTO 1903	45,81	1692,97	≥160
		QUARTO 1904	44,56	1689,9	≥160
		QUARTO 1905	38,62	1703,17	≥160
		QUARTO 1906	38,53	1702,88	≥160
		SALA 1901	4,61	3726,67	110
		SALA 1902	7,14	3950,46	110
		SALA 1903	6,9	4102,3	100
		SALA 1904	6,72	4301,06	100
		SALA 1905	4,51	4098,9	90
		SALA 1906	4,27	4314,79	100
		SUITE 1901	5,43	2537,8	80
		SUITE 1902	6,62	2851,91	100
		SUITE 1903	2,2	1759,43	≥160
		SUITE 1904	2,39	1773,67	≥160
		SUITE 1905	5,68	1806,68	≥160
		SUITE 1906	7,88	1787,87	≥160

Da análise dos resultados apresentados nas Tabelas 14 e 15 pode-se verificar que o ambiente com menor incidência de luz é a SUITE 1901, com incidência no ponto central do ambiente de 80 lux. Desta forma é possível concluir, a partir dos resultados das Tabelas 14 e 15 que todos os ambientes simulados atendem aos requisitos

mínimos de desempenho lumínico, equivalente a 60 lux no centro do ambiente, para o dia 23 de outubro.

A Tabela 16 abaixo traz, de forma resumida, a classificação de cada ambiente em relação ao o respectivo desempenho lumínico

Tabela 16 - Classificação de Desempenho de iluminação natural por ambiente.

Pavimento	Ambiente	Luminância Observada ao Centro do Ambiente (pior caso) [lux]	Classificação
13° Pavimento	QUARTO 1301	≥160	Superior
	QUARTO 1302	≥160	Superior
	QUARTO 1303	≥160	Superior
	QUARTO 1304	≥160	Superior
	QUARTO 1305	≥160	Superior
	QUARTO 1306	≥160	Superior
	QUARTO 1307	≥160	Superior
	QUARTO 1308	≥160	Superior
	SALA 1301	100	Intermediário
	SALA 1302	100	Intermediário
	SALA 1303	100	Intermediário
	SALA 1304	100	Intermediário
	SALA 1305	80	Mínimo
	SALA 1306	80	Mínimo
	SALA 1307	110	Intermediário
	SALA 1308	110	Intermediário
	SUITE 1301	80	Mínimo
	SUITE 1302	100	Intermediário
	SUITE 1303	≥160	Superior
	SUITE 1304	≥160	Superior
SUITE 1305	≥160	Superior	
SUITE 1306	≥160	Superior	
SUITE 1307	≥160	Superior	
SUITE 1308	≥160	Superior	
19° Pavimento	QUARTO 1901	≥160	Superior
	QUARTO 1902	≥160	Superior
	QUARTO 1903	≥160	Superior
	QUARTO 1904	≥160	Superior

Pavimento	Ambiente	Luminância Observada ao Centro do Ambiente (pior caso) [lux]	Classificação
19º Pavimento	QUARTO 1905	≥160	Superior
	QUARTO 1906	≥160	Superior
	SALA 1901	110	Intermediário
	SALA 1902	110	Intermediário
	SALA 1903	100	Intermediário
	SALA 1904	100	Intermediário
	SALA 1905	90	Intermediário
	SALA 1906	100	Intermediário
	SUITE 1901	80	Mínimo
	SUITE 1902	70	Mínimo
	SUITE 1903	≥160	Superior
	SUITE 1904	≥160	Superior
	SUITE 1905	≥160	Superior
	SUITE 1906	≥160	Superior

A partir da análise de todos os ambientes, considerando os índices de luminância do ambiente com pior desempenho, é possível classificar a edificação com nível de desempenho lumínico natural mínimo, apesar de alguns ambientes possuírem desempenho intermediário ou superior.

9.4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO LUMÍNICA ARTIFICIAL

Para os ambientes dos apartamentos TIPO 1 as Figuras de 22 a 26, apresentadas na sequência, mostram a distribuição lumínica, em lux, por um corte que passa a 80 centímetros acima do nível do ambiente.

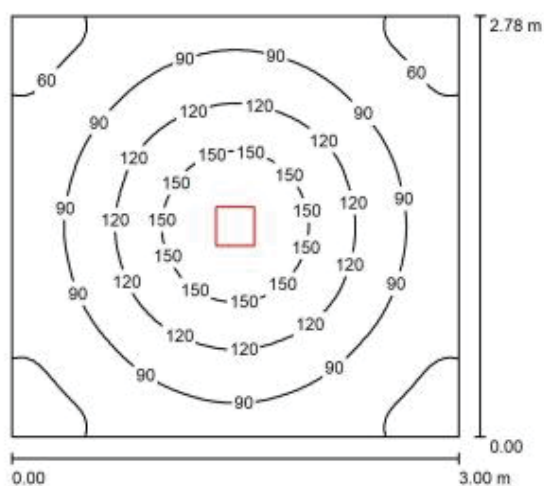


Figura 22 - Distribuição lumínica artificial para o QUARTO do apartamento TIPO 1.

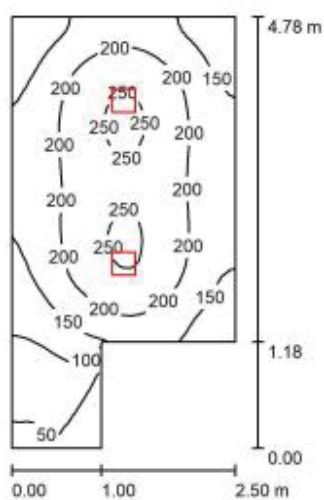


Figura 23 - Distribuição lumínica artificial para a SUITE do apartamento TIPO 1.

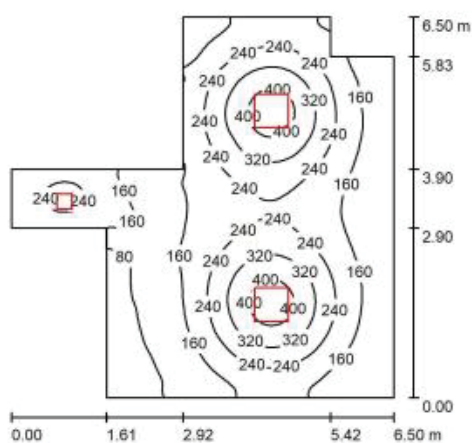


Figura 24 - Distribuição lumínica artificial para a SALA do apartamento TIPO 1.

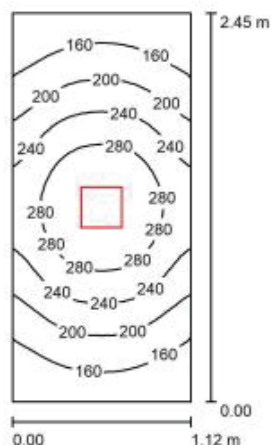


Figura 25 - Distribuição lumínica artificial para o LAVABO do apartamento TIPO 1.

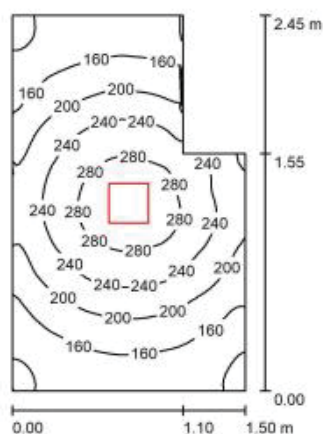


Figura 26 - Distribuição lumínica artificial para o BANHEIRO do apartamento TIPO 1

Após analisar as figuras de 22 a 26, pode-se verificar que todos os ambientes atendem, pelo menos, aos níveis mínimos exigidos pela NBR 15.575.

A Tabela 17 que segue resume os resultados obtidos e os níveis de atendimento de cada ambiente do apartamento TIPO 1.

Tabela 17 - Resultados obtidos do software e Nível de atendimento a NBR 15.575 para os ambientes do apartamento TIPO 1.

Apartamento	Ambiente	Medição Lumínica ao Centro do Ambiente [lux]	Nível de Atendimento a NBR 15.575
TIPO 1	QUARTO	≥150	Intermediário
	SUITE	≥250	Superior
	SALA/COZINHA	≥240	Intermediário
	LAVABO	≥280	Superior
	BANHEIRO	≥280	Superior

Portanto, pela análise de iluminação artificial para os ambientes do apartamento TIPO 1, podemos classificar o apartamento com desempenho lumínico artificial intermediário.

Para os ambientes dos apartamentos TIPO 2 as Figuras de 27 a 31 mostram a distribuição lumínica, em lux, por um corte a 80 centímetros acima do nível do ambiente.

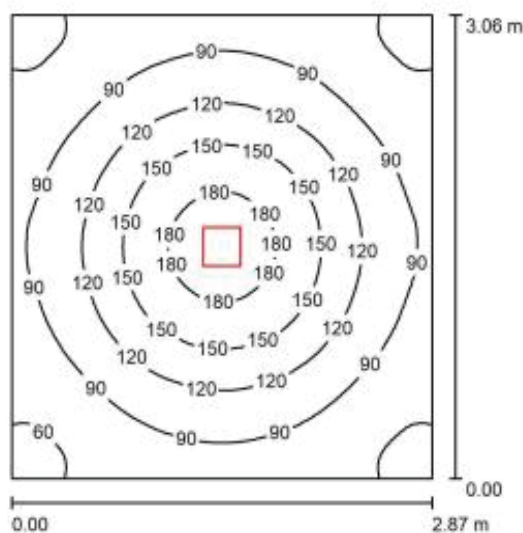


Figura 27 - Distribuição lumínica artificial para o QUARTO do apartamento TIPO 2.

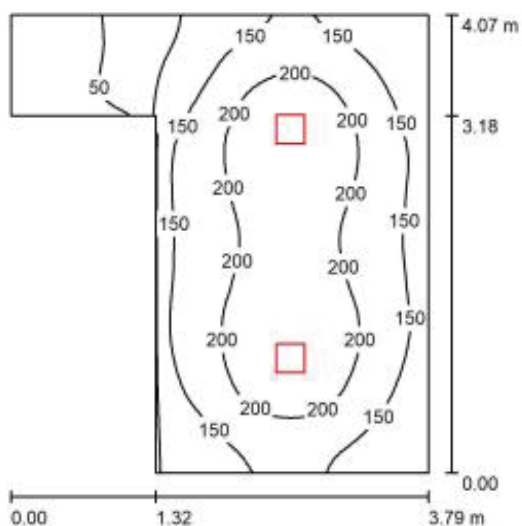


Figura 28 - Distribuição lumínica artificial para a SUITE do apartamento TIPO 2.

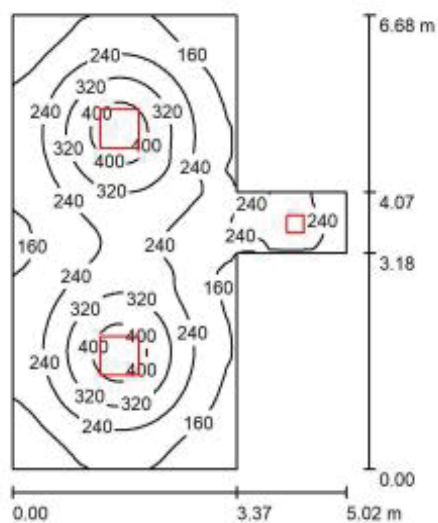


Figura 29 - Distribuição lumínica artificial para a SALA do apartamento TIPO 2.

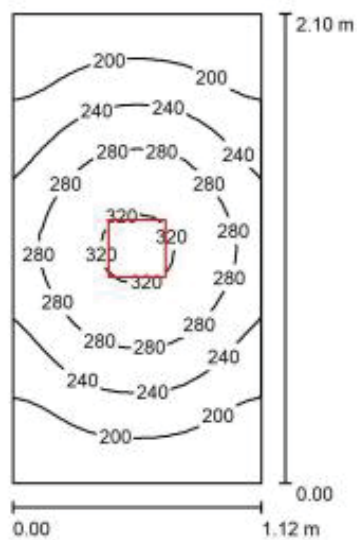


Figura 30 - Distribuição lumínica artificial para o LAVABO do apartamento TIPO 2.

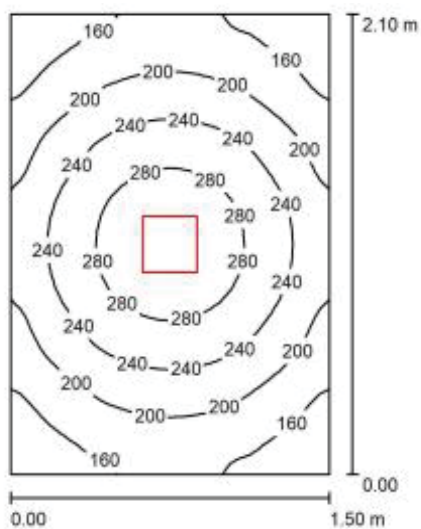


Figura 31 - Distribuição lumínica artificial para o BANHEIRO do apartamento TIPO 2.

Após analisar as Figuras de 27 a 31, pode-se verificar que todos os ambientes atendem, pelo menos, aos níveis mínimos exigidos pela NBR 15.575. A Tabela 18 abaixo resume os resultados obtidos com níveis atendimento do apartamento TIPO 2.

Tabela 18 - Resumo dos resultados obtidos do software e Nível de atendimento a NBR 15.575 para os ambientes do apartamento TIPO 2.

Apartamento	Ambiente	Medição Lumínica ao Centro do Ambiente [lux]	Nível de Atendimento a NBR 15.575
TIPO 2	QUARTO	≥180	Intermediário
	SUITE	≥200	Superior
	SALA/COZINHA	≥240	Intermediário
	LAVABO	≥320	Superior
	BANHEIRO	≥280	Superior

Portanto, pela análise de iluminação artificial para os ambientes do apartamento TIPO 2, podemos classificar o apartamento com desempenho lumínico artificial intermediário.

Foram simuladas também as áreas comuns que dão acesso a edificação e aos apartamentos, sendo estas compostas por todos os pavimentos de garagem e o hall de acesso aos apartamentos nos diversos pavimentos. A modelagem dos ambientes foi realizada a partir do projeto elétrico existente estão na seção de anexos. Desta forma o posicionamento das luminárias seguiu o posicionado de projeto e foram utilizadas luminárias com características similares ao descrito em projeto conforme apresenta na Tabela 19.

Tabela 19 - Tipologia dos modelos de luminárias utilizados para ambientes comuns.

Tipologia	Descrição
Luminária TIPO 1	Luminária plafon LED Potência Elétrica: 16 W Fluxo Luminoso: 1528 lm
Luminária TIPO 3*	Arandela LED Potência Elétrica: 8 W Fluxo Luminoso: 637 lm
Luminária TIPO 4	Luminária hermética LED Potência Elétrica: 57 W Fluxo Luminoso: 6510 lm

*Todas as arandelas foram consideradas instaladas a uma altura de 0,9 m do piso

A Tabela 20 traz a quantidade e os tipos de luminária consideradas para cada ambiente.

Tabela 20 - Aplicação dos tipos de luminárias aos ambientes.

Ambiente	Tipo de Luminária Utilizada	Quantidade [unidade]
HALL DE ACESSO	TIPO 1	7
GARAGEM PAV 2	TIPO 1	6
	TIPO 3 TIPO 4	13 20
GARAGEM TÉRREO/PAV 1	TIPO 1	3
	TIPO 4	32
GARAGEM SUBSOLOS	TIPO 1	3
	TIPO 4	31

Os resultados gráficos para cada ambiente seguem ilustrados nas Figuras de 32 a 35.

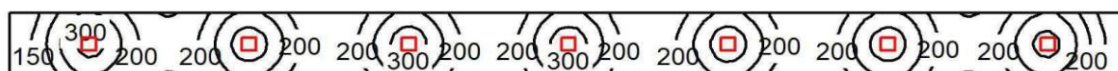


Figura 32 - Distribuição lumínica artificial para Hall de acesso, conforme projeto lumínico existente.

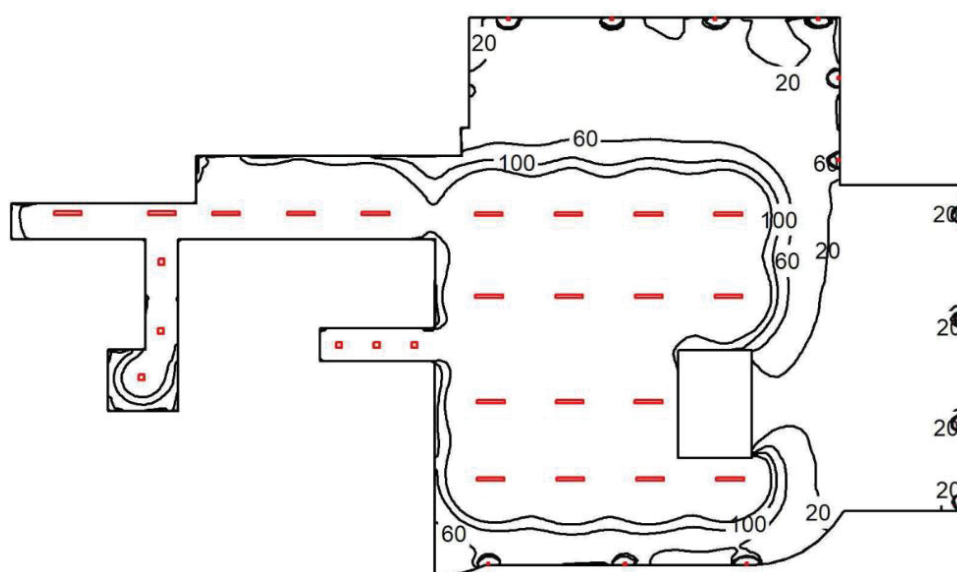


Figura 33 - Distribuição lumínica artificial para a GARAGEM no segundo pavimento, conforme projeto lumínico existente.

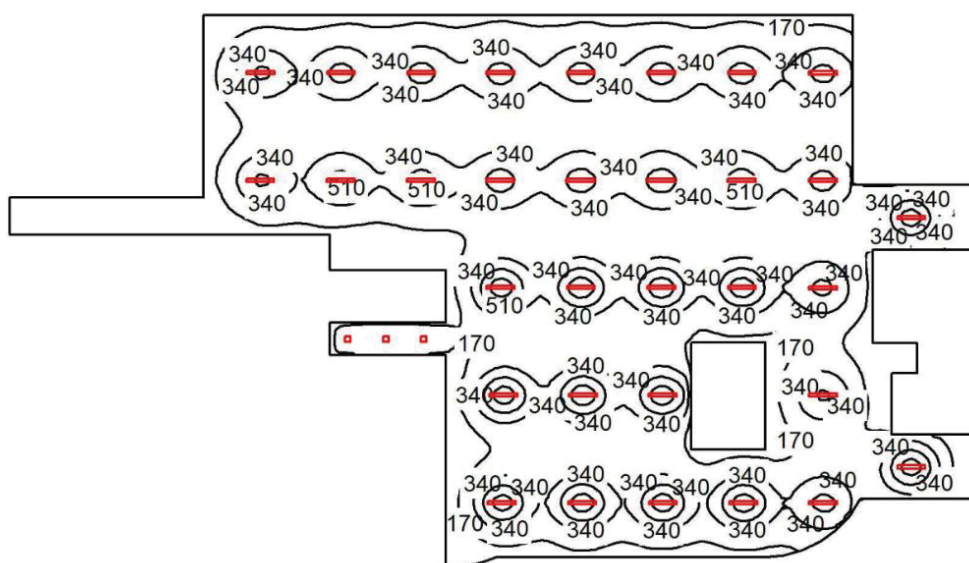


Figura 34 - Distribuição luminosa artificial para a GARAGEM no térreo e primeiro pavimento, conforme projeto lumínico existente.

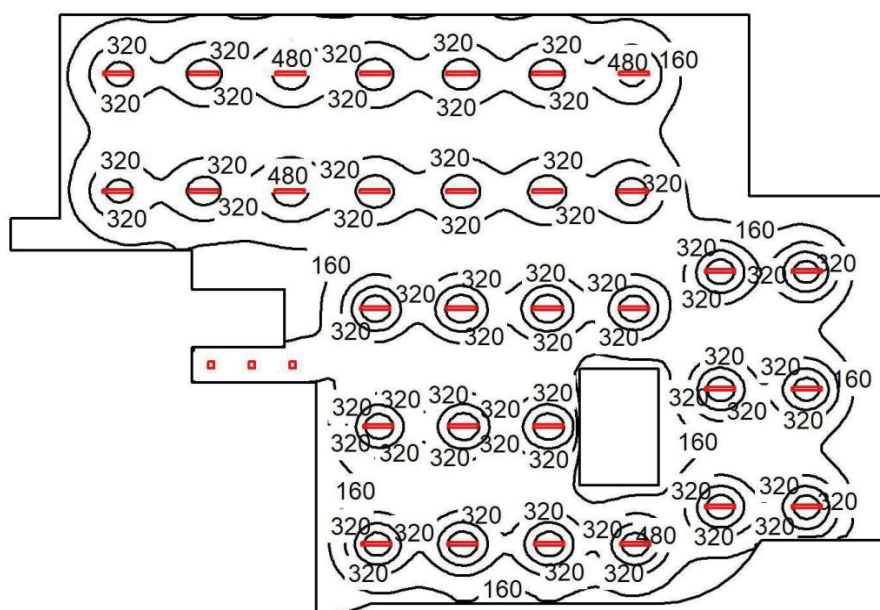


Figura 35 - Distribuição luminosa artificial para a GARAGEM dos subsolos, conforme projeto lumínico existente.

Na Tabela 21 a seguir é apresentado um resumo dos resultados obtidos no software e os níveis de atendimento aos requisitos de desempenho lumínico interior para cada ambiente de área comum simulado.

Tabela 21 - Resumo dos resultados obtidos do software e Nível de atendimento a NBR 15.575 para as áreas comuns.

Ambiente	Medição Lumínica ao Centro do Ambiente [lux]	Nível de Atendimento a NBR 15.575
HALL DE ACESSO	≥ 200	Superior
GARAGEM PAV 2	≥ 160	Superior
GARAGEM TÉRREO/PAV 1	≥ 160	Intermediário
GARAGEM SUBSOLOS	≥ 160	Intermediário

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que, os ambientes da área comum em conjunto possuem desempenho lumínico artificial intermediário. No entanto vale ressaltar que o ambiente de garagem do pavimento 2, não possuem distribuição de iluminação artificial uniforme e apresenta regiões com índice de iluminação inferiores a 20 lux. Apesar de não comprometer o desempenho geral do ambiente, recomenda-se que seja revisto o uso de arandelas no perímetro das vagas, com a substituição desse modelo por equipamentos de maior fluxo luminoso.

Finalmente, conclui-se que, ambos os tipos de habitação, TIPO 1 e TIPO 2, e as áreas comuns possuem desempenho lumínico artificial intermediário e, portanto, é possível classificar a edificação no nível intermediário.

10 CONCLUSÃO

Do ponto de vista térmico, nas condições descritas neste documento, a edificação atende aos requisitos mínimos estipuladas pela NBR 15.575 para o verão e para o inverno. Ademais, tais necessidades foram superadas ao nível superior para as análises de desempenho térmico de verão e ao nível intermediário para as análises de desempenho térmico de inverno. Portanto, de modo geral e do ponto de vista térmico, a edificação como está projetada atende a norma NBR 15.575 com nível de desempenho intermediário.

Do ponto de vista lumínico, duas abordagens foram consideradas. Para o desempenho lumínico natural, todos os ambientes analisados superaram os valores mínimos de iluminação natural exigidos pela NBR 15.575. Dessa forma, para o requisito desempenho lumínico natural a edificação atende a norma NBR 15.575 com nível de desempenho mínimo. Apesar do desempenho geral do edifício ser classificado como mínimo, cerca de 88% dos ambientes simulados atingiram o nível intermediário ou superior. Desta forma recomenda-se a avaliação de estratégias, como o uso de prateleiras de luz e inclusão de janelas na fachada noroeste da edificação, para aumentar o desempenho lumínico dos ambientes com performance inferior.

Para o desempenho lumínico artificial, todos os ambientes privados das habitações, halls e ambientes de garagem, nas condições simuladas, atenderam aos níveis de desempenho lumínico intermediário, de acordo com o estabelecido pela NBR 15.575. Vale ressaltar que, apesar do desempenho intermediário obtido para o segundo pavimento da garagem, este não possui, segundo as análises realizadas, distribuição uniforme em todo o ambiente, sendo que em algumas regiões foram obtidos índices inferiores a 20 lux. Frente a esta questão recomenda-se a utilização de arandelas com fluxo luminoso mais intenso e em maior proporção.

As análises realizadas por meio simulações computadorizadas, indicam que o Edifício Residencial, como está projetado, atende aos requisitos mínimos de desempenho térmico e lumínico estipulados pela NBR 15.575-2013, com a perspectiva de obter classificação intermediária quanto ao desempenho térmico e lumínico para iluminação artificial e classificação mínima quanto ao desempenho lumínico para iluminação natural.

11 PROPOSTAS DE MELHORIA

Conforme apresentado na seção 10, foram evidenciados, ao longo do trabalho, algumas propostas de melhoria para o projeto e concepção, dentre elas estão:

- Utilização de arandelas com fluxo luminoso mais intenso e em maior proporção no segundo pavimento da garagem;
- Estudo arquitetônico e avaliação de estratégias para se elevar o nível de classificação térmico de mínimo para intermediário ou superior e;
- Estudo e análise da geometria da edificação para proposição de pequenas alterações no layout que possam acarretar em melhor desempenho térmico e lumínico.

REFERÊNCIAS

ANEEL. 2012. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. s.l. : Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012.

AULICINO, P. 2008. **Análise de Métodos de Avaliação de Sustentabilidade do Ambiente Construído: o caso dos conjuntos habitacionais**. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo , 2008.

BNE. 2016. **Balanco Energético Nacional** – Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro : s.n., 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. 2009. Eletrobrás. **De olho no meio ambiente**. Brasília, 2009.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. 2009. **Caixa Lança Selo para Empreendimentos Habitacionais Sustentáveis**. Brasília, 2009.

CARLO, J. C. 2008. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais**. Florianópolis, 2008.

INDUSTRIAL. 2011. **Portaria nº 372**, de 10 de setembro de 2010, aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2008. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho: **NBR 15575**. Rio de Janeiro. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2013. Edificações habitacionais – Desempenho: **NBR 15575-1_2013**. s.l. 2013.

ELETROBRÁS/PROCEL. 2009. **Orientações Gerais para Conservação de Energia**. Rio de Janeiro : s.n., 2009.

KRÜGER, E; MORI, F. 2012. **Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.** Porto Alegre, 2012.

MENDES, N.; Westphal F. S.; Lamberts, R.; Cunha Neto, J. A. B.; 2005. **Uso De Instrumentos Computacionais Para Análise Do Desempenho Térmico e Energético De Edificações No Brasil.** Porto Alegre : s.n., 2005.

ANEXO A

Projetos Diversos Obtidos da Edificação

