

Cláudia Rocha Guidi

**Influência dos parâmetros urbanos e da topografia para a
disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais em Belo
Horizonte**

Belo Horizonte

2018

Cláudia Rocha Guidi

**Influência dos parâmetros urbanos e da topografia para a
disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais em Belo
Horizonte**

Versão final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Bens Culturais, Tecnologia e Território

Linha de pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

G947i Guidi, Cláudia Rocha.
Influência dos parâmetros urbanísticos e da topografia para a disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais em Belo Horizonte [manuscrito] / Cláudia Rocha Guidi. - 2018.
131 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Iluminação natural - Teses. 2. Urbanização - Legislação - Teses. 3. Edifícios - Teses. 4. Belo Horizonte (MG) - Teses. 5. Simulação (Computadores) - Teses. 6. Topografia - Teses. 7. NBR 15.575 - Teses. I. Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

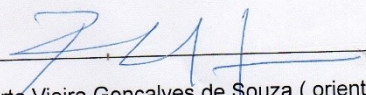
CDD 729.28

Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG

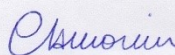
Cláudia Rocha Guidi

"Influência dos parâmetros urbanos e da topografia para a disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais em Belo Horizonte", Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (Mestrado) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais

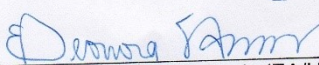
Comissão Examinadora:



Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza (orientadora)



Profa. Dra. Cláudia Naves David Amorim (UnB) - SKYPE



Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis (EA/UFMG)

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2018.

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

“This study was finance in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001”.

AGRADECIMENTOS

À Capes pelo apoio financeiro.

À minha orientadora Roberta Vieira por me guiar pelos caminhos da pesquisa. Agradeço pela paciência e pela dedicação de sempre. Sua alegria e compromisso foram importantes para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos membros da banca que aceitaram participar e contribuir para o aperfeiçoamento desta pesquisa.

À professora e amiga Ana Carolina Veloso. Seus conselhos foram significativos para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por toda a doação dos seus conhecimentos. Sua dedicação é um exemplo para todos.

À professora Raquel Diniz, pelas críticas construtivas durante a banca de qualificação.

À professora Stael de Alvarenga pela gentileza em me orientar acerca dos tecidos urbanos da cidade.

Aos meus pais, Ricardo e Heloísa, por tornar a realização de cada sonho possível.

Às minhas irmãs, Clarissa e Letícia, companheiras e exemplos.

Ao Julio, sempre apoiando e me dando forças para continuar. Agradeço por ter paciência em meus momentos de conflitos e por compreender minha ausência em várias ocasiões.

Aos amigos do Labcon que alegraram meus dias. Em especial à Marina, Karla e Camila, amigas de jornada.

A todos amigos e familiares que torceram por mim em todos os momentos sempre com palavras de apoio e carinho.

Ao Alexandre e à Letícia por apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Muito obrigada!

RESUMO

A proposta do presente trabalho foi analisar a influência dos parâmetros urbanos aliados à topografia na admissão de luz natural em quartos e salas de edifícios residenciais localizados no município de Belo Horizonte a partir de tecidos urbanos representativos da malha topográfica bem como de tipologias de edifícios residenciais tipicamente encontrados na cidade. Foi avaliada a disponibilidade de luz natural correlacionada à inserção topográfica, à localização vertical da unidade residencial e à orientação solar por meio dos critérios propostos na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) e no RTQ-R (BRASIL, 2012). Para a NBR 15.575-1 foram comparados métodos de simulação alternativos, buscando-se respeitar o disposto na norma. Iluminâncias internas foram então obtidas de acordo com a NBR 15.215 partes 2 e 3 (2005b; 2005c) e por simulação computacional. Para a avaliação do RTQ-R, foram realizadas simulações computacionais. No total, foram feitas 160 simulações utilizando-se o *software Daysim*. Verificou-se que a declividade do terreno e a localização vertical da unidade exercem significativa influência sobre a iluminação natural sendo a NBR 15.575-1 significativamente mais permissiva que o RTQ-R. Pelo método gráfico da NBR 15.575-1 todos os ambientes atenderam aos limites mínimos de 60 lux. Já por simulação, o percentual médio de atendimento variou de 52 a 62%, sendo que para a topografia mais íngreme, o percentual de atendimento foi de 25 a 44%. Correlacionando o 1º pavimento e a topografia mais inclinada, nenhum ambiente atendeu à norma. Já para bonificação junto ao RTQ-R os resultados mostraram que 28% dos ambientes de uma tipologia urbana atenderam aos requisitos enquanto os ambientes da outra tipologia atenderam 46%. O percentual de atendimento para a topografia mais elevada variou de 11 a 31%. Para o 1º pavimento, apenas 2,5% dos ambientes atenderam aos requisitos, independentemente da topografia. Estes resultados foram obtidos para Belo Horizonte, mas indicam de forma geral que a topografia e o entorno edificado possuem significativa influência sobre a disponibilidade de iluminação natural. Os resultados parecem indicar, que mantidas as métricas de avaliação da iluminação natural, seria recomendado se rever a Lei de Uso e Ocupação do Solo Municipal de forma a melhorar a entrada de luz em pavimentos inferiores, especialmente em áreas de topografia mais íngreme.

Palavras-chave: Iluminação natural, Legislação urbanística, NBR 15.575, RTQ-R, Simulação computacional

ABSTRACT

The purpose of the present study was to evaluate the influence of the urban parameters correlated to terrain slope over the daylight admission in bedrooms and living rooms of a residential building located in Belo Horizonte from representative urban tissues of the topographic mesh as well as typologies of residential buildings typically found in the city. The analysis addressed the slope, the vertical location of the unit in 4 geographic orientations. The evaluations were carried out according to NBR 15.575 (ABNT, 2013a) and to RTQ-R (BRASIL 2012). requirements using NBR 15.215 parts 2 and 3 (2005b; 2005c) and computer simulation. For the NBR 15.575 alternative simulation methods were also studied using the requirements of the standard. It was run 160 computer simulations in the software Daysim. It was verified that longitudinal terrain slope and the unit vertical location have a significant influence on indoor daylight and also verified that NBR 15.575 requirements are more permissive than RTQ-R requirements. Using NBR 15.575 graphic methods all illuminances were within the minimum values. Using computer simulation, the average percentage of service was between 52 to 62% and in steeper terrain slope, the percentage was 25 to 44%. Correlating the first floor with the steeper terrain slope, no one room did not meet the requirements of the standard. The results showed that 28% of the rooms in one of the urban tissues meet the RTQ-R bonus requirements and the values of the other urban tissues was 46%. In the steeper terrain slope, the values of percentage of service were 11 to 31%. In the first floor, only 2,5% of the rooms meet the requirements, independently of the terrain slope. These results showed that longitudinal terrain slope and built environment have significant influence on indoor daylight which indicated that the city urban legislation should be revised including the analysis of these variables.

Keywords: Daylighting, Urban regulation, NBR 15.575, RTQ-R, Lighting simulation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Carta solar das cidades indicadas de acordo com Guedes (2012), com sobreposição do horário de 7h45 às 16h15 e hachura do período que compreende a 70% deste intervalo ...	21
Figura 02 – Carta solar das cidades indicadas de acordo com Guedes (2012), com sobreposição do horário de 6h às 18h e hachura do período que compreende a 70% deste intervalo	21
Figura 03 – Desenho esquemático apresentando o ângulo de declinação solar (δ_s).....	29
Figura 04 – Desenho esquemático apresentando o ângulo de altura (γ_s) e azimute solar (α_s)	30
Figura 05 – Hemisfera de raio unitário e a projeção da abertura, teto e paredes a partir do ponto P	32
Figura 06 – Exemplo de projeção das superfícies internas sobre o diagrama de fatores de forma	33
Figura 07 – Exemplos dos 16 tipos de céu padrões da CIE	34
Figura 08 – Exemplo de modelo com configuração das superfícies com um tipo de material e sua respectiva refletância.....	36
Figura 09 – Exemplo de malha de pontos para 6 ambientes	36
Figura 10 – Mapa de regiões administrativas de Belo Horizonte.....	41
Figura 11 – Organograma dos passos metodológicos utilizados na pesquisa	47
Figura 12 – Trecho do mapa de bairros de Belo Horizonte.....	49
Figura 13 – Trecho do mapa de declividade de Belo Horizonte	49
Figura 14 – Trecho do mapa de tipologia de uso e ocupação de Belo Horizonte	49
Figura 15 – Trecho do mapa de zoneamento e áreas de diretrizes especiais de Belo Horizonte	49
Figura 16 – Trecho de Planta de Parcelamento do Solo (CP)	52
Figura 17 – Informações detalhadas de projeto - Pisos / blocos	54
Figura 18 – Informações detalhadas de projeto – Áreas do projeto	55
Figura 19 – Informações detalhadas de projeto – Dados gerais	55
Figura 20 – Máscara relativa ao quarto para os pavimentos inferior e intermediário e para os quartos do pavimento superior das declividades 10, 20, 30 e 47,5%. Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE.....	61
Figura 21 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 0% no qual se pode ver a componente celeste - CC, a CRE e a CRI.....	61

Figura 22 – Máscara relativa à sala para os pavimentos inferior e intermediário. Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE	61
Figura 23 – Máscara relativa à sala para o pavimento superior no qual se pode ver a componente celeste - CC, a CRE e a CRI.....	61
Figura 24 – Máscara relativa ao quarto para os pavimentos inferior e intermediário e para os quartos do pavimento superior com declividade de 30 e 47,5% Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE.....	62
Figura 25 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 0% no qual se pode ver a componente celeste - CC e a CRI	62
Figura 26 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 10% no qual se pode ver a componente celeste – CC, a CRE e a CRI.....	63
Figura 27 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 20% no qual se pode ver a componente celeste – CC, a CRE e a CRI.....	63
Figura 28 – Máscara relativa à sala para os pavimentos inferior e intermediário. Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE	63
Figura 29 – Máscara relativa à sala para o pavimento superior no qual se pode ver a componente celeste - CC, a CRE e a CRI.....	63
Figura 30 – Imagem aérea do Bairro Buritis onde se pode verificar a presença da estrutura aparente localizada no fundo dos lotes, devido à alta declividade dos terrenos.....	70
Figura 31 – Imagem aérea do Bairro Buritis onde se pode verificar os espaçamentos de fundos entre edificações localizadas em terrenos de alta declividade e a tipologia edilícia de construções baixas e compactas	70
Figura 32 – Imagem aérea da ZCBH onde se pode verificar a existência de residências unifamiliares entre torres de edifícios	70
Figura 33 – Imagem aérea da ZCBH onde se pode verificar as tipologias edilícias de torres altas	70
Figura 34 – Lote bairro Buritis	71
Figura 35 – Quarteirão ZCBH.....	72
Figura 36 – Entorno analisado do bairro Buritis	73
Figura 37 – Entorno analisado do bairro Buritis	73
Figura 38 – Entorno analisado da ZCBH	74
Figura 39 – Entorno analisado da ZCBH	75
Figura 40 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis.....	76
Figura 41 – Corte transversal do modelo de edifício do Buritis.....	76

Figura 42 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – lote 15x40m.....	77
Figura 43 – Corte transversal do modelo de edifício da ZCBH – lote 15x40m.....	77
Figura 44 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – lote 20x30m.....	78
Figura 45 – Corte transversal do modelo de edifício da ZCBH – lote 20x30m.....	78
Figura 46 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – lote 10x60m.....	79
Figura 47 – Corte transversal do modelo de edifício da ZCBH – lote 10x60m.....	79
Figura 48 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 0%.....	79
Figura 49 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 10%.....	79
Figura 50 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 20%.....	80
Figura 51 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 30%.....	80
Figura 52 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 47,5%.....	80
Figura 53 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 0%.....	81
Figura 54 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 10%.....	81
Figura 55 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 20%.....	81
Figura 56 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 30%.....	82
Figura 57 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 47,5%.....	82
Figura 58 – Planta e corte com dimensões do quarto do modelo do Buritis.....	84
Figura 59 – Planta e corte com dimensões da sala do modelo do Buritis.....	84
Figura 60 – Planta e corte com dimensões do quarto do modelo da ZCBH.....	85
Figura 61 – Planta e corte com dimensões do quarto do modelo da ZCBH.....	85
Figura 62 – Localização dos ambientes em planta no modelo do Buritis.....	86
Figura 63 – Localização dos ambientes em planta do pavimento inferior no modelo da ZCBH	86
Figura 64 – Localização dos ambientes em planta do pavimento intermediário no modelo da ZCBH.....	86
Figura 65 – Localização dos ambientes em planta do pavimento superior no modelo da ZCBH	87
Figura 66 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 para todos os modelos e todos os pavimentos.....	90
Figura 67 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento superior – 60 lux.....	91
Figura 68 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento superior – 60 lux.....	91

Figura 69 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux	91
Figura 70 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux.....	91
Figura 71 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento inferior – 60 lux.....	91
Figura 72 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento inferior – 60 lux	91
Figura 73 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento superior – 60 lux.....	92
Figura 74 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento superior – 60 lux	92
Figura 75 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux.....	92
Figura 76 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux.....	92
Figura 77 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux.....	92
Figura 78 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux.....	92
Figura 79 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / Buritis – pavimento superior.....	96
Figura 80 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / ZCBH – pavimento superior.....	96
Figura 81 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / Buritis – pavimento intermediário	96
Figura 82 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / ZCBH – pavimento intermediário	96
Figura 83 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / Buritis – pavimento inferior.....	96
Figura 84 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / ZCBH – pavimento inferior.....	96
Figura 85 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento superior – 60 lux.....	110
Figura 86 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux.....	111
Figura 87 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento inferior – 60 lux.....	112
Figura 88 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento superior – 60 lux.....	113

Figura 89 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux.....	114
Figura 90 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux.....	115
Figura 91 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento superior – 60 lux.....	116
Figura 92 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux.....	117
Figura 93 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento inferior – 60 lux.....	118
Figura 94 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento superior – 60 lux.....	119
Figura 95 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux.....	120
Figura 96 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento inferior – 60 lux.....	121
Figura 97 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento superior – 60 lux.....	122
Figura 98 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux.....	123
Figura 99 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux.....	124
Figura 100 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento superior – 60 lux.....	125
Figura 101 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux.....	126
Figura 102 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux.....	127
Figura 103 – Mapa de declividade de Belo Horizonte.....	128
Figura 104 – Mapa de bairros de Belo Horizonte.....	129
Figura 105 – Mapa de tipologia de uso e ocupação de Belo Horizonte.....	130
Figura 106 – Mapa de zoneamento e áreas de diretrizes especiais de Belo Horizonte.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas de acordo com autores..	24
Tabela 02 – Níveis de iluminação natural de acordo com a NBR 15.575-1	38
Tabela 03 – Parâmetros urbanísticos das zonas de Belo Horizonte estabelecidos pela Lei 7.166/1996.....	43
Tabela 04 – Parâmetros relativos aos compartimentos das unidades privativas das edificações de uso residencial multifamiliares estabelecidos pelo Código de Edificações de Belo Horizonte	44
Tabela 05 – Critérios e métricas e principais autores pesquisados.....	45
Tabela 06 – Critérios da NBR 15.575-1 e RTQ-R	46
Tabela 07 – Representatividade das zonas urbanísticas de Belo Horizonte de acordo com o número de bairros	50
Tabela 08 – Desconto das esquadrias.....	57
Tabela 09 – Valores adotados de refletâncias das superfícies dos materiais.....	58
Tabela 10 – Ângulos de declinação, altura e azimute solares e iluminância externa.....	60
Tabela 11 – Fator de forma dos ambientes.....	60
Tabela 12 – Ângulos de declinação, altura e azimute solares e iluminância externa.....	64
Tabela 13 – Valores dos dados de entrada para cálculo	64
Tabela 14 – Dados de altura solar ($^{\circ}$), nebulosidade (0-10) e iluminância externa (lux) do cálculo pela NBR 15.215-2 e do arquivo climático SWERA usados nas simulações.....	67
Tabela 15 – Dimensões médias para os quartos e sala de acordo com padrão construtivo.....	83
Tabela 16 – Dimensões das janelas, áreas úteis de iluminação natural e áreas mínimas estabelecidos pelo RTQ-R para cada ambiente	88
Tabela 17 – Tabela comparativa dos percentuais de atendimento para todos os ambientes de cada modelo e de cada método de cálculo.....	99
Tabela 18 – Tabela comparativa dos percentuais de atendimento de cada modelo topográfico do Buritis e da ZCBH para cada método de cálculo.....	99
Tabela 19 – Tabela comparativa dos percentuais de atendimento de cada pavimento do modelo do Buritis e da ZCBH para cada método de cálculo.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADE	Área de diretrizes especiais
AVO	Ângulo Vertical de Obstruções
CA	Coeficiente de aproveitamento
CAb	Coeficiente de aproveitamento básico
CAm	Coeficiente de aproveitamento máximo
CC	Componente celeste
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CRE	Componente refletiva externa
CRI	Componente refletiva interna
DA	<i>Daylight Autonomy</i>
DCRL	Diagrama de Contribuição Relativa
DFave	Média do Fator de Luz Diurna
FF	Fator de forma
FLD	Fator de Luz Diurna
FLDV	Fator de Luz Diurna Vertical
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IWEC	<i>International Weather for Energy Calculations</i>
JCP	Janela de Céu Preferível
Kc	Coeficiente de caixilho
Km	Coeficiente de manutenção
Kt	Transmissividade do vidro
NBR	Norma Brasileira
ODC	Outorga Onerosa do Direito de Construir
OI	Objeto de Impacto
PMBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
QT	Quota mínima de terreno por unidade habitacional
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SSA	Ângulos sólidos de céu visto
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>

TMY	<i>Test Meteorological Year</i>
TO	Taxa de ocupação
TRY	<i>Text Reference Year</i>
ZA	Zona Adensada
ZAP	Zona de Adensamento Preferencial
ZAR	Zona de Adensamento Restrito
ZC	Zona Central
ZE	Zona de Grandes Equipamentos
ZEIS	Zona de Especial Interesse Social
ZP	Zona de Proteção
ZPAM	Zona de Preservação Ambiental

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	Estrutura da Dissertação.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Disponibilidade de luz natural.....	20
2.2	Variáveis da luz natural.....	22
2.2.1	Variáveis arquitetônicas.....	23
2.2.2	Variáveis externas.....	25
2.3	Métodos de cálculo da luz natural.....	28
2.3.1	Método de cálculo de iluminação natural através da NBR 15.215.....	28
2.3.2	Método de cálculo de iluminação natural através de simulação computacional – <i>Software Daysim</i>	35
2.4	Arquivos climáticos.....	37
2.5	NBR 15.575-1 – Edificações habitacionais – Desempenho.....	37
2.6	RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de edificações residenciais	39
2.7	Legislações urbanísticas de Belo Horizonte.....	40
2.7.1	Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo de Belo Horizonte.....	42
2.7.2	Código de Edificações de Belo Horizonte.....	43
2.8	Principais conclusões	44
3	METODOLOGIA	47
3.1	Construção dos modelos.....	48
3.1.1	Definição das tipologias do tecido urbano representativas.....	48
3.1.2	Determinação das declividades do terreno	51
3.1.3	Dimensões dos lotes	51
3.1.4	Entorno do modelo da edificação	52
3.1.5	Forma do edifício.....	53
3.1.6	Ambientes analisados	56
3.1.7	Definição das janelas	57

3.1.8	Refletância dos materiais.....	58
3.1.9	Modelos analisados e nomenclatura	58
3.2	Requisitos de análise conforme NBR 15.575-1	59
3.2.1	Método prescritivo.....	59
3.2.2	Simulação computacional - dia estabelecido na NBR 15.575-1.....	65
3.2.3	Simulação computacional - nebulosidade de 0,5 para a NBR 15.575-1	66
3.2.4	Comparação dos dias de análise	66
3.3	Requisitos de análise conforme RTQ-R.....	68
3.4	Comparação de resultados.....	68
4	RESULTADOS	69
4.1	Modelos representativos.....	69
4.1.1	Modelos das tipologias do tecido urbano representativos	69
4.1.2	Dimensões dos lotes	71
4.1.3	Entorno do modelo da edificação	72
4.1.4	Forma do edifício.....	75
4.1.5	Declividades do terreno	79
4.1.6	Dimensão dos ambientes	83
4.1.7	Dimensão das janelas.....	87
4.2	Resultados dos cálculos de iluminação natural	88
4.2.1	Apresentação e análise de resultados dos métodos da NBR 15.575-1	89
4.2.2	Apresentação e análise de resultados do método do RTQ-R.....	95
4.3	Comparação dos resultados das simulações computacionais.....	98
5	CONCLUSÕES.....	101
5.1	Limitações para realização da pesquisa	103
5.2	Sugestões para pesquisas futuras.....	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	APÊNDICE A	110
	ANEXO A.....	128

1 INTRODUÇÃO

A iluminação natural é considerada como uma das melhores fontes de luz devido as suas propriedades de reprodução de cor, o que contribui para o conforto visual humano (ALRUBAIH *et al*, 2013). Ela é definida como a luz proveniente do sol de forma direta, luz difundida pela atmosfera celeste e luz refletida pelos elementos do entorno, admitida no interior edificado (ABNT, 2005a).

A arquitetura possui papel fundamental para promover bem-estar aos usuários e o uso adequado da iluminação natural nos ambientes possibilita melhor desempenho das funções biológicas, além de oferecer senso de orientação, de tempo e das condições meteorológicas externas gerando melhor qualidade de vida e saúde (BAKER, FANCHIOTTI E STEEMERS, 1998).

No início deste século, a discussão acerca do consumo consciente de energia, principalmente elétrica no Brasil, ganhou destaque em diversos campos da ciência. É função da arquitetura projetar edificações energeticamente que, dentre outros itens do projeto, trabalha com a integração da luz natural com o sistema de iluminação artificial permitindo, desta maneira, a redução do consumo de energia elétrica.

Em 2001, o país apresentou um quadro de crise energética, e, devido a este fato, em 17 de outubro de 2001, foi aprovada a Lei 10.295, que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, tendo como uma das premissas a necessidade de se criar padrões de consumo de energia para uma edificação construída (BRASIL, 2001). Assim, para atender a esta lei, em 16 de janeiro de 2012, foi instituída a Portaria nº 18 que define o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Este regulamento apresenta os requisitos necessários para a certificação de eficiência energética das edificações residenciais, cuja classificação varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (BRASIL, 2012).

Diante da necessidade de se estabelecer normas que atendam às exigências dos usuários frente aos sistemas que compõem uma edificação residencial, foi criada a norma NBR 15.575 sob o título “Edificações habitacionais – Desempenho”. Ela é composta por 6 partes, sendo que a iluminação natural é tratada dentro do item de desempenho lumínico da Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2013a).

As normalizações são importantes ferramentas para a implementação de exigências no campo da eficiência energética e no alcance do desenvolvimento de edificações sustentáveis.

Embora estas normas, por si só, não garantem edificações mais eficientes e confortáveis, são passos importantes em direção a um cenário mínimo de exigências que irá, certamente, provocar alterações na maneira como os projetos de arquitetura vêm sendo feitos e na consciência ambiental dos arquitetos e da própria sociedade (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014, p. 22).

Em edifícios inseridos em áreas urbanas, a admissão da luz natural depende de uma série de variáveis como: o tipo, a orientação geográfica e as dimensões das aberturas; os dispositivos externos de sombreamento, tais como obstruções do entorno edificado e existência de proteções solares; as características do ambiente interno, como geometria, dimensões e refletividade das superfícies; a disponibilidade da luz natural em relação às condições atmosféricas; a relação do edifício com os parâmetros institucionais normativos e outros (CINTRA, 2011; FROTA, 2004; MORAES E SCARAZZATO, 2003). Segundo Leder e Pereira (2008), os edifícios inseridos em cenários urbanos apresentam significativa redução de luz natural em seus ambientes internos em função da obstrução do céu devido, principalmente, aos cenários mais densos com ocupação máxima. Em contraposição, Araújo e Cabús (2007) afirmam que, em certas ocasiões, a luz refletida do entorno edificado contribui para o aumento da quantidade de luz no ambiente interno. Santos, Auer e Souza (2017) referendam a importância das configurações dos cânions urbanos no acesso à luz natural.

De acordo com Assis (2005), a legislação como variável condicionante da forma urbana está diretamente associada à mudança climática local e, dessa forma, deveria assumir critérios capazes de garantir o acesso à luz natural, entre outros. De acordo com Laranja, Gazzaneo e Cabús (2009) as regulamentações edilícias e urbanas têm como objetivo oferecer melhores condições na qualidade de vida da população, por isso se destaca a importância de um planejamento urbano que considere, entre outros fatores, o estudo da iluminação natural.

Os parâmetros urbanísticos definidos pelas legislações municipais muitas vezes não garantem a disponibilidade de luz natural adequada, visto que a influência das obstruções externas (tanto naturais quanto edificadas) não é considerada, além das características climáticas locais, trajetória solar e tipos de céu (LARANJA, GAZZANEO E CABÚS, 2009).

Nas últimas décadas, houve crescimento da urbanização em diversos centros urbanos brasileiros. Em Belo Horizonte, especificamente, a análise de mapas da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) indica que esse crescimento urbano foi feito predominantemente por edificações residenciais (PMBH, 2007, 2011a). Os parâmetros urbanísticos municipais, especificamente afastamentos mínimos laterais e de fundos associados às características topográficas da malha urbana levaram a crer que a quantidade de luz natural admitida nos ambientes residenciais, especialmente em andares inferiores, vem sendo reduzida.

Diante deste quadro, tornam-se necessários estudos que forneçam parâmetros para o desenvolvimento de projetos de edificações que atendam aos requisitos desejáveis de iluminação natural. Este trabalho visa contribuir com a geração de subsídios para o aperfeiçoamento da legislação urbana.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a influência do entorno em ambientes urbanos de diferentes topografias na disponibilidade de luz natural a partir dos requisitos da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) e do RTQ-R (BRASIL, 2012) em edifícios residenciais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar modelos de tecidos urbanos representativos de áreas residenciais densas no território do município de Belo Horizonte;
- Avaliar comparativamente os dois métodos de cálculo da iluminação natural bem como os resultados obtidos para ambos os métodos estudados neste trabalho - cálculo prescritivo e simulação computacional;
- Avaliar comparativamente o efeito da seleção dos diferentes tipos de céu para a NBR 15.575;
- Investigar o impacto das variáveis orientação solar, declividade longitudinal do terreno, localização vertical da unidade e afastamentos das edificações para a disponibilidade de luz natural no ambiente interno analisado.

1.2 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. Neste capítulo, a pesquisa a ser desenvolvida foi apresentada e contextualizada e os objetivos esclarecidos.

O capítulo 02 apresenta a revisão bibliográfica acerca de estudos já desenvolvidos sobre o tema. Foram levantadas as pesquisas sobre a disponibilidade de luz natural, suas variáveis e seus métodos de cálculo. Foram apresentados os trabalhos sobre arquivos climáticos. Por último, as normalizações nacionais que tratam sobre a luz natural e as legislações municipais.

A metodologia é descrita no capítulo 03, a qual foi dividida em três etapas: construção de modelos, cálculos de iluminação natural, análise e comparação dos resultados.

O capítulo 04 apresenta os resultados dos modelos representativos do tecido urbano e das edificações. São apresentados os resultados e a comparação deles para cada método de cálculo de iluminação natural.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões, as limitações da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

Nos apêndices estão os gráficos referentes aos valores de iluminância. Os anexos apresentam os mapas de Belo Horizonte de bairros, de tipologia de uso e ocupação, de zoneamento e áreas de diretrizes especiais e de declividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo corresponde à revisão bibliográfica sobre o tema necessária para embasar a elaboração deste trabalho. Os subitens abordam a disponibilidade, as variáveis e os métodos de cálculo da luz natural; a apresentação dos arquivos climáticos e, por fim, as normalizações nacionais pertinentes.

Inicialmente fez-se necessário pesquisar sobre a disponibilidade da luz natural, tanto em termos de faixa horária de ocorrência quanto a influência dos tipos de céu e orientação solar. Os principais autores para esta etapa foram Cintra (2011), Guedes (2012) e Lechner (2015).

Em seguida, foram levantadas pesquisas sobre as variáveis da luz natural. Estas variáveis foram divididas em dois subitens: variáveis arquitetônicas e variáveis externas. As variáveis arquitetônicas tratam sobre a influência das proteções solares, das dimensões das aberturas, da profundidade do ambiente interno e dos coeficientes de refletividade das superfícies tanto internas quanto do entorno. Os autores apresentados são: Bittencourt e Didoné (2006), Guedes (2012), Cintra (2011), Steffy (1990), Vianna e Gonçalves (2007), Leder, Pereira e Moraes (2007), Capeluto (2003), Givoni (2016) e Reinhart (2014). Já as variáveis externas abordam a influência do entorno edificado e da topografia do terreno. Os principais autores são: Assis, Valadares e Souza (1995), Capeluto (2003), Bracarense, Jota e Assis (2005), Araújo e Cabús (2007), Pereira, Pereira e Claro (2008), Leder, Pereira e Claro (2008), Scalco, Pereira e Rigatti (2010) e Santos, Auer e Souza (2017).

Foram apresentados dois métodos de cálculo da iluminação natural: método prescritivo da norma NBR 15.215 e o método pela simulação computacional, estabelecido de acordo com os requisitos do RTQ-R.

Em seguida, foram apresentados os vários arquivos climáticos disponíveis e quais as suas diferenças de acordo com Scheller *et al* (2015) e Fonseca, Fernandes e Pereira (2017).

Por fim, foram apresentados os requisitos para a iluminação natural determinados na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) e no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de edificações residenciais (BRASIL, 2012). Em seguida, foram apresentadas as legislações que regem o município de Belo Horizonte, tanto acerca dos parâmetros urbanísticos e zoneamentos quanto dos critérios exigidos de iluminação para as edificações.

2.1 Disponibilidade de luz natural

Para um estudo de disponibilidade de luz natural deve-se, inicialmente, verificar a localização da cidade em relação à sua latitude e ao seu clima local. Em cidades com latitudes mais baixas, a duração da noite e do dia são semelhantes, enquanto as cidades localizadas em altas latitudes possuem grande variação horária entre noite e dia, tendo dias longos durante o verão e ao contrário no inverno, com noites mais longas que os dias.

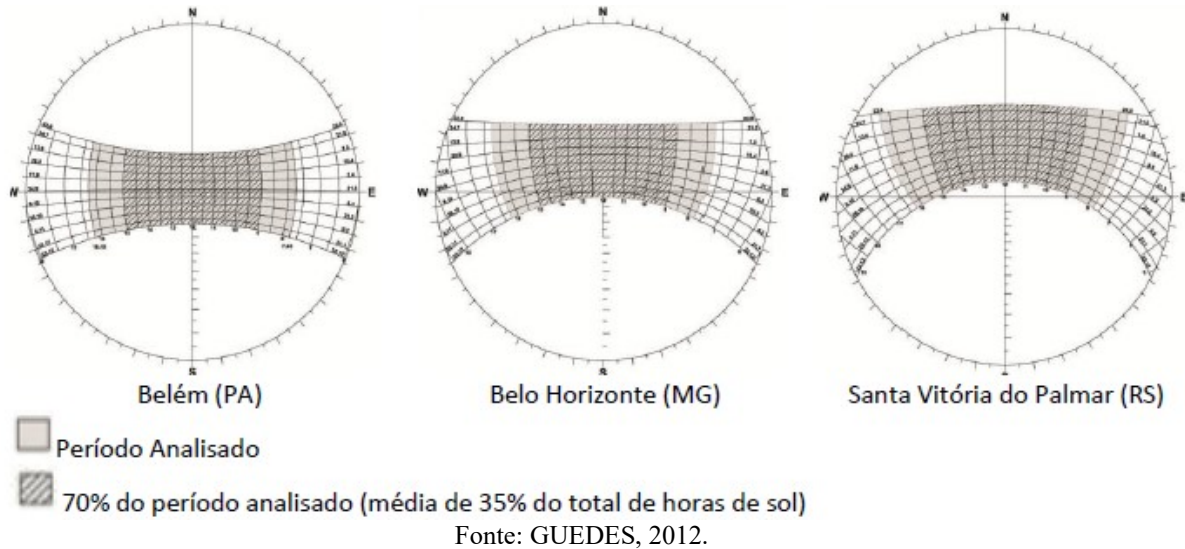
A cidade de Belo Horizonte está em média latitude (19° 55' S). Para a simulação computacional, devido a limitações de inserir mais de uma faixa horária ao longo do ano no *software Daysim*, o que seria o ideal, é necessário estabelecer um intervalo horário mais representativo da ocorrência da luz natural para a cidade.

Duas autoras trabalharam com a análise da disponibilidade de luz natural. Cintra (2011), em sua pesquisa acerca da influência da profundidade dos ambientes para a disponibilidade de luz natural em onze cidades brasileiras, trabalhou com três faixas de horários de ocupação. A primeira faixa estudada foi a de 6h às 18h por se tratar de um período aproximado de horas de sol no Brasil. Entretanto, verificou-se que esta faixa não atendia a todas as cidades. Desta forma, ela propôs um intervalo entre uma hora após o nascer do sol e uma hora antes do pôr do sol durante o solstício de inverno, ou seja, o período mais curto de sol para cada cidade. No caso de Belo Horizonte, este intervalo corresponde a 7h45 às 16h15. A última faixa proposta por Cintra (2011) foi de 8h às 16h pois corresponde ao menor intervalo de horário de ocupação dentre as onze cidades.

A partir do estudo do horário de ocorrência da luz natural desenvolvido por Cintra (2011), Guedes (2012) elaborou seu trabalho considerando o estabelecido pelo RTQ-R de que o ambiente deve possuir um valor de iluminância mínimo em 70% das horas de luz natural durante o ano. A autora selecionou os dois primeiros intervalos de ocorrência de Cintra (2011) e calculou o valor percentual de horas aplicando esta métrica do RTQ-R para três cidades brasileiras selecionadas com três variações nas latitudes, sendo: Belém (Latitude 2° Sul), Belo Horizonte (Latitude 20° Sul) e Santa Vitória do Palmar (Latitude 34° Sul) como forma de comprovar esta metodologia em todo o território nacional.

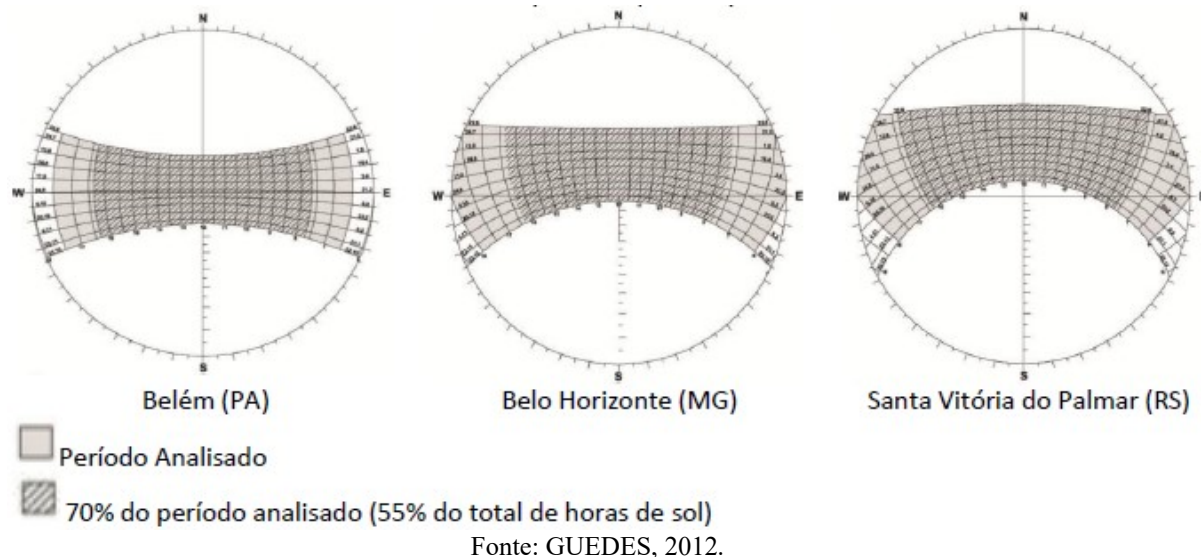
Para o intervalo de 7h45 às 16h15 foi constatado que 70% desta faixa equivaleria a, aproximadamente, 35% das horas com disponibilidade de luz natural para cada cidade (FIGURA 01).

Figura 01 – Carta solar das cidades indicadas de acordo com Guedes (2012), com sobreposição do horário de 7h45 às 16h15 e hachura do período que compreende a 70% deste intervalo



A autora realizou o mesmo para o intervalo de 6h às 18h e encontrou valores aproximados de 55% das horas com disponibilidade de luz natural para cada cidade (FIGURA 02).

Figura 02 – Carta solar das cidades indicadas de acordo com Guedes (2012), com sobreposição do horário de 6h às 18h e hachura do período que compreende a 70% deste intervalo



Segundo Guedes (2012), o intervalo de 6h às 18h se mostrou mais adequado por estabelecer um período mais amplo para a análise de luz natural.

Além de estabelecer o horário de ocorrência, há também a relação entre o tipo de céu encontrado na cidade com a disponibilidade de luz natural. De acordo com Lechner (2015), a iluminância global de um céu encoberto é da ordem de 5.000 a 20.000 lux enquanto que para

céus claros os valores variam de 60.000 a 100.000 lux, tendo o céu parcialmente encoberto valores intermediários aos dois anteriores.

A orientação solar da abertura influencia a quantidade de luz natural disponível nos ambientes internos. Quando se tem um céu encoberto, esta variação é pequena, já que o céu possui a mesma distribuição azimutal de iluminância, independente da altura do sol. Neste caso, o zênite (ponto mais alto da abóbada celeste), possui os maiores valores de iluminância. Entretanto, para um céu claro ou parcialmente encoberto, a localização do Sol no céu redireciona os maiores valores para a altura solar (LECHNER, 2015), fazendo com que as aberturas orientadas em direção ao Sol possuam maiores valores de iluminância ao contrário das aberturas opostas.

2.2 Variáveis da luz natural

Existem fatores, tanto internos ao ambiente em estudo quanto externos a ele, que interferem na iluminação natural. De acordo com a Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte - *Illuminating Engineering Society of North America* – (IESNA, 2010), a disponibilidade de luz natural para uma certa localidade refere-se à quantidade de luz proveniente do Sol e do céu em determinada hora, dia e condições do céu. Esta luz que chega ao ambiente é dividida em parcelas, sendo a luz direta a luz proveniente do sol e referente à abóbada celeste, e a luz difusa a luz difundida pela atmosfera (ABNT, 2005b). Somada a estas duas parcelas, deve-se ainda considerar para a disponibilidade de luz natural em ambientes internos tanto a luz refletida pelo entorno quanto a luz refletida no ambiente interno. Estudos indicam que não considerar a dinâmica da distribuição de luminâncias do céu e a reflexão do entorno obstruidor para a avaliação da luz natural representa uma grande distorção nos resultados (PEREIRA, PEREIRA E CLARO, 2008).

Nos subitens que se seguem, são citados alguns destes fatores e sua influência na disponibilidade de luz natural.

2.2.1 Variáveis arquitetônicas

De acordo com Robbins (1986) e Capeluto (2003), a disponibilidade de luz natural no ambiente interno depende de muitos fatores, dentre eles: as proteções solares, as dimensões físicas do ambiente analisado, como profundidade e altura do pé-direito; as características do sistema de iluminação natural (dimensões da janela, refletividade do vidro, esquadria) e a textura/cor das superfícies internas.

As proteções solares, ou *brises soleil*, são elementos “de controle de superfície contínua opaca que protegem o componente de passagem contra os raios diretos do sol, podendo refletir luz natural para o interior” (ABNT, 2005a, p.4). A utilização destas proteções solares na arquitetura deve ser feita de forma bem criteriosa pois, ao bloquear os raios do sol que provocam ganho de calor ao ambiente, elas podem tanto impedir a entrada de luz natural, provocando o uso de iluminação artificial, quanto o contrário, possibilitar melhores valores de iluminância no ambiente interno (FROTA, 2004). Bittencourt e Didoné (2006) avaliaram o desempenho de brises mistos (horizontais e verticais com diferentes larguras) para a iluminação natural no ambiente interno e concluíram que estes elementos diminuem o contraste da luminosidade e trazem melhor uniformidade da luz, além de contribuírem para o aumento da iluminância interna.

Diversos autores abordaram a relação entre as dimensões das janelas com a forma do ambiente. De acordo com Guedes (2012), a determinação da área da janela de acordo com a área de piso do compartimento pelo Código de Edificações de Belo Horizonte para edifícios residenciais se mostrou suficiente para atender aos requisitos do RTQ-R em condições sem entorno.

Já para os valores adequados da profundidade do ambiente em relação à abertura, Cintra (2011) elaborou estudos e chegou ao valor de 2,57 vezes a altura da janela para a profundidade limite em aberturas sem proteção solar. A autora considerou ambientes com características padrão e abertura com dimensão de 1/6 a área do piso. Desta forma, o valor encontrado se aproxima dos valores praticados pelo Código de Edificações de Belo Horizonte, que determina o valor de 2,5 o pé-direito; entretanto, sem descontar a altura da verga.

Outra variável interna ao ambiente e que interfere na disponibilidade de luz natural são os coeficientes de refletância e absortância das superfícies. Assim que a luz natural penetra o ambiente, parte dos raios solares incidentes sobre as superfícies são refletidos e outra parte

absorvidos. Estes valores são determinados de acordo com as características da superfície, como cores e textura (ABNT, 2003).

A norma NBR ISO CIE 8995 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interiores, determina uma faixa de refletâncias úteis para cada superfície interna apresentada pela Tabela 01 (ABNT, 2013b). Por ser a única norma brasileira que dispõe dos valores de refletância das superfícies internas, utilizou-se destes valores determinados para ambientes de trabalho para os ambientes residenciais.

Diversos autores, como Steffy (1990) e Vianna e Gonçalves (2007) apontam a importância da escolha das refletâncias das superfícies internas para o melhor rendimento do sistema de iluminação. Vianna e Gonçalves (2007) recomendam a utilização de valores elevados de refletância em superfícies, principalmente no teto, por se tratar da principal superfície que contribui para a reflexão da luz dentro do ambiente interno. Na Tabela 01 estão compilados os valores de refletâncias recomendados e utilizados por diversos autores.

Tabela 01 – Faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas de acordo com autores

Autor	Faixa de refletâncias		
	Teto	Paredes	Piso
NBR ISO CIE 8995	0,6 – 0,9	0,3 – 0,8	0,1 – 0,5
Steffy (1990)	0,7 ou mais	0,3 – 0,5	0,1 – 0,2
Vianna e Gonçalves (2007)	0,7	0,5	0,1 – 0,2
Capeluto (2003)	0,8	0,65	0,2

Fontes: ABNT, 2013b; STEFFY, 1990; VIANNA e GONÇALVES, 2007; CAPELUTO, 2003.

Para os índices de refletância do entorno edificado, Leder, Pereira e Moraes (2007) elaboraram um estudo para determinar o coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais em meio urbano para a cidade de Florianópolis. Este estudo foi baseado em um levantamento fotográfico das fachadas, medições em modelos reduzidos e em edificações existentes. Os autores encontraram 43,9% para o índice médio de refletância do entorno edificado. Já Capeluto (2003) e Givoni (2016) estabeleceram o valor de 40% para a refletância das superfícies externas verticais. Para os pisos externos, o valor de 20% foi encontrado tanto por Capeluto (2003) quanto por Reinhart (2014).

2.2.2 Variáveis externas

Além da geometria solar, dos tipos de céu e das variáveis arquitetônicas, outros fatores interferem para a disponibilidade de luz natural no ambiente interno como o entorno edificado e a própria topografia do terreno e do entorno.

Um dos fatores que possuem grande influência para a disponibilidade de luz natural em um ambiente interno são as condições das obstruções do entorno. Diversos autores estudaram sobre esta influência, principalmente a do entorno edificado em centros urbanos.

Uma tentativa de determinar os recuos e volumetria das edificações estabelecidos pela legislação urbanística para melhor aproveitamento da luz natural e da insolação foi desenvolvida por Assis, Valadares e Souza (1995) juntamente com o corpo técnico da Prefeitura de Belo Horizonte. Os autores estabeleceram um valor de iluminação mínima de 150 lux em um intervalo horário de 8h às 16h em 80% do ano. Foi proposto um conjunto de ângulos de altura solar e de gabarito (relação entre altura e recuo da edificação) relacionados a cada zona de uso e ocupação do solo. O ângulo do céu foi determinado entre o plano vertical que contém a janela de um espaço definido no piso térreo e a parte superior do edifício oposto. Assim, foi definido um ângulo mínimo de $27^{\circ} 30'$ para preservar a luz do dia nas áreas urbanas residenciais.

Capeluto (2003) desenvolveu estudos acerca de ângulos sólidos de céu visto (SSA) juntamente com médias de Fator de Luz Diurna (DFave) para analisar a influência de edificações vizinhas na disponibilidade da iluminação natural. O autor utilizou como variáveis do estudo a largura da via; a altura dos edifícios obstruidores que estão em frente ao edifício em estudo e que irão definir o SSA, e a continuidade da obstrução, ou seja, se há ou não afastamentos laterais entre estes edifícios. Para cada padrão de obstrução, o autor calculou o DFave e o SSA. Como resultados, foram encontrados o menor SSA no valor de 1 esterradiano correspondendo ao menor valor de DFave de 2%, e o maior SSA de 2,8 esterradiano correspondendo ao maior valor de DFave de 6%. Os resultados deste estudo demonstraram que quanto maior o ângulo sólido de céu visto maior a média do Fator de Luz Diurna, ou seja, quanto menor a obstrução externa maior a quantidade de luz natural no ambiente avaliado.

Em 2005, Bracarense, Jota e Assis comprovaram que as reflexões das superfícies externas e internas afetam a distribuição da luz natural no ambiente interno e que o entorno construído pode contribuir para aumentar o nível de iluminância interior e esse deve ser considerado nas normas técnicas e nos projetos de iluminação.

A respeito da influência do entorno, Araújo e Cabús (2007) avaliaram a contribuição das reflexões da radiação solar das edificações vizinhas para a iluminação natural do ambiente interno. Os autores defenderam que, em áreas urbanas onde a tipologia de cânions é predominante, a luz refletida tem maior contribuição para a iluminação natural do que a luz difusa ou direta do céu. Verificou-se que a fachada Sul apresentou grandes valores de iluminância devido à contribuição da parcela de luz refletida pela fachada vizinha oposta, no caso, a Norte. Já para a fachada Leste, notou-se que os maiores valores de iluminância foram encontrados no período da tarde devido à luz refletida pela fachada Oeste. É interessante destacar a relação entre as alturas dos cânions para a disponibilidade de luz natural: quanto maiores os ângulos verticais de obstrução (AVO), ou seja, quanto menor a relação largura/altura, menor será o valor encontrado de iluminância no ambiente interno. Vale ressaltar que este estudo foi desenvolvido apenas para simulação de um dia do ano e apenas para duas orientações.

Assim como Araújo e Cabús (2007), Pereira, Pereira e Claro (2008) também consideraram que a reflexão do entorno é uma parcela significativa para o cálculo de iluminação natural. Eles afirmaram que desconsiderar as reflexões do entorno para a avaliação da disponibilidade de luz natural é um dos motivos que provocam maiores distorções em relação a realidade. De acordo com o estudo, os resultados demonstraram uma contribuição média das reflexões das edificações vizinhas de 26%. Este valor está relacionado à diferença entre as iluminâncias encontradas na superfície do modelo de abóbada inteira (plano horizontal) e o de meia abóbada com o entorno (plano vertical).

Leder, Pereira e Claro (2008) desenvolveram um parâmetro capaz de contribuir na elaboração de legislações urbanísticas para melhor garantir iluminação natural em áreas urbanas, denominado de Janela de Céu Preferível (JCP). Esse parâmetro, a partir de estudos que relacionam a contribuição de luz natural devida de cada parcela da abóbada celeste com o cosseno do ângulo de incidência e seu fator de redução da iluminação juntamente com as frequências de visibilidade do céu, define a melhor área da abóbada celeste visível no ambiente interno para aumentar o potencial da iluminância a partir da luz natural. Dessa forma, é possível otimizar a iluminação natural utilizando estas áreas com maiores potenciais da iluminância.

Scalco, Pereira e Rigatti (2010), desenvolveram uma metodologia para avaliar os impactos na iluminação natural e insolação por meio da construção de novos edifícios para estudos de impacto de vizinhança. A metodologia desenvolvida para analisar a iluminação natural se baseou no parâmetro de fator de luz diurna vertical (FLDV) complementado pelo parâmetro de janela de céu preferível (JCP). Os autores determinaram a área de abrangência

dos impactos em relação ao objeto de impacto (OI) considerando a obstrução do céu e a topografia. A obstrução do céu foi calculada a partir do menor ângulo vertical da JCP no valor de 15° por considerarem que abaixo desta altura o entorno natural ou construído já está obstruído. Nos modelos propostos foi possível verificar a contribuição do parâmetro JCP integrado ao FLDV, sendo fundamental a utilização da ferramenta de simulação computacional Apolux.

Acerca da influência dos parâmetros relacionados ao planejamento urbano, Santos, Auer e Souza (2017) avaliaram a iluminação natural em um cômodo localizado na cidade de Cuiabá e na pior situação: piso térreo de uma edificação em um contexto urbano denso, do tipo cânion urbano. Foram realizadas simulações computacionais paramétricas através dos softwares *Grasshopper for Rhinoceros* e *Radiance/Daysim* com interface nos *plug-in Honeybee* e *Ladybug*¹. O arquivo climático adotado foi o SWERA. O ambiente possuía 3,00 metros de largura, 2,70 metros de altura e a profundidade foi variada de 6, 7, 8 e 9 metros. As outras variáveis analisadas foram as quatro orientações solares, altura das obstruções frontais (12, 24, 48 e 72 metros) e a largura da via (5, 10, 15 e 20 metros). O valor utilizado para a refletância das fachadas das obstruções foi de 40% e para o piso externo de 20%. As refletâncias internas do teto, parede e piso foram de, respectivamente, 70%, 50% e 20%. Foram encontrados os resultados para a métrica de sDA (Spatial Daylight Autonomy), sendo uma iluminância de 300 lux para 50% das horas ocupadas no intervalo de 8h às 18h em 75% da área do ambiente. Das quatro variáveis, a profundidade foi a que apresentou a maior correlação com a métrica sDA, seguida da largura da via, da altura das obstruções e, por último, das orientações solares. Os autores também observaram que a fachada orientada para o Norte possuía menores valores de sDA devido aos edifícios bloqueadores da luz solar direta, entretanto esses mesmos edifícios serviram de refletores da luz advinda de outras orientações. Eles reforçam a importância da refletância das fachadas na contribuição para a elevação dos valores de iluminância interna.

Além da influência das edificações, o entorno também apresenta obstruções naturais, como a topografia. Em cidades que apresentam declividades elevadas, estas regiões são ocupadas sem a devida diferenciação e adequação dos parâmetros urbanísticos, resultando em edificações que prejudicam a disponibilidade de luz natural do entorno ou a si mesma.

De acordo com a Lei nº 10.257/2001 que estabelece o Estatuto da Cidade, é proibido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, salvo se atendidas

¹ Santos, Auer e Souza (2017) utilizou-se de *softwares* de simulações computacionais paramétricas (*Grasshopper for Rhinoceros*, *Honeybee* e *Ladybug*). Entretanto, as simulações computacionais deste trabalho foram realizadas através do *software Daysim* por apresentar resultados satisfatórios com o objetivo da pesquisa.

as exigências técnicas específicas das autoridades competentes (BRASIL, 2001). Como a cidade de Belo Horizonte possui terrenos com altas declividades, a Lei nº 7166/1996 que estabelece a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo permite o loteamento de áreas com declividade superiores a 30% e até 47% desde que apresentado laudo geotécnico de um responsável técnico atestando a estabilidade do terreno (PMBH, 1996).

Na literatura técnica, não foram encontrados estudos que correlacionassem a disponibilidade de luz natural e a ocupação em terrenos com altas declividades.

2.3 Métodos de cálculo da luz natural

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram utilizados dois métodos de cálculo da iluminação natural. O primeiro método é o estabelecido pela NBR 15.215, norma referenciada pela NBR 15.575-1. Já o segundo método é o de simulação computacional, de acordo com a metodologia estabelecida pelo RTQ-R.

Nos subitens abaixo, seguem as descrições dos dois métodos.

2.3.1 Método de cálculo de iluminação natural através da NBR 15.215

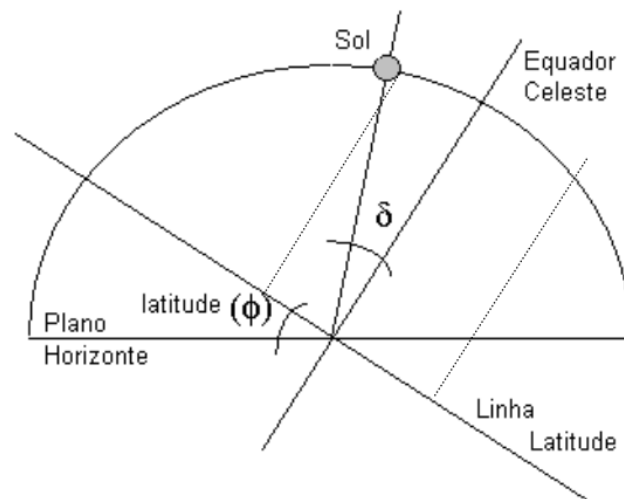
A norma brasileira que trata sobre o método de cálculo de iluminação natural é a NBR 15.215. Ela foi publicada em março de 2005 e é composta de 4 partes, sendo: Parte 1 – Conceitos básicos e definições; Parte 2 – Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural; Parte 3 – Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos e Parte 4 – Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de Medição (ABNT, 2005a; 2005b; 2005c; 2005d).

O método proposto pela norma é do tipo estático, no qual se calcula a iluminância interna para determinado dia e horário. Para o método de avaliação conforme o critério de simulação pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), os cálculos devem seguir o estabelecido pela NBR 15.215-3 (ABNT, 2005c).

Entretanto, antes de verificar o cálculo proposto pela parte 3, é necessário que seja feito o cálculo da estimativa da disponibilidade de luz natural proposto pela NBR 15.215-2 (ABNT, 2005b). Para obter a iluminância externa, são feitos, primeiramente, cálculos através de equações fornecidas para encontrar os valores dos ângulos de declinação, altura e azimute solares.

A declinação solar (δ_s) “é o ângulo entre o raio do sol, do ponto de vista do observador e com o vértice neste, e o equador celeste, ou seja, a inclinação do eixo da terra em relação a elíptica da trajetória, compreendida entre os limites: $-23,45^\circ \leq \delta_s \leq +23,45^\circ$ ” (ABNT, 2005b, p.4) (FIGURA 03).

Figura 03 – Desenho esquemático apresentando o ângulo de declinação solar (δ_s)



Fonte: ABNT, 2005b.

A declinação solar (δ_s) é dada pela seguinte equação:

$$\delta_s = 23,45^\circ \times \text{sen}(29,7^\circ * M + 0,98^\circ * D - 109^\circ) \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

δ_s = declinação solar, em graus;

M = número do mês do ano, sendo igual a 1 para janeiro e 12 para dezembro; e

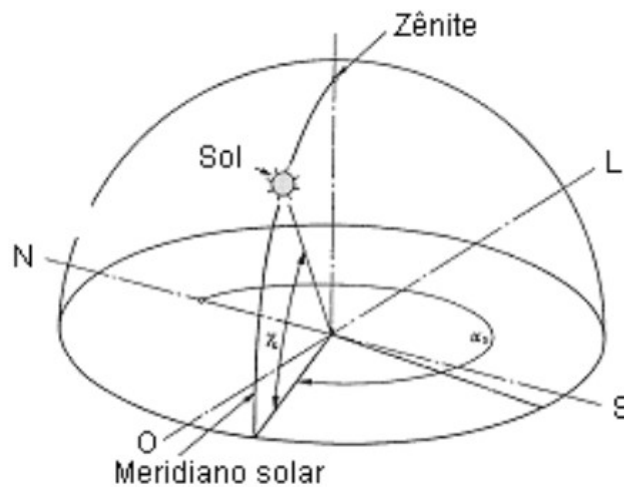
D = número do dia do mês, variando de 1 a 30 ou de 1 a 31, exceto para o mês de fevereiro.

Fonte: ABNT, 2005b.

A altura solar (γ_s) “é o ângulo entre o raio do sol e o horizonte, do ponto de vista do observador. É obtido em função da hora do dia, da época do ano e da latitude e longitude geográfica do local considerado” (ABNT, 2005b, p. 4). Já o azimute solar (α_s) “é o ângulo entre o norte geográfico e o plano vertical que passa pelo centro do sol, do ponto de vista do

observador e com vértice neste, estando compreendido entre $0^\circ \leq \alpha_s \leq 360^\circ$ medido a partir do Norte no sentido horário” (ABNT, 2005b, p.4). Os ângulos estão ilustrados na Figura 04.

Figura 04 – Desenho esquemático apresentando o ângulo de altura (γ_s) e azimute solar (α_s)



Fonte: ABNT, 2005b.

A altura solar (γ_s) é dada pela seguinte equação:

$$\gamma_s = \arcsen [\sen\phi * \sen\delta_s - \cos\phi * \cos\delta_s * \cos(15^\circ * h_s)] \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

γ_s = altura solar, em graus;

ϕ = latitude do local em graus (negativo caso localizado ao sul do equador);

h_s = hora solar verdadeira dada pela fórmula 3.

Fonte: ABNT, 2005b.

A hora solar é dada pela equação 03:

$$h_s = h + (\lambda_p - \lambda)/15 + x_h - c \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde:

h_s = hora solar;

h = hora local marcada no relógio;

λ = longitude do local, em graus (negativo² caso localizado a oeste de Greenwich);

λ_p = longitude do meridiano padrão do local, em graus e múltiplo de 15;

x_h = expressão horária dada pela fórmula 4;

c = correção do horário de verão, sendo 1 quando em vigor e 0 para horário normal.

Fonte: ABNT, 2005b.

² A norma informa que é positivo, entretanto a literatura técnica indica o valor negativo.

A expressão horária é dada pela equação 04:

$$x_h = 0,170 * \text{sen} [1,93 * J - 154,4] - 0,129 * \text{sen} [1,01 * J - 8,08] \quad [\text{Eq. 04}]$$

Onde:

J = dia juliano, dado por $J = i + D$, onde i é o valor numérico mensal e D é o dia do mês.

Fonte: ABNT, 2005b.

O azimute solar (α_s) é dado pela seguinte equação:

$$\text{Para } h_s \leq 12\text{h}00\text{min}, \alpha_s = \arccos \left[\frac{(\cos\phi * \text{sen}\delta_s + \text{sen}\phi * \cos\delta_s * \cos 15h_s)}{\cos\gamma_s} \right] \quad [\text{Eq. 05}]$$

$$\text{Para } h_s > 12\text{h}00\text{min}, \alpha_s (12\text{h}00\text{min} - 24\text{h}00\text{min}) = 360^\circ - \alpha_s \quad [\text{Eq. 06}]$$

Fonte: ABNT, 2005b.

A partir do cálculo da declinação e da altura solares, é possível calcular a iluminância externa horizontal (Ech). A norma NBR 15.215-2 apresenta cálculos para três tipos de céu: céu claro, céu encoberto e céu parcialmente encoberto. Como a NBR 15.575-1 determina que os cálculos devem ser feitos a partir de um céu parcialmente encoberto, segue a equação 07 para o cálculo da iluminância externa horizontal para céu parcialmente encoberto ou intermediário (Echi):

$$E_{chi} = 0,30 + 45 * \text{sen}\gamma_s \quad [\text{Eq. 07}]$$

Fonte: ABNT, 2005b.

A partir da definição do valor da iluminância externa em um plano horizontal para um céu parcialmente encoberto para os dois horários e os dois dias estabelecidos pela NBR 15.575-1, parte-se para a Parte 3 da NBR 15.215 – Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos (ABNT, 2005c).

Para entender o método de cálculo proposto pela norma é necessário observar as três formas que a luz natural possui para atingir o ambiente interno, sendo: Componente do Céu (CC), Componente Refletida Externa (CRE) e Componente Refletida Interna (CRI).

A Componente do Céu (CC) é a “luz que alcança um ponto do ambiente interno proveniente diretamente do céu”. Já a Componente Refletida Externa (CRE) é a “luz que alcança um ponto do ambiente interno após ter refletido em uma superfície externa”. E, finalmente, a Componente Refletida Interna (CRI) é a “luz que alcança um ponto do ambiente interno somente após ter sofrido uma ou mais reflexões nas superfícies internas” (ABNT, 2005c, p.4).

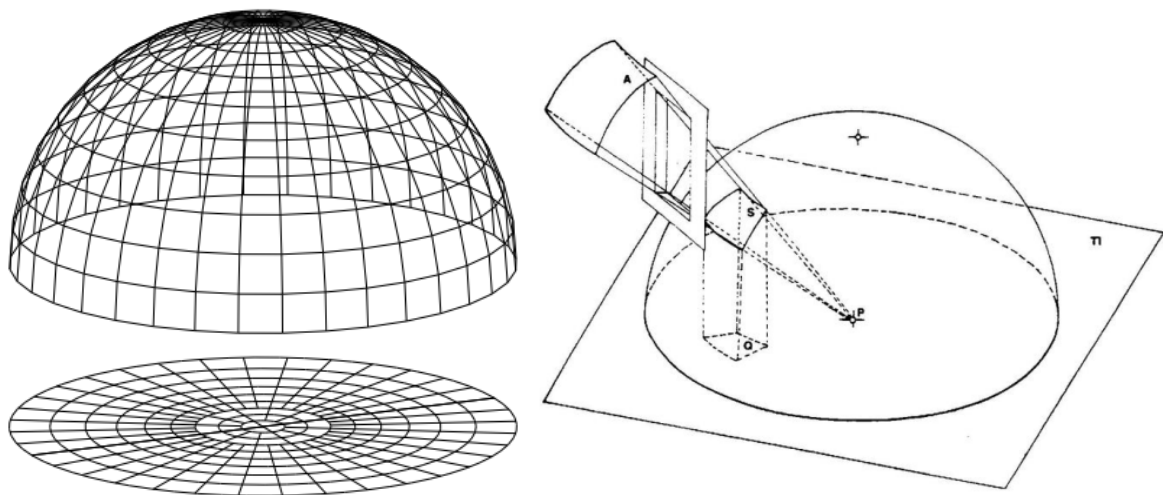
O somatório das três componentes com as devidas correções das reduções pela transmissividade do vidro (K_t), fator de manutenção (K_m) e fator de caixilho (K_c) indica a Contribuição de Iluminação Natural (CIN), dada pela equação 08:

$$CIN = (CC + CRE + CRI) * K_t * K_m * K_c \quad [Eq. 08]$$

Fonte: ABNT, 2005c.

Para calcular os valores das componentes, primeiramente, deve-se elaborar a projeção da abertura, teto e paredes do cômodo a partir do ponto P (centro do ambiente) na hemisfera de raio unitário (FIGURA 05).

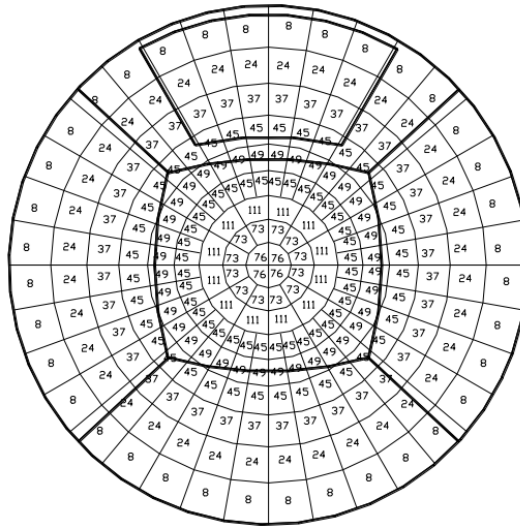
Figura 05 – Hemisfera de raio unitário e a projeção da abertura, teto e paredes a partir do ponto P



Fonte: ABNT, 2005c.

Através da projeção das superfícies internas do ambiente sobreposta ao diagrama de fatores de formas, calcula-se o valor percentual de cada Fator de Forma (FF) para cada item do cômodo: paredes, teto e abertura (FIGURA 06).

Figura 06 – Exemplo de projeção das superfícies internas sobre o diagrama de fatores de forma



Fonte: ABNT, 2005c.

Para o cálculo da CRI, segue equação 09 abaixo:

$$CRI = \{\Sigma(FFsi * \rho mi)\} * (CC + CRE) * Kp \quad [Eq. 09]$$

Onde:

FFsi = fator de forma de cada superfície interna;

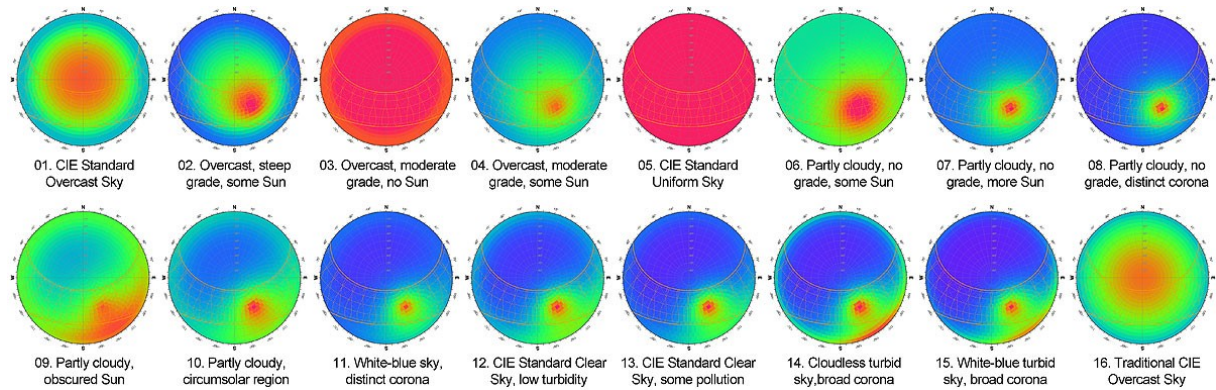
ρmi = refletância média de cada superfície interna;

Kp = fator empírico de correção em função da posição do ponto, sendo: 0,9 para próximo da abertura; 1,15 para posição intermediária e 1,6 para ponto afastado da abertura.

Fonte: ABNT, 2005c.

Para o cálculo das CC e CRE é necessário utilizar o Diagrama de Contribuição Relativa (DCRL). Este diagrama representa “a projeção estereográfica da abóbada celeste, com uma subdivisão em 244 zonas. Cada zona apresenta numericamente sua contribuição relativa para a iluminância no plano horizontal desobstruído em função da altitude do sol” (ABNT, 2005c, p. 4). A norma disponibiliza os DCRLs com altura solar de 15°, 30°, 45°, 60°, 75° e 90° para céu claro e o DCRL para o céu encoberto. Não há diagrama para céu parcialmente encoberto. Portanto foi utilizado o DCRL para céu claro uma vez que se pode considerar que a distribuição de luz no céu claro poderia, matematicamente, ser considerada mais semelhante àquela do céu parcialmente encoberto representado por um maior turvamento. É possível verificar esta semelhança através da Figura 07 que apresenta os 16 tipos de céu padrões conforme a *Commission Internationale de l’Eclairage* (CIE – Comissão Internacional de Iluminação).

Figura 07 – Exemplos dos 16 tipos de céu padrões da CIE



Fonte: Site < <http://andrewmarsh.com/software/cie-sky-web/> >. Acesso em fev/2019.

Conforme a Figura 07, percebe-se que a distribuição de luz nos modelos de céu parcialmente encoberto (números 06 a 10) se assemelham mais com a distribuição nos modelos de céu claro (números 11 a 15) do que com a distribuição nos modelos de céu encoberto (números 01 a 05 e 16).

Com a altura solar calculada acima, deve-se escolher o DCRL mais próximo do valor encontrado e para o azimute solar, ele é distanciado do Norte o valor do ângulo encontrado em sentido anti-horário.

A partir da projeção das superfícies internas elaborada para o cálculo dos fatores de forma, são elaboradas as máscaras de obstrução do entorno ou de visão de céu vistas a partir do ponto interno do ambiente. Estes dois itens serão utilizados para o cálculo da CRE e da CC, respectivamente.

Com as máscaras elaboradas e com a altura e azimute solares definidos conforme cálculos demonstrados acima, deve-se sobrepor o DCRL respectivo sobre as mesmas e efetuar o somatório dos valores das zonas. Lembrando que para CRE, os valores das zonas são os da fachada oposta, já que é dela que a luz é refletida. Após o somatório, divide-se o valor por 100 e encontra-se o valor percentual de contribuição para cada componente. No caso da CRE, multiplica-se, ainda, pelo valor da refletância da obstrução externa.

Com os três valores das componentes (CC, CRE e CRI), encontra-se o valor da CIN que deve ser multiplicado pelo fator de perda da abertura. Este valor multiplicado pela iluminância externa encontrado anteriormente para determinado dia e hora (Ecih), resulta no valor da iluminância do ponto interno ao ambiente.

2.3.2 Método de cálculo de iluminação natural através de simulação computacional – *Software Daysim*

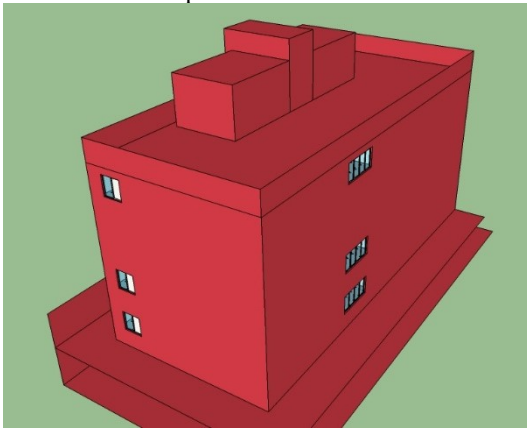
O método de simulação computacional proposto pelo RTQ-R é o da análise de modelo dinâmico, ou seja, que gera resultados para avaliação da luz natural durante todo o ano por utilizar como dado de entrada um arquivo climático com base anual.

A métrica que o RTQ-R propõe para avaliar o acesso a luz natural em ambientes internos é a *Daylight Autonomy* (DA), medida adimensional definida por um percentual de horas anuais de atividade em que a iluminação de um dado ambiente é atendida apenas pela luz natural (WDBG, 2016). A métrica DA é avaliada através da aplicação de modelos em *software* de avaliação dinâmica do comportamento da admissão de luz natural. Nessa avaliação são consideradas variáveis internas pertencentes ao ambiente, externas pertencentes ao entorno considerado, e, adicionalmente, inclui os fatores relacionados à localização geográfica do edifício analisado e relacionados à atividade do ambiente.

O *software Daysim 3.1*. foi desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC) e o *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* da Alemanha para analisar diversas métricas de avaliação de iluminação natural admitida em edificações a partir de análises dinâmicas da admissão da luz natural, dentre elas, a métrica DA (REINHART, 2006).

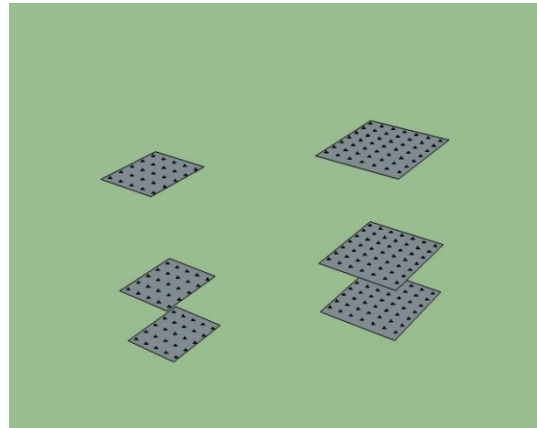
O programa importa modelos tridimensionais elaborados por *software* como *Ecotect* e *SketchUp*. Antes da importação, cada superfície deve ser definida com um tipo de material com sua respectiva refletância (FIGURA 08). Também, utilizando-se o *plug-in su2d* para *SketchUp*, é elaborada a malha de pontos onde serão feitos os cálculos do *Daysim* bem como a sua exportação, gerando um arquivo com extensão *.hea* (FIGURA 09). Esta malha de pontos é criada simultaneamente para todas as superfícies que se desejar a realização da simulação computacional, o que pode provocar a distribuição de pontos de forma diferente para cada ambiente. Após sua importação no *software Daysim*, são feitas as configurações das refletâncias de cada superfície do modelo e inserido o arquivo climático da cidade em estudo com os valores de latitude, longitude e radiação solar.

Figura 08 – Exemplo de modelo com configuração das superfícies com um tipo de material e sua respectiva refletância



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 09 – Exemplo de malha de pontos para 6 ambientes



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Antes da simulação, deve ser escolhido o tipo de cena, sendo o *default* do programa a *Scene Complexity 1*, para ambientes sem proteções solares. Já para ambientes que possuem proteções solares, deverá ser escolhido o tipo de cena *Scene Complexity 2*. As diferenças entre os dois tipos de cenas encontram-se nos seguintes itens: *ambient bounces*, *ambient divisions* e *ambient super-samples*. O item *ambient bounces* é o número de vezes que o raio reflete internamente, sendo 5 vezes para ambientes sem proteções solares e 7 para com proteções. Já *ambient divisions* é a quantidade de raios que a superfície emite, sendo maior para ambientes mais complexos, como é o caso de ambientes com proteções solares que possuem valores de 1.500 enquanto os ambientes sem proteções solares possuem valores de 1.000. Para o item *ambient super-samples*, os valores significam o número de raios extras que são enviados de acordo com a complexidade, sendo 100 para *Scenes Complexity 2* e 20 para *Scenes Complexity 1* (REINHART, 2010). Portanto, as simulações para *Scenes Complexity 2* irão apresentar um tempo maior de renderização do que as *Scenes Complexity 1*. Entretanto, caso o ambiente não apresente proteções solares, é desnecessário este tempo maior de render.

Com o tipo de cena escolhido, a simulação é realizada gerando os resultados desejados. Para a análise dos resultados são inseridos um horário fixo de análise com ou sem intervalo para almoço e o nível mínimo de iluminância. Os dados de saída podem ser visualizados pelo *SketchUp* em forma de gráficos ou arquivos de texto que podem ser abertos em Excel.

2.4 Arquivos climáticos

A avaliação do desempenho de uma edificação frente a questões ambientais está diretamente ligada às variáveis climáticas externas. A simulação computacional, tanto de desempenho térmico quanto de iluminação natural, depende de dados climáticos. Atualmente, no Brasil, são encontrados diferentes tipos de arquivos climáticos que podem ser utilizados em softwares de simulação computacional, dentre eles, tem-se: *Test Reference Year* (TRY), *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), *International Weather for Energy Calculations* (IWEC) e INMET (extensão .epw) (SCHELLER *et al*, 2015).

Os arquivos TRY apresentam dados médios sem extremos de temperatura para um ano e um local específico, disponibilizados para 14 cidades brasileiras. Os arquivos SWERA possuem formato TMY (*Test Meteorological Year*) e, além de um número maior de cidades que possuem estes arquivos (20 cidades brasileiras) em comparação com TRY, seus dados não são referentes a apenas um ano específico, e sim a diversos anos de referência. Os dados do INMET possuem extensão epw (*Energy Plus Weather*) e estão disponíveis para 411 municípios brasileiros. Há arquivos do tipo SWERA e INMET para Belo Horizonte.

Fonseca, Fernandes e Pereira (2017) selecionaram os arquivos SWERA para a confecção de proposta de zoneamento bioclimático referente à iluminação natural para o território brasileiro. De acordo com os autores, a escolha baseou-se na adequabilidade dos dados, visto que os arquivos IWEC são disponibilizados para poucas cidades do Brasil; os TRY são disponibilizados para 14 cidades, mas com dados com maior desvio se comparado ao SWERA para radiação solar; e os arquivos INMET, que, por falta de dados disponíveis, adotam valores constantes para nebulosidade, opacidade do céu, visibilidade e altura de céu, importantes para descrever a disponibilidade de luz natural local.

2.5 NBR 15.575-1 – Edificações habitacionais – Desempenho

A normativa brasileira NBR 15.575 – *Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais* foi sancionada em 2008, mas passou por revisões até ter sua versão final publicada em 2013. Ela é composta por seis partes, sendo a Parte 1: Requisitos gerais a

que trata dos requisitos para desempenho mínimo da iluminação natural e artificial e seu Anexo E o que trata dos requisitos para desempenho intermediário e superior (ABNT, 2013a).

Para a iluminação natural, a norma estabelece nível mínimo equivalente ou acima de 60 lux no meio do ambiente para sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço. Para os ambientes banheiros, corredores, escadas e garagens, não é exigido desempenho mínimo de luz natural. No Anexo E da norma há determinações de iluminâncias para os níveis de desempenho intermediário e superior conforme indicado na Tabela 02. A norma determina que obstruções externas devem ser consideradas para os cálculos bem como as orientações, o dimensionamento das aberturas, os tipos de esquadrias e vidro e as características do ambiente interno (ABNT, 2013a).

Tabela 02 – Níveis de iluminação natural de acordo com a NBR 15.575-1

Dependência	Mínimo	Intermediário	Superior
Sala de estar; Dormitório; Copa/cozinha; Área de serviço.	≥60 lux	≥90 lux	≥120 lux
Banheiro; Corredor ou escada interna à unidade; Corredor de uso comum (prédios); Escadaria de uso comum (prédios); Garagens/estacionamentos.	Não exigido	≥30 lux	≥45 lux

Fonte: ABNT, 2013a.

A norma exige que o valor de iluminância interna mínima seja atendido nos dias 23 de abril e 23 de outubro para dois horários, 9:30h para o período da manhã e 15:30h para o período da tarde. Os procedimentos de análise do desempenho por *simulação*³ devem seguir o procedimento apresentado na NBR 15.215-3 – Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos (ABNT, 2005c). Para os cálculos, devem ser considerados: latitude e longitude do local; céu com nebulosidade média, ou seja, índice de nuvens de 50%; iluminação artificial desligada bem como a ausência de obstruções internas, como cortinas e varais com roupas; o ponto central do ambiente a 75cm de altura em relação ao piso. Devem ser avaliadas todas as orientações dos ambientes, as suas diferentes posições nos andares dos edifícios residenciais e as obstruções externas como taludes, muros e edificações vizinhas.

³ A NBR 15.575-1 se refere ao método de cálculo manual apresentado na NBR 15.215-3 (2005c) como simulação, no entanto, cabe ressaltar que não se trata de simulação computacional e sim de um método prescritivo.

2.6 RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de edificações residenciais

Em 2012, após revisões da versão publicada em 2010, foi aprovada nova versão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O RTQ-R é um instrumento técnico que apresenta o método, os requisitos e as ferramentas de análise para a avaliação do nível de eficiência energética de edificações residenciais e foi desenvolvido para a aplicação em todo território nacional (BRASIL, 2012).

Na avaliação de eficiência energética, a iluminação natural participa dos pré-requisitos relativos aos ambientes e também como bonificação para a pontuação. Para atenderem ao regulamento no pré-requisito de iluminação natural, os ambientes de permanência prolongada devem possuir, no mínimo, uma abertura para o exterior e esta deve ser dimensionada de acordo a 12,5% (1/8) da área útil do piso correspondente, sem considerar o caixilho das esquadrias. O não atendimento do pré-requisito implica em uma classificação máxima C para os equivalentes numéricos de verão, inverno e condicionamento artificial (BRASIL, 2012). Vale ressaltar que o Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009) estabelece um vão de abertura equivalente a 1/8 ou a 1/6 a área do piso. Ao se considerar o caixilho das esquadrias, haverá redução da área de iluminação natural. De acordo com tabela de descontos das esquadrias apresentada no Anexo II do RTQ-R (BRASIL, 2012), uma janela com duas folhas de correr envidraçadas apresenta uma redução de 20% da área de iluminação natural. Considerando uma janela com duas folhas de correr de veneziana, a redução é de 55%.

A iluminação natural pode também ser pontuada no item de bonificações em até 0,30 pontos em 6 pontos máximos do programa, o equivalente a até 5% da pontuação final do sistema. A avaliação do requisito de iluminação natural do RTQ-R pode ser desenvolvida por método prescritivo ou simulação computacional. O método prescritivo estabelece dois quesitos. O primeiro é que a profundidade do ambiente não deve ultrapassar 2,4 vezes a altura da verga da abertura lateral em 50% mais um o número de ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia. O segundo quesito é que a refletância do teto deve ser superior a 60% em todos os ambientes listados no quesito anterior (BRASIL, 2012).

Caso não se consiga a bonificação através do método prescritivo, pode-se obtê-la através de comprovação do nível mínimo de iluminação natural através do método de simulação computacional. Para o método de simulação, deve-se utilizar o arquivo climático com base

anual (8.760 horas) para a cidade em estudo. Os requisitos mínimos de atendimento ao sistema de avaliação da iluminação natural do RTQ-R incluem a criação de uma malha mínima de 25 pontos na altura da superfície de trabalho, o entorno considerado para as obstruções da iluminação natural e a comprovação do atendimento da luz natural de 60 lux de iluminância em 70% da área do ambiente durante 70% das horas/ano com luz natural para a maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia (50% mais um) sem proteção solar. Para os ambientes com proteções solares, a área do ambiente reduz para 50% (BRASIL, 2012).

Guedes (2012) abordou a análise da admissão de luz natural para três tipologias de edificações residenciais de padrões construtivos distintos. Concluiu que os parâmetros de área de aberturas equivalentes à área do piso, estabelecidos pelo Código de Edificações de Belo Horizonte, atendem facilmente aos requisitos estabelecidos pelo RTQ-R para a obtenção da pontuação máxima considerando a bonificação possível pelo uso adequado de iluminação natural. Entretanto, a autora realizou seu estudo sem considerar as edificações do entorno ou a influência da topografia.

2.7 Legislações urbanísticas de Belo Horizonte

As legislações urbanísticas municipais brasileiras foram desenvolvidas para garantir qualidade de vida aos usuários das edificações e do ambiente urbano (FERNANDES; ROMERO, 2010). Elas surgiram a partir dos códigos sanitários do final do século XIX e, de acordo com Buson (1998), os códigos de edificações brasileiros são cópias um do outro em um círculo vicioso, sem fazer adequação dos índices de acordo com o clima local, dentre outros fatores urbanos específicos.

Fernandes e Romero (2010) destacam que vários autores realizaram estudos de forma a contribuir para melhorias nos índices dos códigos de edificações, entretanto, todos eles destacaram a dificuldade em transpor a barreira entre a academia e a prática profissional. Há urgência na revisão destes códigos, pois eles não têm garantido a qualidade que desejam. E a revisão deve passar por uma visão sistêmica, pois um parâmetro exerce função sobre o outro. Diante disso, a presente pesquisa apresentará a atual legislação do município de Belo Horizonte, que foi desenvolvida dentro deste cenário precário do processo de códigos de edificações.

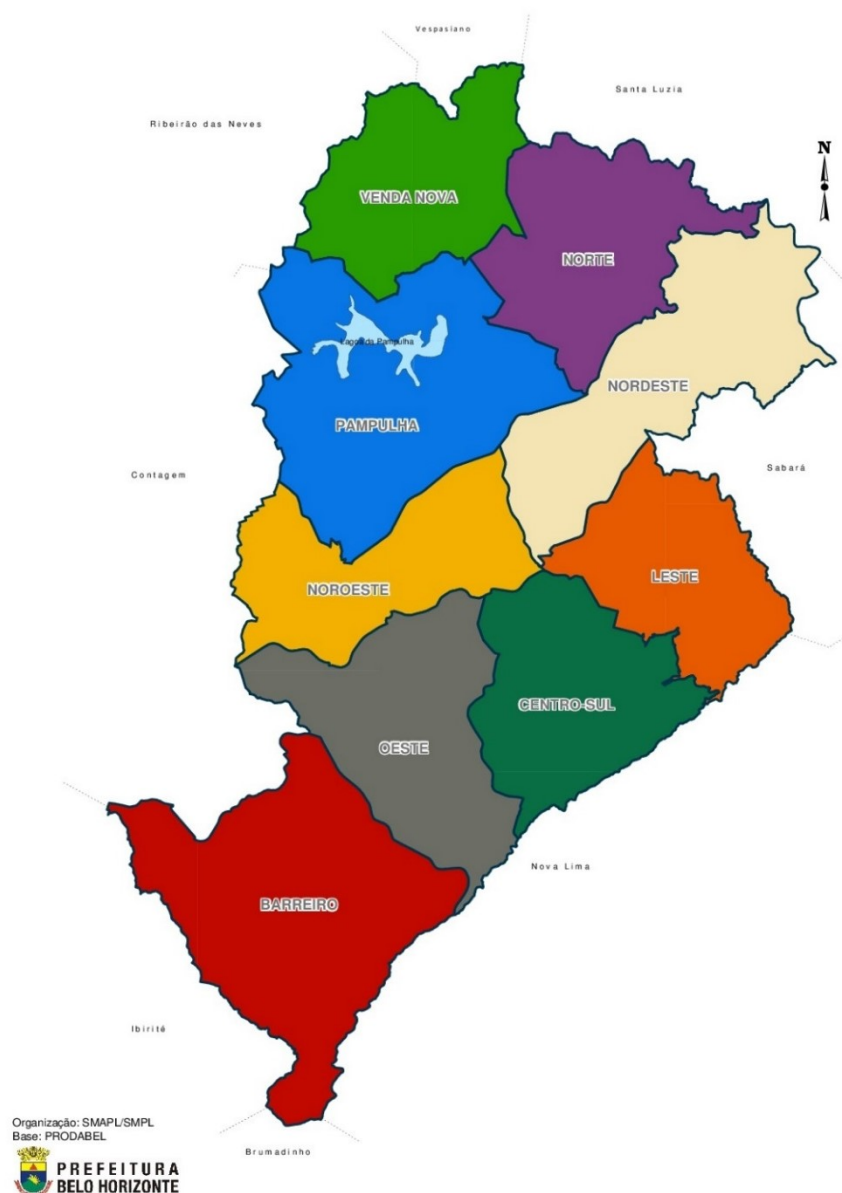
Belo Horizonte é a capital do estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil. A cidade possui latitude 19° 55' S e longitude 43° 56' W. Em seu tecido urbano é possível encontrar declividades acima de 47%, inclusive em regiões com ocupações e loteamentos aprovados (ANEXO A).

O município é dividido em nove regiões administrativas: Venda Nova, Norte, Nordeste, Pampulha, Leste, Noroeste, Centro-Sul, Oeste e Barreiro (FIGURA 10). As regiões administrativas são subdivididas em bairros. Atualmente, Belo Horizonte possui 501 bairros distribuídos pelas nove regiões administrativas (PMBH, 2011b).

Figura 10 – Mapa de regiões administrativas de Belo Horizonte

Regiões Administrativas Belo Horizonte - 2011

(De acordo com a nova delimitação dada pela Lei 10.231/11)



Fonte: PMBH, 2011b.

2.7.1 Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo de Belo Horizonte

A regulação urbana municipal de Belo Horizonte tem como instrumento institucional a Lei 7.166/1996 - Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo, em vigência, que delimita a área urbana em zonas e estabelece parâmetros urbanísticos (PMBH, 1996). As zonas são classificadas de acordo com “os potenciais de adensamento e as demandas por preservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística” (PMBH, 1996, art. 5º). São elas: Zona de Preservação Ambiental (ZPAM), Zona de Proteção (ZP), Zona de Adensamento Restrito (ZAR), Zona Adensada (ZA), Zona de Adensamento Preferencial (ZAP), Zona Central (ZC), Zona Hipercentral (ZHIP), Zona de Especial Interesse Social (ZEIS) e Zona de Grandes Equipamentos (ZE).

Para cada zona, são definidos parâmetros urbanísticos que regulam a ocupação do solo. Dentre estes parâmetros, os que afetam, de alguma forma, a volumetria do edifício são: o coeficiente de aproveitamento (CA), a quota mínima de terreno por unidade habitacional (QT), a taxa de ocupação (TO), a altura máxima na divisa, os afastamentos mínimos frontais, laterais e de fundos. O CA está relacionado com o potencial construtivo do terreno, estabelecendo qual a maior área construída que o edifício pode alcançar. Portanto, quanto maior o CA, maior a área construída permitida. Na legislação encontram-se dois tipos de CA: o CA básico (CA_b) e o CA máximo (CA_m), sendo o primeiro o coeficiente de direito do proprietário e o segundo o coeficiente alcançado através da aplicação da Outorga Onerosa do Direito de Construir (ODC), mediante pagamento, permitindo aumentar o limite do CA_b em até 20%. A QT estabelece o número máximo de unidades habitacionais que o empreendimento deve possuir. Desta forma, este parâmetro contribui para restringir ou permitir o adensamento demográfico. A TO é o valor percentual da área do terreno que o edifício pode ocupar de forma projetada, deixando, quando for o caso, áreas livres para permeabilização de água pluvial e áreas para ventilação e iluminação naturais. Os afastamentos mínimos também cumprem a mesma função do item anterior que é a de permeabilidade entre edifícios para atender demandas de conforto ambiental. Por último, a altura máxima na divisa é o parâmetro que permite construir até a divisa com o lote vizinho, sem afastamentos laterais e/ou de fundos, até uma altura determinada em relação ao terreno natural (PMBH, 1996). A Tabela 03 apresenta os parâmetros urbanísticos de CA, QT e TO para cada zona de Belo Horizonte, exceto para ZE pois o uso residencial é proibido.

Tabela 03 – Parâmetros urbanísticos das zonas de Belo Horizonte estabelecidos pela Lei 7.166/1996

ZONAS	CAb	CAm	QT (m ² /un.)	TO
ZPAM	0,05 ⁴	0,05	⁵	2%
ZP-1	0,3 ⁶	0,3	Área do lote	20%
ZP-2	1,0	1,0	Área do lote	50%
ZP-3	1,5	1,8	200	50%
ZAR-1	1,0	1,3	180	100%
ZAR-2	1,0	1,3	45	100%
ZA	1,4 ⁷	1,8	40 ⁸	100%
ZAP	1,5	2,0	40	100%
ZCBH	2,7	3,4	20	100%
ZHIP	2,7	3,4	8	100%
ZCBA / ZCVN	1,8	2,3	25	100%

Fonte: adaptada pela autora a partir de PMBH, 1996.

2.7.2 Código de Edificações de Belo Horizonte

A Lei 9.725/2009 institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e estabelece os parâmetros mínimos de área de vãos para iluminação e ventilação naturais bem como a relação entre profundidade do ambiente com a altura do seu pé-direito, além das dimensões mínimas dos ambientes, dentre outros. Esta lei classifica os compartimentos em permanência prolongada (ambientes que possuem função de repouso, estar, lazer, dentre outros) e em permanência transitória (ambientes que possuem função de higiene, circulação, guarda de veículos e materiais, dentre outros). A Tabela 04 apresenta os parâmetros relativos aos compartimentos das unidades privativas das edificações residenciais multifamiliares.

⁴ Para imóvel de propriedade particular adota-se o CA da ZP-1.

⁵ Para imóvel de propriedade particular adota-se o QT da ZP-1.

⁶ Na ZP-1 o terreno com área inferior a 2.500 m², formado por lotes regularmente aprovados antes de 27/12/1996, fica submetido ao CAb previsto para ZP-2.

⁷ Adotam-se valores para CAb de 1,8 e CAm de 2,3 para edificações exclusivamente residenciais em terrenos com testada igual ou superior a 20m e área igual ou superior a 800m² com QT de 70.

⁸ Adota-se o valor de 70 para QT para edificações exclusivamente residenciais em terrenos com testada igual ou superior a 20m e área igual ou superior a 800m² quando utilizado o CAb de 1,8.

Tabela 04 – Parâmetros relativos aos compartimentos das unidades privativas das edificações de uso residencial multifamiliares estabelecidos pelo Código de Edificações de Belo Horizonte

Compartimentos	Área mínima (m²)	Dimensão mínima (m)	Área mínima do vão de iluminação e ventilação em relação à área do piso do compartimento	Pé-direito mínimo (m)
Estar	12,00	2,40	1/6 ou 1/5	2,60
Dormitórios	8,00	2,00	1/6 ou 1/5	2,60
Manuseio de alimentos	4,00	1,80	1/8 ou 1/6	2,30
Área de Serviço⁹	-	0,90	-	2,30
Instalação sanitária principal	2,40 ¹⁰	1,20	1/8 ou 1/6	2,30
Instalação sanitária secundária	1,50	1,00	1/8	2,30
Circulação/rampa	-	0,90	-	2,30
Escada	-	0,80	-	2,30

Fonte: adaptada pela autora a partir de PMBH, 2009.

Segundo esta tabela, verifica-se que em edifícios residenciais, os ambientes de permanência prolongada devem possuir aberturas voltadas para ambientes externos com uma equivalência mínima de 1/6 da área do piso. Vale ressaltar que a área da abertura não corresponde à área útil envidraçada, ou seja, independe do tipo de esquadria instalada. A profundidade deve ser de 2,5 vezes a altura do pé-direito quando iluminado diretamente, ou seja, quando a janela estiver localizada na fachada externa do edifício, e 2 vezes quando iluminado indiretamente, ou seja, através de outro ambiente (PMBH, 2009).

2.8 Principais conclusões

A partir dos assuntos apresentados, é interessante fazer uma síntese das conclusões gerais deste capítulo com os critérios e métricas que foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. A Tabela 05 apresenta esta síntese ao lado de cada respectivo autor.

⁹ A área de serviço pode ser conjugada com a cozinha.

¹⁰ É facultada a instalação de lavatório externo à instalação sanitária, ficando este com a área mínima de 1,80m².

Tabela 05 – Critérios e métricas e principais autores pesquisados

Disponibilidade de luz natural	CINTRA (2011); GUEDES (2012)
Tipo de céu	LECHNER (2015)
Orientação solar	LECHNER (2015); ARAÚJO E CABÚS (2007); SANTOS, AUER E SOUZA (2017)
Proteções solares	FROTA (2004); BITTENCOURT E DIDONÉ (2006); SOARES (2014)
Dimensão das aberturas	GUEDES (2012)
Forma do ambiente	CINTRA (2011); GUEDES (2012); SANTOS, AUER E SOUZA (2017)
Refletância das superfícies internas	NBR ISO CIE 8995 (ABNT, 2013b); STEFFY (1990); CAPELUTO (2003)
Refletância das superfícies externas	LEDER, PEREIRA E MORAES (2007); CAPELUTO (2003); GIVONI (2016); REINHART (2014)
Parâmetros urbanísticos	ASSIS, VALADARES E SOUZA (1995); LARANJA, GAZZANEO E CABÚS (2009)
Influência do entorno edificado	CAPELUTO (2003); BRACARENSE, JOTA E ASSIS (2005); ARAÚJO E CABÚS (2007); PEREIRA, PEREIRA E CLARO (2008); LEDER, PEREIRA E CLARO (2008); SCALCO, PEREIRA E RIGATTI (2010), SANTOS, AUER E SOUZA (2017)
Metodologia de cálculo de iluminação natural	ABNT (2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2013a); WDBG (2016); REINHART (2006, 2010)
Arquivos climáticos	SHELLER <i>et al</i> (2015); FONSECA, FERNANDES E PEREIRA (2017)
Normalizações brasileiras	ABNT (2013a); BRASIL (2012); PMBH (1996, 2009)

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

A começar pela definição da faixa horária de luz natural representativa para Belo Horizonte que será inserida na simulação computacional, conforme Guedes (2012) mostrou ser mais adequado o intervalo de 6h às 18h. Logo em seguida, foram apresentadas as diferenças de iluminância global entre os tipos de céu.

As variáveis arquitetônicas que interferem para a disponibilidade de luz natural apresentadas neste capítulo foram: proteções solares, dimensões e formas das janelas, profundidade dos ambientes e coeficiente de refletividade das superfícies. Neste trabalho, foi utilizado esta última variável, coeficiente de refletividade das superfícies tanto internas quanto externas, sendo aplicados os valores mais recorrentes na bibliografia técnica.

A legislação urbanística possui um papel fundamental para a configuração do tecido urbano. Ela é capaz de produzir volumetrias edilícias que podem gerar ambientes mal iluminados. Ainda assim, foi verificado que a legislação não considera este critério como uma forma de estabelecer melhores índices de iluminação natural no ambiente interno.

Dentro das pesquisas apresentadas, vale destacar os poucos estudos da influência do entorno para a disponibilidade de luz natural por meio de metodologia de avaliação dinâmica de iluminação.

Outro condicionante pouco desenvolvido no meio acadêmico é a relação da topografia para a conformação do tecido urbano e sua influência para a disponibilidade da luz natural. Scalco, Pereira e Rigatti (2010) chegaram a considerar esta variável no desenvolvimento de metodologia para análise de impacto de vizinhança, entretanto, a métrica adotada para a pesquisa foi a do FLDV (fator de luz diurna vertical) combinada com a JCP (janela de céu preferível). Contudo, a utilização dos parâmetros FLD e FLDV pode ser considerada limitada pois eles utilizam apenas um tipo de céu em seus cálculos, que é o encoberto, sem considerar as suas variações. No presente trabalho será analisado o céu parcialmente encoberto, requerido para análise junto à NBR 15.575 além de simulações dinâmicas para todos os tipos de céu.

Por último foram levantadas as normalizações brasileiras que tratam do assunto de iluminação natural: a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) e o RTQ-R (BRASIL, 2012). Na Tabela 06 são descritos os critérios adotados por cada uma.

Tabela 06 – Critérios da NBR 15.575-1 e RTQ-R

Critérios	NBR 15.575-1	RTQ-R
Dias	23/abr. e 23/out. 9h30 e 15h30	70% das horas anuais com luz natural
Iluminância	60 lux	60 lux
Área do ambiente	Ponto central	70% da área do ambiente
Método de cálculo	Prescritivo (NBR 15.215-3)	Prescritivo Simulação computacional
Tipo de céu	Nebulosidade média (50% de nuvens)	Arquivo climático
Entorno	X	X

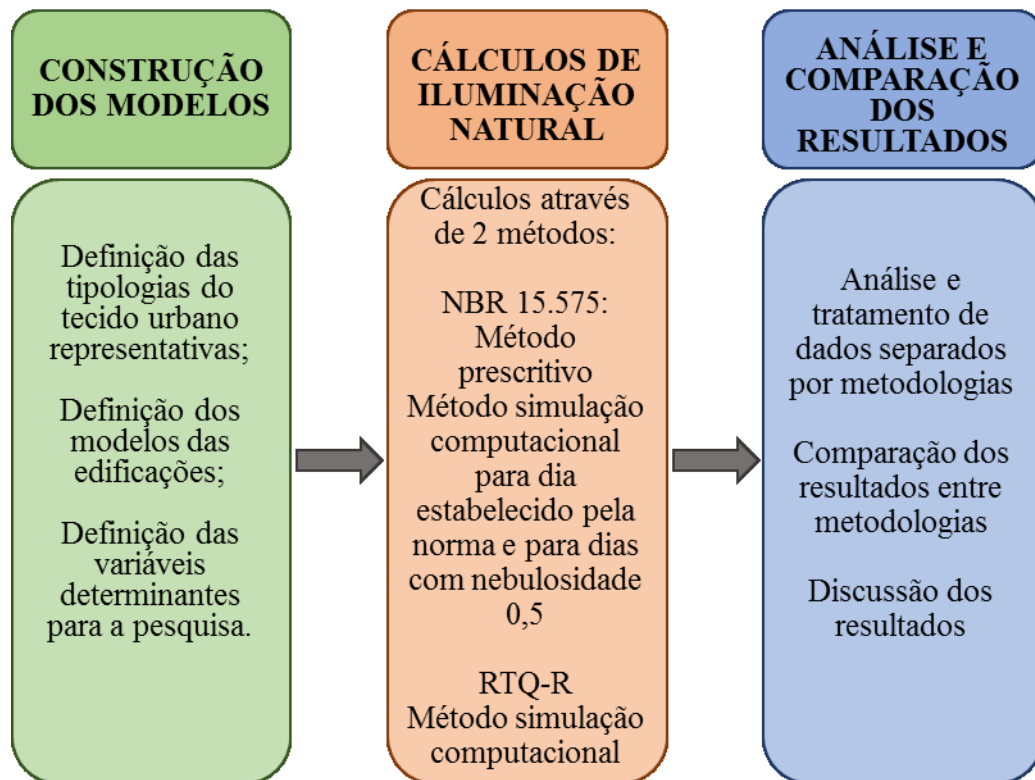
Fonte: elaborado pela autora, 2018.

É possível verificar que o RTQ-R apresenta maior representatividade da situação real que a NBR 15.575-1 pois trabalha com maior número de dias e horários além de uma área maior do ambiente para o atendimento da iluminância usando um arquivo climático, ao invés de um tipo de céu apenas.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta as etapas necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho. Abaixo, segue organograma dos passos metodológicos bem como os seus produtos, descritos detalhadamente nos subitens a seguir (FIGURA 11).

Figura 11 – Organograma dos passos metodológicos utilizados na pesquisa



A construção dos modelos foi elaborada a partir de dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) como mapas e informações técnicas dos projetos de loteamentos e edificações. Com estes dados, foram definidas as tipologias do tecido urbano e os modelos de edificações representativos na cidade. As demais variáveis foram determinadas a partir de bibliografia sobre o assunto.

Os cálculos de iluminação natural foram baseados em duas metodologias, sendo uma respectiva à NBR 15.575 e outra ao regulamento RTQ-R. Entretanto, a primeira metodologia, por apresentar maiores valores de atendimento, considerou, além do método prescritivo, a simulação computacional dentro da métrica da NBR 15.575 para poder realizar uma comparação com os resultados do RTQ-R.

Os dados foram compilados em gráficos para discussão e comparação dos resultados.

3.1 Construção dos modelos

O tecido urbano é de difícil representação, pois ele é composto por diferentes tipologias edilícias que, por sua vez, se combinam com outros elementos como topografia, configurações de lotes e arruamentos, gerando muitas possibilidades de interferência para a disponibilidade de luz natural no ambiente interno (CINTRA, 2011).

Este subitem visa a delimitação destas inúmeras possibilidades de configuração do tecido urbano.

3.1.1 Definição das tipologias do tecido urbano representativas

A cidade de Belo Horizonte vem apresentando um crescimento da urbanização em seu território. Este fato, juntamente com a legislação regente que divide o município em diversas zonas distintas, resultou em um tecido urbano que apresenta características variadas.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário estabelecer um critério de agrupamento de tipologias do tecido urbano que fossem representativas para o objetivo da pesquisa: analisar a influência do entorno em ambientes urbanos de diferentes topografias na disponibilidade de luz natural em edifícios residenciais.

Para a seleção destas áreas, foram sobrepostos quatro mapas do município disponibilizados no site da PMBH: mapa de bairros, mapa de declividade, mapa de tipologia de uso e ocupação e mapa de zoneamento e áreas de diretrizes especiais do município (FIGURAS 12 a 15). Os mapas completos encontram-se no Anexo A. A partir desta sobreposição, foi elaborada uma planilha contendo todos os bairros de Belo Horizonte com suas principais tipologias de uso e ocupação, zoneamentos e declividades.

Tabela 07 – Representatividade das zonas urbanísticas de Belo Horizonte de acordo com o número de bairros

Zoneamentos	Número de bairros	Representatividade (%)
ZEIS-1	164	32,93%
ZAR-2	134	26,91%
ZAP	98	19,68%
ZEIS-3	25	5,02%
ZA	23	4,62%
ZE	16	3,21%
ZP-2	9	1,81%
ZCBH	7	1,41%
ZAR-1	6	1,20%
ZP-1	6	1,20%
ZPAM	6	1,20%
ZCBA	1	0,20%
ZCVN	1	0,20%
ZHIP	1	0,20%
ZP-3	1	0,20%

Fonte: elaborada pela autora, 2017.

O mapa de tipologia de uso e ocupação determina se o lote possui uso residencial, uso não residencial, uso misto ou uso indeterminado. As tipologias de ocupação para o uso residencial são: casa unifamiliar, conjunto multifamiliar horizontal, conjunto multifamiliar vertical e edifício. Já as tipologias de ocupação para o uso não residencial são: apart hotel, cemitério, clubes esportivos e sociais, edifício de uso comercial e/ou de serviços, equipamento de saúde, estação de transporte coletivo, galeria / mini-shopping de bairro, galpão, indústria, instituição de ensino, instituição religiosa, loja em edifício / galeria, loja ou conjunto de lojas, parques e shopping. O uso misto possui duas tipologias de ocupação: casa / sobrado e edifício residencial e comércio e / ou serviços. Os lotes vagos, indeterminados, sem informação ou localizados na zona ZEIS-1 estão no uso indeterminado. Com a sobreposição deste mapa com o mapa de bairros, assim como realizado anteriormente, foi possível classificar os bairros de acordo com as tipologias em que mais se destacava em função de área de ocupação. As tipologias que interessam para o desenvolvimento desta pesquisa são: edifício residencial e edifício residencial e comércio e / ou serviços.

Por fim, o mapa de declividade apresenta as seguintes faixas de declividades: 0-5%, 5-10%, 10-20%, 20-30%, 30-47%, 47-100% e acima de 100%. Ao se sobrepor os três mapas, é possível verificar que existem loteamentos regulares e urbanizados em faixas de declividades de 30-47% e em até 47-100%, sendo que nesta última faixa não deveria ser permitido o loteamento, de acordo com o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2002).

A intenção desta planilha, com os dados de zoneamento, tipologia de ocupação e declividade para cada bairro do município foi selecionar as áreas que melhor caracterizassem as áreas urbanas residenciais densas em topografia acidentada. Desta forma, selecionaram-se duas áreas que possuísem edifícios residenciais ou mistos localizados em regiões com altas declividades do terreno e em zonas com índices de adensamento elevado. Para facilitar a descrição destes modelos nos subitens que se seguem, os modelos foram definidos como modelo do bairro Buritis e modelo da ZCBH. Entretanto, no capítulo 4 (Resultados), a escolha por estes dois modelos será melhor descrita.

3.1.2 Determinação das declividades do terreno

Determinaram-se cinco diferentes tipologias topográficas de declividade longitudinal do lote, caracterizadas neste trabalho como "i", para a análise da disponibilidade de luz natural dos ambientes inseridos nos edifícios-modelo junto ao entorno edificado. As declividades definidas enquadram-se em declividades encontradas no tecido urbano da malha topográfica da cidade, equivalendo a 0% (terrenos planos), 10%, 20%, 30% e 47,5%.

3.1.3 Dimensões dos lotes

A partir da escolha das áreas representativas e para a elaboração do modelo de edificação, foi necessário encontrar quais são as dimensões dos lotes mais recorrentes para cada região. O site da PMBH possui em seu banco de dados os projetos dos loteamentos aprovados com as dimensões de todos os lotes. A Figura 16 representa um trecho de uma planta de projeto de loteamento. Esta informação está disponível no site < [http://portal5.pbh.gov.br/plantacp-
img/](http://portal5.pbh.gov.br/plantacp-
img/) > e, para consulta, basta ter conhecimento do número da Planta de Parcelamento do Solo (CP).

de acordo com a legislação atual por representar as possíveis configurações que o tecido urbano pode alcançar. Desta forma, o estudo é capaz de demonstrar as permissividades e lacunas encontradas na legislação em vigência em Belo Horizonte.

3.1.5 Forma do edifício

A disponibilidade de luz natural para o ambiente interno em edifícios residenciais, depende, dentre outros fatores, dos afastamentos e das alturas das construções vizinhas. Através da lei nº 7166/1996 - Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso Solo de Belo Horizonte (PMBH, 1996) é possível elaborar um estudo de viabilidade para um edifício residencial, contendo sua área construída, seus afastamentos e sua altura.

A PMBH disponibiliza em seu site um relatório mensal de processos de licenciamento e regularização de projetos de edificações, tanto com baixa de construção quanto de projetos aprovados. Estes relatórios estão disponíveis a partir de julho de 2014 até março de 2017¹¹.

Os relatórios apresentam diversas informações descritas abaixo:

- Número do processo;
- Tipo do processo: alvará na hora, licenciamento ou regularização;
- Título do projeto;
- Endereço;
- Nome do bairro;
- Números da zona fiscal, quarteirão e lote;
- Zoneamento;
- Área do terreno;
- Área construída;
- Área líquida;
- Número de pavimentos;
- Uso: residencial, misto e não residencial;
- Número de unidades residenciais e

¹¹ Em janeiro de 2018 já se encontravam cadastrados projetos até o mês de setembro de 2017. Entretanto, para a elaboração desta pesquisa, utilizou-se até o mês de março de 2017.

- Número de unidades não residenciais.

Para uma melhor visualização e tratamento destes dados, as planilhas disponibilizadas pela PMBH foram compiladas em uma só, gerando um total de 9.037 projetos aprovados ou com baixa de construção. Em um primeiro momento, foram excluídos da amostra os seguintes projetos: regularização do tipo de processo, os projetos de levantamento e modificação e os com uso não residencial. Desta forma, reduziu-se a amostra para 3.287 projetos. Ainda assim, é um número bastante elevado de projetos, portanto, foi necessário aplicar novamente novos filtros, como sua localização por bairros, para reduzir este número. A partir desta amostra foram identificados os edifícios típicos em relação ao número de pavimentos, área construída e tipologia construtiva.

Além deste banco de dados, a PMBH também disponibiliza informações mais detalhadas de cada projeto aprovado através do site < <https://urbano.pbh.gov.br/edificacoes/#!/publico/pesquisa> >. É necessário ter algumas das seguintes informações: número do processo, índice cadastral ou número da zona fiscal, quarteirão e lote, para poder acessar este banco de dados. Estas informações estão disponíveis na planilha descrita anteriormente.

Neste site, são encontradas as informações descritas nas Figuras 17 a 19 abaixo. Estas imagens foram retiradas do próprio site de um exemplo de projeto genérico.

Figura 17 – Informações detalhadas de projeto - Pisos / blocos

Pisos/Blocos					
TOTAIS					
Área construída	4.083,26 m ² em 1 bloco(s)			Unidades	18 residenciais
BLOCOS					
Bloco 01 (área construída 4.083,26 m ² em 15 piso(s))					
Tipo	Piso	Uso	Unidades residenciais	Área construída	
Subsolo	1	Garagem	-	541,34 m ²	
Pavimento	1	Garagem	-	541,19 m ²	
Pavimento	2	Garagem	-	541,04 m ²	
Pavimento	3	Pilotis	-	272,99 m ²	
Pavimento	4	Residencial	2	257,80 m ²	
Pavimento	5 - 7	Residencial	2	223,65 m ²	
Pavimento	8 - 11	Residencial	2	223,66 m ²	
Pavimento	12	Residencial	2	221,44 m ²	
Pavimento	13	Residencial	0	109,17 m ²	
Pavimento	14	Caixa d'água	-	32,70 m ²	
Total			18	4.083,26 m ²	

Fonte: Site < <https://urbano.pbh.gov.br/edificacoes/#!/publico/pesquisa> >, acesso set/2017.

Figura 18 – Informações detalhadas de projeto – Áreas do projeto

Áreas do projeto			
DADOS GERAIS			
Área de projeção	541,34 m ²	Área a descontar	0,00 m ²
Área permeável	131,09 m ²	Possui caixa de captação?	Não
Área líquida residencial	0,00 m ²		
Área adquirida por ODC	0,00 m ²	Existe área adquirida de Transferência do Direito de Construir (TDC)?	Não
Existe Pé-direito superior a 4,5 m?	Não		

Fonte: Site < <https://urbano.pbh.gov.br/edificacoes/#!/publico/pesquisa> >, acesso set/2017.

Figura 19 – Informações detalhadas de projeto – Dados gerais

Dados Gerais	
Há exigência de instalação de elevador?	Não
Quantidade de elevadores	2
Altura máxima da edificação	0,00 m
Qtd. de vagas	55 vagas para Veículos Leves
Qtd. unid. residenciais por número de quartos	16 unidade(s) com 3 quartos 2 unidade(s) com 4 ou mais quartos
Qtd. unid. residenciais por área	18 unidade(s) acima de 90m ²

Fonte: Site < <https://urbano.pbh.gov.br/edificacoes/#!/publico/pesquisa> >, acesso set/2017.

Os dados acima dispõem de informações de cada pavimento, como uso, número de unidades residenciais e área construída. Estes dados também informam da área de projeção, área permeável, quantidade de unidades residenciais por número de quartos e por área.

A partir de uma pré-seleção de edificações típicas de cada tecido urbano considerado, foram levantados os dados construtivos de cada projeto selecionado. Em paralelo, foram feitas conferências destas informações através do Google Earth®.

Desta forma, foi possível determinar a forma para cada modelo típico de edifício, pois, a partir do número de pavimentos podem-se determinar os afastamentos estabelecidos pela legislação.

3.1.6 Ambientes analisados

Para a realização da pesquisa, foram selecionados dois ambientes caracterizados como de permanência prolongada de uma unidade residencial: quarto e sala. O Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009) estabelece a área e as dimensões mínimas para estes cômodos, de acordo com a Tabela 04 do subitem 2.7.2. Entretanto, é recorrente a prática de dimensões variadas, já que estas são dependentes das inúmeras possibilidades do projeto arquitetônico.

Visando estabelecer um padrão de dimensões e áreas para os ambientes encontrados nos edifícios residenciais em Belo Horizonte, foi feito um trabalho de levantamento de plantas humanizadas que apresentassem dimensões dos cômodos nos sites de empresas de engenharia e construção civil associadas ao Sinduscon-MG (Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais). Foram selecionadas 48 empresas que atuam em Belo Horizonte e padrões que variaram de alto luxo a popular. Destas 48 empresas, foi possível encontrar um número total de 168 projetos de edifícios residenciais com plantas. Vale ressaltar que todos estes projetos se encontram em fase de vendas, ou seja, são edifícios em construção ou recentemente acabados, e que, portanto, possuem características da legislação urbanística em vigor.

A partir da seleção das plantas, foi criada uma planilha contendo o padrão construtivo do edifício, o bairro em que ele está localizado, a largura, a profundidade, as áreas do quarto e da sala e o número de quartos na unidade residencial.

Os padrões construtivos foram classificados em A, B e C, sendo A padrão alto, B intermediário e C padrão popular. Esta classificação foi baseada no relatório Valores de Edificações de Imóveis Urbanos desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE/SP, 2017). Dentro da classificação do relatório, o padrão A foi inserido dentro dos padrões classificados como Padrão Fino e Padrão Luxo. O padrão B foi inserido dentro dos padrões Médio e Superior e o padrão C nos padrões Econômico e Simples. Para esta classificação, levou-se em consideração os revestimentos de suas fachadas, a presença ou ausência de área de lazer, o número de vagas de estacionamento e a tipologia (torre única ou conjunto habitacional). Esta classificação foi feita pois verificou-se existir uma grande diferença nas áreas das unidades residenciais, consequentemente, nas dimensões dos ambientes em análise entre os diversos projetos levantados. Desta forma, foi possível agrupar edifícios do mesmo padrão construtivo e verificar quais as dimensões médias de cada padrão.

Como foi inserido na planilha o bairro em que os projetos estão localizados, também foi possível verificar qual destes padrões são os mais recorrentes para cada região em estudo.

3.1.7 Definição das janelas

De acordo com pesquisa de Guedes (2012), em Belo Horizonte, as construtoras utilizam-se de três modelos de esquadrias para os quartos e dois modelos para a sala. As esquadrias dos quartos são: janela de correr simples, janela de correr com veneziana e janela de correr com veneziana integrada (ou de enrolar), sendo todos os modelos com duas folhas. Para as salas, os modelos são: janela de correr simples ou vidro temperado (sem esquadria), geralmente com quatro folhas por causa da dimensão exigida.

O mercado apresenta diversos modelos com medidas padrões de esquadrias. Portanto, foi realizado um levantamento das dimensões das esquadrias de quatro empresas que fornecem seus produtos no mercado de Belo Horizonte. Todas as empresas possuem os quatro modelos de janelas com esquadrias descritos por Guedes (2012).

A partir da área do ambiente a ser analisado, foi possível encontrar o modelo de janela que melhor atendesse ao determinado pela legislação dentre os encontrados no mercado.

Para a presente pesquisa, foram adotados dois modelos de esquadrias para as janelas dos quartos – janela de correr simples e janela de correr com veneziana, ambas com duas folhas – e um modelo para as salas – janela de correr simples com quatro folhas.

Para a avaliação da disponibilidade de luz natural, tanto pelo método da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) quanto pelo RTQ-R (BRASIL, 2012), deve-se descontar a área equivalente ao caixilho. Como as empresas não disponibilizam esta informação técnica, foi necessário recorrer à Tabela de Desconto das Esquadrias encontrada no Anexo II do RTQ-R (2012). Abaixo, seguem os valores em porcentagem da abertura para iluminação natural para cada tipo de janela da pesquisa de acordo com a tabela do RTQ-R (TABELA 08).

Tabela 08 – Desconto das esquadrias

Tipo de janela	% abertura para iluminação natural
Janela de correr simples – 2 folhas	80%
Janela de correr com veneziana – 2 folhas	45%
Janela de correr simples – 4 folhas	70%

Fonte: BRASIL 2012.

3.1.8 Refletância dos materiais

Os valores de refletâncias médias das superfícies internas utilizados nesta pesquisa foram determinados com base nos valores adotados por Steffy (1990) e Vianna e Gonçalves (2007). Eles também se encontram na mesma faixa de refletâncias recomendadas pela NBR ISO CIE 8995¹². Já para as superfícies externas, o valor adotado tem como base o estudo desenvolvido por Capeluto (2003) e também por Leder, Pereira e Moraes (2007). Os valores de refletância dos materiais adotados encontram-se na Tabela 09 abaixo.

Tabela 09 – Valores adotados de refletâncias das superfícies dos materiais

Superfície	Refletância
Teto	0,7
Piso	0,2
Parede	0,5
Superfícies externas verticais (fachadas)	0,4
Superfícies externas horizontais (pisos)	0,2

Fonte: elaborada pela autora, 2017.

Para os vidros, adotou-se o valor de transmissão luminosa de 0,85, que corresponde a um vidro incolor simples de 6mm de espessura.

3.1.9 Modelos analisados e nomenclatura

Aos modelos de edifícios analisados, combinaram-se três variáveis: declividade longitudinal do terreno, localização vertical por pavimento dos ambientes (quarto e sala) e orientação geográfica das aberturas. Conforme determinado no item 3.1.2, foram analisadas cinco diferentes tipologias topográficas: 0% (terrenos planos), 10%, 20%, 30% e 47,5%. Para cada declividade, foram analisados os ambientes em três pavimentos: inferior, intermediário e superior. O pavimento inferior e o pavimento superior são o primeiro e o último pavimentos de unidades residenciais, respectivamente. Já o pavimento intermediário é o localizado exatamente no meio destas duas unidades. Caso o modelo analisado possuísse um número par de

¹² A norma NBR ISO CIE 8995 é uma norma de iluminação para ambientes de trabalho. Entretanto, ela foi utilizada como referência nesta pesquisa por ser a única norma brasileira que determina os valores de refletâncias médias das superfícies.

pavimentos, o nível intermediário considerado foi o do pavimento de nível mais baixo. E por último, as aberturas dos ambientes apresentaram as orientações geográficas Norte, Sul, Leste e Oeste.

No sentido de facilitar a compreensão, cada um dos dois ambientes analisados apresenta em sua nomenclatura uma abreviação do nome de cada variável, partindo do seguinte formato: declividade-pavimento-orientação. Exemplificando: Modelo i30-pvb-N é um modelo cuja declividade do terreno é de 30% e localizado no pavimento inferior com orientação da janela Norte.

De forma resumida, as três variáveis de declividade, localização vertical e orientação geográfica foram combinadas para cada um dos dois ambientes resultando, portanto, em 60 modelos analisados para a sala, 60 modelos analisados para o quarto com janela com veneziana e 60 modelos para o quarto com janela simples para cada modelo de edifício.

3.2 Requisitos de análise conforme NBR 15.575-1

Para a análise dos requisitos da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) foram obtidos os níveis de iluminância no centro do ambiente de três diferentes maneiras: a) pelo método de avaliação prescritivo (*simulação*) indicado na Norma; b) por simulação computacional usando-se o dia do arquivo climático estabelecido na Norma e c) por simulação computacional usando-se o dia do arquivo climático com nebulosidade de 5 décimos mais próximo aos dias de análise estipulados na Norma.

3.2.1 Método prescritivo

O método proposto pela norma é do tipo estático, no qual se calcula a iluminância interna para determinado dia e horário. Para o método de avaliação conforme o critério de *simulação* pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), os cálculos devem seguir o estabelecido pela NBR 15.215 - Partes 2 e 3 (ABNT, 2005b; ABNT, 2005c), sendo a segunda parte para calcular a iluminância externa para um céu parcialmente encoberto e a terceira parte para calcular a iluminância em ambientes internos. Como a norma NBR 15.575-1 solicita um céu de

nebulosidade média com índice de nuvens de 50% e a NBR 15.215-2 não possui definição de tipo de céu feita por índice de nebulosidade, considerou-se para os cálculos um céu parcialmente encoberto.

Inicialmente, foram calculados os ângulos de declinação, altura e azimute solares, através das fórmulas apresentadas no subitem 2.3.1. Vale ressaltar que foi considerada a correção horária para o dia 23 de outubro uma vez que a cidade de Belo Horizonte adota o horário de verão brasileiro. Esta correção horária é necessária pois foi considerado o horário real da medição. Foi possível então encontrar a iluminância externa para um céu parcialmente encoberto em um plano horizontal (TABELA 10).

Tabela 10 – Ângulos de declinação, altura e azimute solares e iluminância externa

Dia / hora	Declinação solar	Altura solar	Azimute solar	Echi
23/abr/ 9:30h	12,54°	40°	52°	29.137 lux
23/abr/ 15:30h	12,54°	30°	298°	22.195 lux
23/out / 9:30h	-11,92°	42°	88°	29.965 lux
23/out / 15:30h	-11,92°	51°	275°	34.717 lux

Fonte: elaborada pela autora, 2017.

A partir dos valores apresentados na Tabela 10, foram elaboradas as projeções das superfícies internas dos ambientes em análise (quarto e sala) para, a partir delas, calcular o valor do Fator de Forma (FF) para cada superfície do cômodo: paredes, teto e abertura (TABELA 11).

Tabela 11 – Fator de forma dos ambientes

Ambiente	Parede	Teto	Abertura
Quarto Buritis	51,74%	43,79%	4,47%
Sala Buritis	34,25%	61,00%	4,75%
Quarto ZCBH	49,61%	45,61%	4,78%
Sala ZCBH	27,58%	67,25%	5,17%

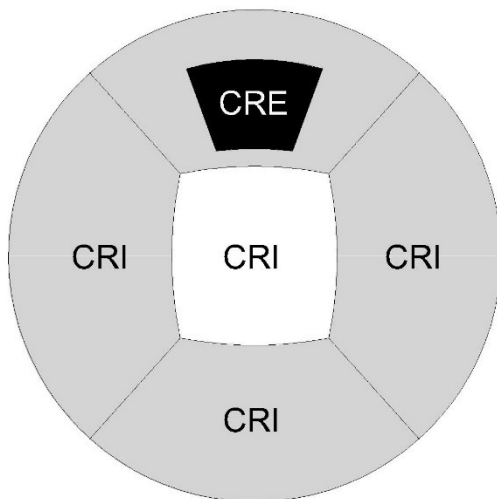
Fonte: elaborada pela autora, 2017.

Nota-se que as superfícies do teto apresentam maiores valores que as superfícies das paredes nos ambientes da sala, enquanto que os quartos apresentam os maiores valores de fator de forma nas superfícies das paredes.

Foram também elaboradas as máscaras de obstrução para cada ambiente levando em consideração a declividade e o pavimento de cada modelo. Para o modelo do bairro Buritis, apenas as salas do pavimento superior, em todas as declividades de terreno apresentaram parcela de céu vista. Já os únicos quartos que apresentaram parcela de céu vista foram aqueles localizados no pavimento superior do modelo de declividade 0%. Os outros ambientes

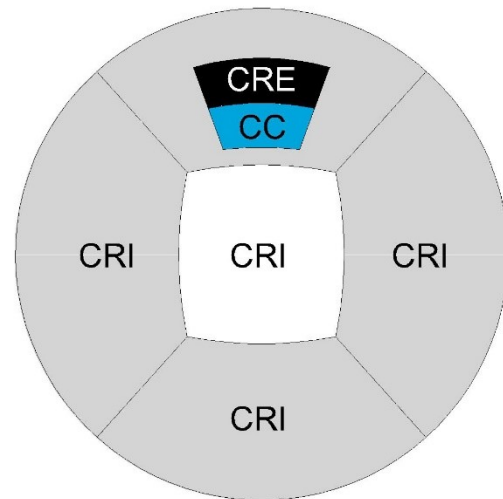
apresentaram máscaras com obstrução da fachada da edificação oposta em toda a abertura (FIGURAS 20 a 23).

Figura 20 – Máscara relativa ao quarto para os pavimentos inferior e intermediário e para os quartos do pavimento superior das declividades 10, 20, 30 e 47,5%. Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE



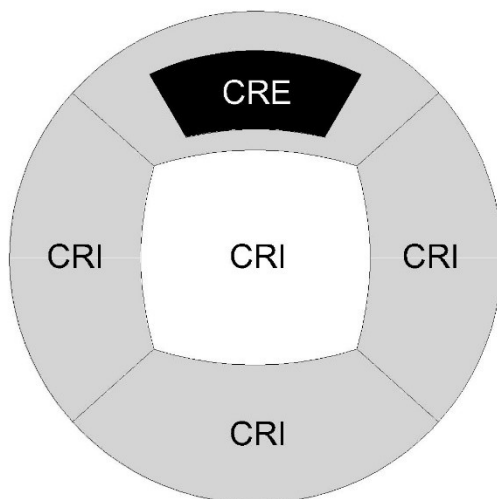
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 21 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 0% no qual se pode ver a componente celeste - CC, a CRE e a CRI



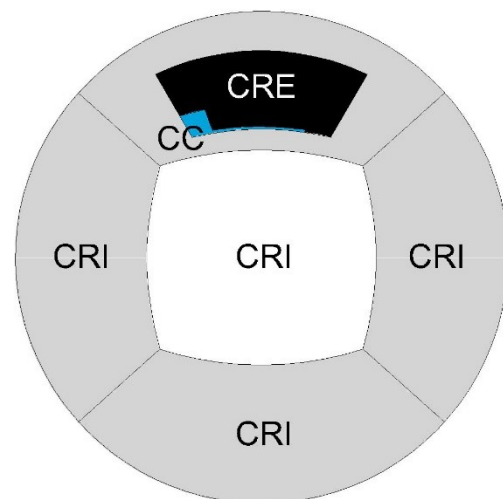
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 22 – Máscara relativa à sala para os pavimentos inferior e intermediário. Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE



Fonte: elaborada pela autora, 2016.

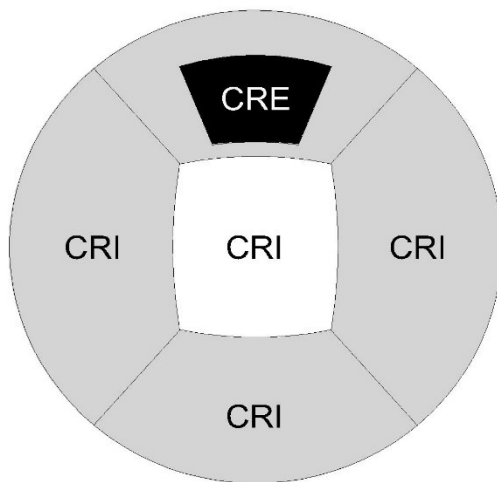
Figura 23 – Máscara relativa à sala para o pavimento superior no qual se pode ver a componente celeste - CC, a CRE e a CRI



Fonte: elaborada pela autora, 2016.

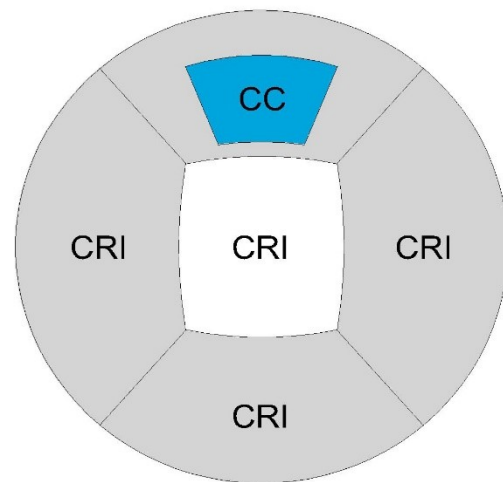
Para o modelo da ZCBH, os quartos e as salas dos pavimentos inferior e intermediário em todas as declividades de terreno apresentaram máscaras com obstrução total da fachada do entorno. As salas do pavimento superior, em todas as declividades de terreno apresentaram parcela de céu visto. Os quartos deste pavimento apresentaram máscaras com diversas porcentagens de céus visto, sendo que o correspondente ao modelo de declividade 0% apresentou céu visto em toda a abertura. Já os modelos de declividade 10% e 20%, apresentaram obstrução em parte da abertura. As máscaras para os modelos de declividade 30% e 47,5% destes ambientes apresentaram obstrução total (FIGURAS 24 a 29).

Figura 24 – Máscara relativa ao quarto para os pavimentos inferior e intermediário e para os quartos do pavimento superior com declividade de 30 e 47,5% Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE



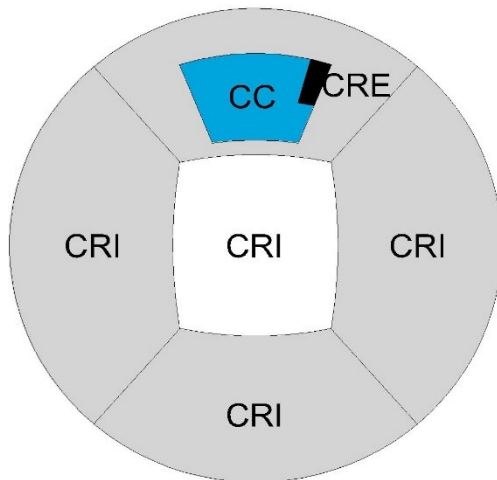
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 25 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 0% no qual se pode ver a componente celeste - CC e a CRI



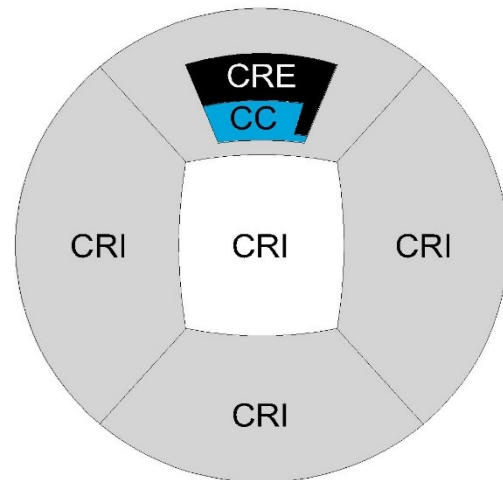
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 26 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 10% no qual se pode ver a componente celeste – CC, a CRE e a CRI



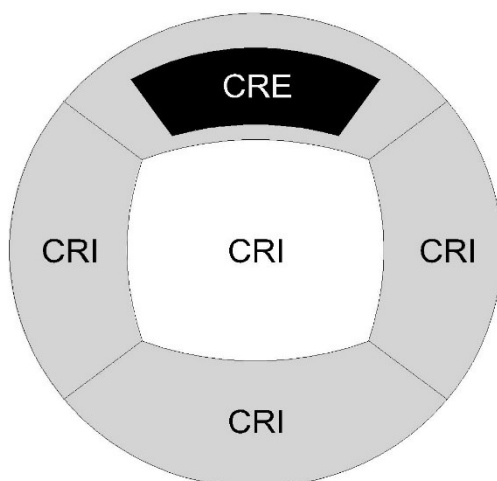
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 27 – Máscara relativa ao quarto para o pavimento superior, declividade 20% no qual se pode ver a componente celeste – CC, a CRE e a CRI



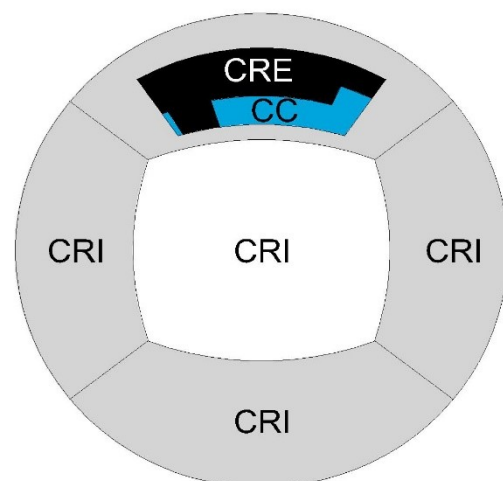
Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 28 – Máscara relativa à sala para os pavimentos inferior e intermediário. Nesta máscara só há Componente refletida interna - CRI e externa - CRE



Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Figura 29 – Máscara relativa à sala para o pavimento superior no qual se pode ver a componente celeste - CC, a CRE e a CRI



Fonte: elaborada pela autora, 2016.

Para os cálculos da Componente Refletida Externa (CRE) e da Componente do Céu (CC), é necessário utilizar o Diagrama de Contribuição Relativa (DCRL). Abaixo, segue Tabela 12 com os DCRLs e azimute solar aplicado para cada dia e hora.

Tabela 12 – Ângulos de declinação, altura e azimute solares e iluminância externa

Dia / hora	Azimute solar	Altura solar	DCRL
23/abr / 9:30h	52°	40°	45°
23/abr / 15:30h	298°	30°	30°
23/out / 9:30h	88°	42°	45°
23/out / 15:30h	275°	51°	45°

Fonte: elaborada pela autora, 2017.

Com o lançamento do DCRL sobre a máscara, foi possível encontrar os valores percentuais para cada componente, CRE e CC. Para a CRE deve-se aplicar o valor da refletância da superfície da fachada obstruidora.

A partir dos valores das duas componentes, calcula-se a Componente Refletida Interna (CRI), conforme fórmula apresentada no capítulo 2. Aos fatores de forma, devem-se aplicar o valor de refletância para cada superfície interna e os valores devem ser corrigidos pelo valor de Kp (fator empírico de correção) em função da localização do ponto no ambiente. Como a NBR 15.575-1 exige o cálculo no ponto médio do cômodo, o valor Kp para esta posição é de 1,15.

O somatório das três componentes com as devidas correções das reduções pela transmissividade do vidro (Kt), fator de manutenção (Km) e fator de caixilho (Kc) indica a Contribuição de Iluminação Natural (CIN). Abaixo, segue Tabela 13 para os valores utilizados para cada item.

Tabela 13 – Valores dos dados de entrada para cálculo

Refletância entorno edificado	0,4
Refletância parede	0,5
Refletância teto	0,7
Kp (fator empírico de correção)	1,15
Kt (transmissividade do vidro)	0,85
Km (fator de manutenção)	0,9
Kc (fator de caixilho)	0,8 / 0,7 / 0,45

Fonte: elaborada pela autora, 2017.

Com os três valores das componentes (CC, CRE e CRI), encontra-se o valor da CIN. Este valor multiplicado pela iluminância externa encontrado anteriormente para determinado dia e hora (Ecih), resulta no valor da iluminância do ponto interno ao ambiente apresentado no item 4.2.

3.2.2 Simulação computacional - dia estabelecido na NBR 15.575-1

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) estabelece que o desempenho lumínico deve ser verificado para os dias 23 de abril e 23 de outubro nos horários de 9:30h e 15:30h de forma a obter a iluminância mínima de 60 lux no ponto central do ambiente analisado. Verificou-se que a metodologia por ela indicada e descrita no subitem anterior não é capaz de identificar a influência da reflexão no cânion urbano como demonstrado pelas máscaras apresentadas nas Figuras de 20 a 29. Diante deste quadro, adotou-se a simulação computacional, que permite considerar de forma mais adequada a influência do entorno, para se encontrar o valor da iluminância no ponto central do cômodo.

Foram elaborados modelos tridimensionais através do programa *SketchUp* versão 8 para os dois modelos de edifícios e seus respectivos entornos. Cada superfície do modelo foi configurada de acordo com o material estabelecido pelo *DaysimMaterials* e, em seguida, foi criada uma malha de pontos nos ambientes com uma altura equivalente a 75 cm do piso. Para o primeiro modelo de edifício (Buritis), foi definida uma malha de 25 pontos para o quarto e de 49 pontos para a sala. Para o segundo modelo de edifício analisado na pesquisa (ZCBH), o quarto apresentou uma malha com 30 pontos enquanto a sala apresentou duas malhas, 99 pontos para o pavimento inferior e 88 pontos para os pavimentos intermediário e superior. Como os resultados destas mesmas simulações serão utilizados para o método do RTQ-R, foi utilizada na simulação uma malha que atendesse a este e, a partir das simulações foi obtido o valor para o ponto central no ambiente, requerido pela NBR 15.575-1. Como a simulação foi realizada para os dois ambientes e os três pavimentos simultaneamente, alguns ambientes tiveram um número superior de pontos além do estabelecido pelo RTQ-R, já que o *plug-in su2d* não permite realizar a malha de pontos separadamente.

Após a criação da malha de pontos através do *plug-in su2d*, o modelo foi exportado para o programa *Daysim* gerando um arquivo com extensão *.hea*. Após sua importação no *Daysim*, são feitas as configurações das refletâncias de cada superfície do modelo e inserido o arquivo climático da cidade em estudo com os valores de latitude, longitude e radiação solar. Em face da necessidade de se ter dados de nebulosidade para análise do tipo de céu disposto intermediário (céu com nebulosidade média) na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) na presente pesquisa foi utilizado o arquivo climático SWERA de 8.760 horas da cidade de Belo Horizonte (LABEEE, 2016).

A pesquisa não analisou a interferência das proteções solares para a disponibilidade da luz natural, por não ser um elemento utilizado na arquitetura do município. Desta forma, foi definida para a simulação a *Scene Complexity 1*.

Para a avaliação pela NBR 15.575-1, definiu-se qual, dentre os pontos da malha para cada ambiente, era o ponto central. Cada ponto possui sua localização conforme os eixos X, Y e Z do programa *SketchUp*. Ao abrir os resultados em uma planilha no *Excel*, estes eixos estão determinados, portanto, desta forma, encontra-se o ponto central. Os resultados em formato *.ill* são os que apresentam os valores de iluminância ponto a ponto durante todas as horas e dias do ano e selecionou-se o ponto equivalente ao centro do ambiente.

Como a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) determina os horários de 9:30h e 15:30h, ou seja, horários intermediários das horas do arquivo climático, fez-se uma média entre os valores de 9h e 10h e entre os valores de 15h e 16h apresentados pela simulação computacional. Desta forma, encontrou-se o valor da iluminância do ponto central do ambiente analisado.

Entretanto, observou-se no arquivo climático SWERA, que a nebulosidade para os dias e horários estipulados para análise junto à NBR 15.575-1 não é de 5 décimos de céu como determinado pela Norma (ver Tabela 14).

3.2.3 Simulação computacional - nebulosidade de 0,5 para a NBR 15.575-1

Para verificar-se a diferença entre a simulação usando-se os dias estipulados na NBR 15.575-1 e dias com nebulosidade média, foram encontrados no arquivo climático os dias mais próximos dos estabelecidos pela norma com valores de nebulosidade de 5 décimos de céu. O restante da metodologia é similar com a descrita no subitem acima.

3.2.4 Comparação dos dias de análise

A Tabela 14 traz um resumo dos dias analisados para verificação do atendimento aos requisitos da NBR 15.575-1 com indicação das alturas solares, nebulosidades e iluminâncias difusas externas. Para a norma NBR 15.215-2 foi interpretado que um índice de nuvens de 50% corresponderia ao céu intermediário.

Tabela 14 – Dados de altura solar ($^{\circ}$), nebulosidade (0-10) e iluminância externa (lux) do cálculo pela NBR 15.215-2 e do arquivo climático SWERA usados nas simulações

	Dia	hora	altura solar ($^{\circ}$)	Neb (0-10)	Iluminância externa (lux)
NBR 15.575-1 – cálculo pela NBR 15.215-2	23/abr	9h30	41	céu int	29.137
	23/abr	15h30	30	céu int	22.195
	23/out	9h30	42	céu int	29.965
	23/out	15h30	51	céu int	34.717
NBR 15.575-1 - dia estabelecido pela norma – dados do arquivo climático	23/abr	9h30	41	1,5	12.500
	23/abr	15h30	30	10,0	30.100
	23/out	9h30	42	6,5	34.000
	23/out	15h30	51	7,0	32.850
NBR 15.575-1 - dia mais próximo com nebulosidade igual ou próxima a 0,5 – dados do arquivo climático	18/abr	9h30	43	5,0	28.250
	17/abr	15h30	25	5,0	20.200
	23/set	9h30	36	5,0	24.650
	25/out	15h30	53	5,5	27.350

Fonte: elaborada pela autora, 2017.

Ao analisarem-se os níveis de iluminação externa usados para análise do atendimento ao requisito da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), verifica-se que, como no arquivo SWERA a nebulosidade média do dia 23 de abril para os horários de 9h30 e 15h30 é significativamente diferente daquela solicitada pela norma (índice de nuvens de 50%), os valores de iluminância encontrados para dias com nebulosidades de 50% (dias 18/abr e 17/abr) se mostraram significativamente mais próximos daqueles calculados através da NBR 15.215-2.

Já para 23 de outubro as nebulosidades de 65% e de 70% encontradas no arquivo SWERA são mais próximas à solicitada em norma. Portanto, para este dia os valores de iluminância externa se mostraram mais condizentes com os calculados pela NBR 15.215-2 do que os valores obtidos para os dias 23/set e 25/out, dias de nebulosidade mais próximas a 50%.

Ressalta-se que quando se utilizam os dias estabelecidos em Norma para a simulação computacional, buscados diretamente de um determinado arquivo climático, há possibilidade de uma grande variação em relação aos valores de iluminância externa esperados por Norma já que os dias do arquivo climático podem não possuir a cobertura de nuvens estabelecida pelo cálculo.

3.3 Requisitos de análise conforme RTQ-R

Para a quantificação da Autonomia de Luz Natural do RTQ-R (BRASIL, 2012), assim que a simulação é finalizada pelo programa *Daysim* – conforme descrição no subitem 3.2.2 – são necessários inserir o intervalo horário de análise e o nível de iluminância. Por apresentar um período mais amplo de luz natural, foi utilizado o horário de 8h – 18h sem o intervalo para o almoço conforme Guedes (2012). As análises foram feitas para um nível de iluminância mínimo de 60 lux.

Os resultados em formato *.da* e nomeados com *.daylight_autonomy* são os que apresentam os valores em porcentagem de Autonomia de Luz Natural ponto a ponto da malha. Ao abrir os resultados em uma planilha no Excel, foi possível identificar quais pontos da malha atendem aos requisitos do RTQ-R (BRASIL, 2012), ou seja, quais pontos possuem valores iguais ou superiores a 70% das horas simuladas. Para a avaliação do requisito do RTQ-R (BRASIL, 2012) considerou-se, de forma simplificada, que cada ponto da malha equivaleria a uma porcentagem proporcional à área do ambiente.

Para cumprir o atendimento ao regulamento técnico o ambiente do quarto do primeiro modelo de edifício deveria possuir, no mínimo, 18 pontos dos 25 pontos totais, com valores de autonomia de luz iguais ou superiores a 70% e o mesmo critério para 35 pontos da sala dos 49 pontos totais deste ambiente. Para o segundo modelo de edifício, o quarto deveria possuir 21 pontos dos 30 pontos totais, a sala do pavimento inferior 70 pontos dos 99 pontos totais enquanto as salas dos pavimentos intermediário e superior deveriam possuir 62 pontos dos 88 pontos totais destes ambientes.

3.4 Comparação de resultados

Os resultados encontrados para cada metodologia de cálculo foram compilados em gráficos de atendimento à NBR 15.575 ou ao RTQ-R separadamente. Para melhor visualização dos resultados de cada método em conjunto, foram feitas tabelas demonstrando comparativamente os resultados percentuais de atendimento entre os ambientes da pesquisa, as topografias e os pavimentos. Desta forma, verifica-se quais os resultados de cada método e qual entre eles é o mais restritivo ou permissivo.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior. A pesquisa possui cunho quantitativo e é baseada em resultados calculados por meio de método prescritivo e por meio de simulação computacional.

Inicialmente, são apresentados os resultados dos modelos dos tecidos urbanos e dos edifícios residenciais representativos encontrados no município de Belo Horizonte. Logo após, são mostrados os resultados dos cálculos de iluminação natural para os quatro métodos descritos acima: método prescritivo da NBR 15.575-1, método simulação computacional para os dias estabelecidos pela norma, método simulação computacional para os dias com nebulosidade de 0,5 e método simulação computacional para a aplicação da métrica do RTQ-R. Com base nestes últimos resultados, é possível fazer uma comparação entre as metodologias aplicadas.

4.1 Modelos representativos

Este subitem apresenta os resultados dos modelos dos tecidos urbanos e dos edifícios residenciais representativos encontrados no município de Belo Horizonte.

4.1.1 Modelos das tipologias do tecido urbano representativos

A partir da sobreposição dos mapas de bairros, de declividade, de tipologia de uso e ocupação e de zoneamento e áreas de diretrizes especiais do município e do tratamento de dados da planilha elaborada com todos os bairros de Belo Horizonte, foi possível agrupar áreas urbanas residenciais que apresentam características similares de ocupação em topografia acidentada. As duas áreas selecionadas para análise foram o bairro Buritis e os bairros residenciais localizados na Zona Central de Belo Horizonte (ZCBH).

O bairro Buritis (FIGURAS 30 e 31) foi selecionado por apresentar uma topografia bastante acidentada e com ocupação densa. Além disso, este bairro possui o zoneamento mais representativo em relação ao número de bairros em que ocorre na cidade à exceção da ZEIS de

acordo com a Tabela 07: ZAR-2. As tipologias encontradas em seu tecido urbano são de edifícios compactos e relativamente baixos, tipologia edilícia bastante encontrada em Belo Horizonte. Este modelo representa outras áreas do município que apresentam as mesmas características do bairro Buritis.

Figura 30 – Imagem aérea do Bairro Buritis onde se pode verificar a presença da estrutura aparente localizada no fundo dos lotes, devido à alta declividade dos terrenos



Fonte: Google Earth, acesso jan. / 2018.

Figura 31 – Imagem aérea do Bairro Buritis onde se pode verificar os espaçamentos de fundos entre edificações localizadas em terrenos de alta declividade e a tipologia edilícia de construções baixas e compactas



Fonte: Google Earth, acesso jan. / 2018.

A escolha pela área residencial da zona ZCBH (FIGURAS 32 e 33) se deu pelo fato dela apresentar alto potencial construtivo, o que caracteriza um tecido urbano de edifícios altos e mais próximos entre si, pois os afastamentos laterais para esta zona são menores do que para as demais. É interessante ressaltar que os bairros desta zona ainda apresentam muitas residências unifamiliares (casas) que estão sendo substituídas por edifícios. Por esta razão, optou-se por analisar esta área.

Figura 32 – Imagem aérea da ZCBH onde se pode verificar a existência de residências unifamiliares entre torres de edifícios



Fonte: Google Earth, acesso jan. / 2018.

Figura 33 – Imagem aérea da ZCBH onde se pode verificar as tipologias edilícias de torres altas

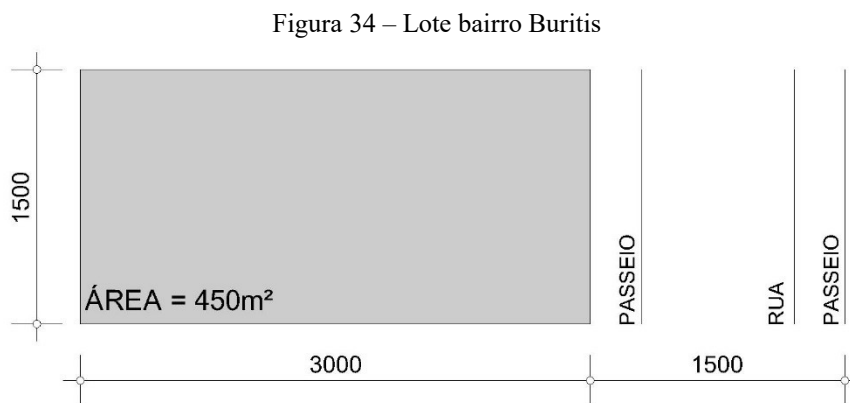


Fonte: Google Earth, acesso jan. / 2018.

4.1.2 Dimensões dos lotes

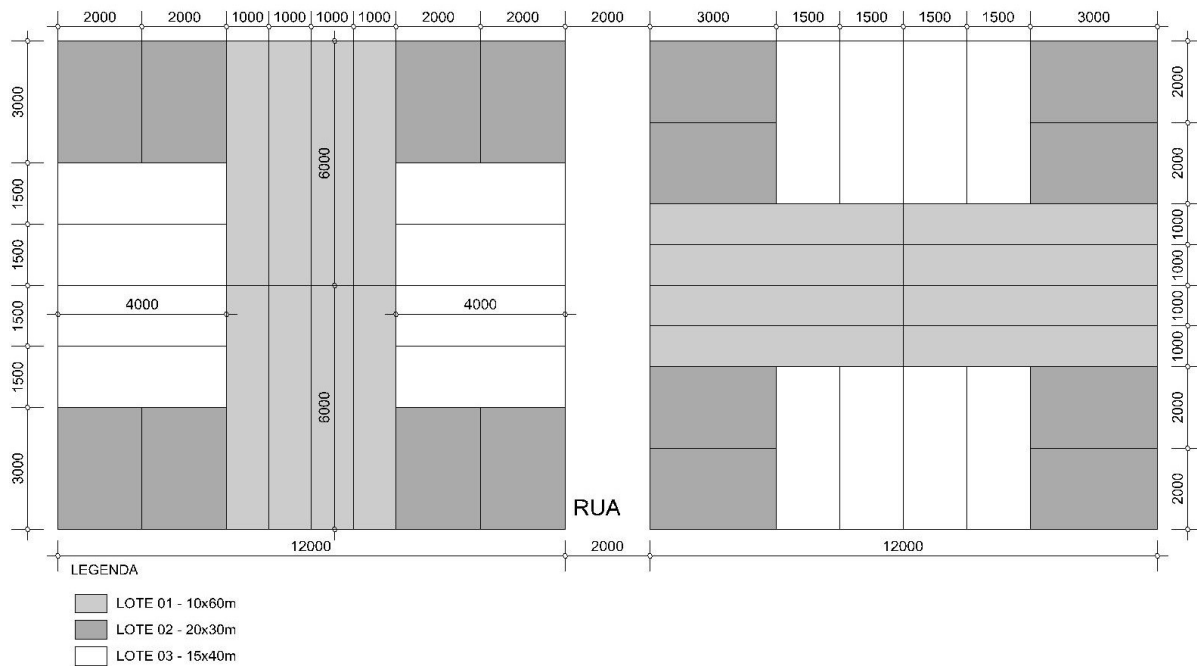
A partir dos projetos dos loteamentos aprovados disponíveis no site da PMBH foi possível determinar a frequência das dimensões e áreas dos lotes.

Para o bairro Buritis, o lote mais recorrente possui 15 metros frontais paralelos à rua e 30 metros laterais, resultando em um lote com formato retangular com área de 450 m² (FIGURA 34).



Os bairros localizados no interior da Avenida do Contorno apresentam quarteirões com características semelhantes, pois fazem parte do projeto viário de Aarão Reis para a Área Central. Eles apresentam forma quadrangular com dimensão de 120 m x 120 m compostos por 24 lotes com a mesma área de 600 m², porém com variações em suas dimensões. Conforme Figura 35, os lotes situados no meio de suas faces e fundos comuns possuem dimensões de 10 m x 60 m (lotes número 01). Os lotes de esquinas e contra-esquinas dos quarteirões possuem dimensões de 20 m x 30 m (lotes número 02). Por último, os lotes situados no trecho central, apresentam dimensões de 15 m x 40 m (lotes número 03). Os quarteirões são “distribuídos de forma a não ocorrer simetria num mesmo trecho de rua, ou seja, os quarteirões são organizados com uma rotação de 90° em relação ao quarteirão vizinho” (NORONHA, 1999, p. 67).

Figura 35 – Quarteirão ZCBH



Fonte: adaptada pela autora a partir de Noronha (1999).

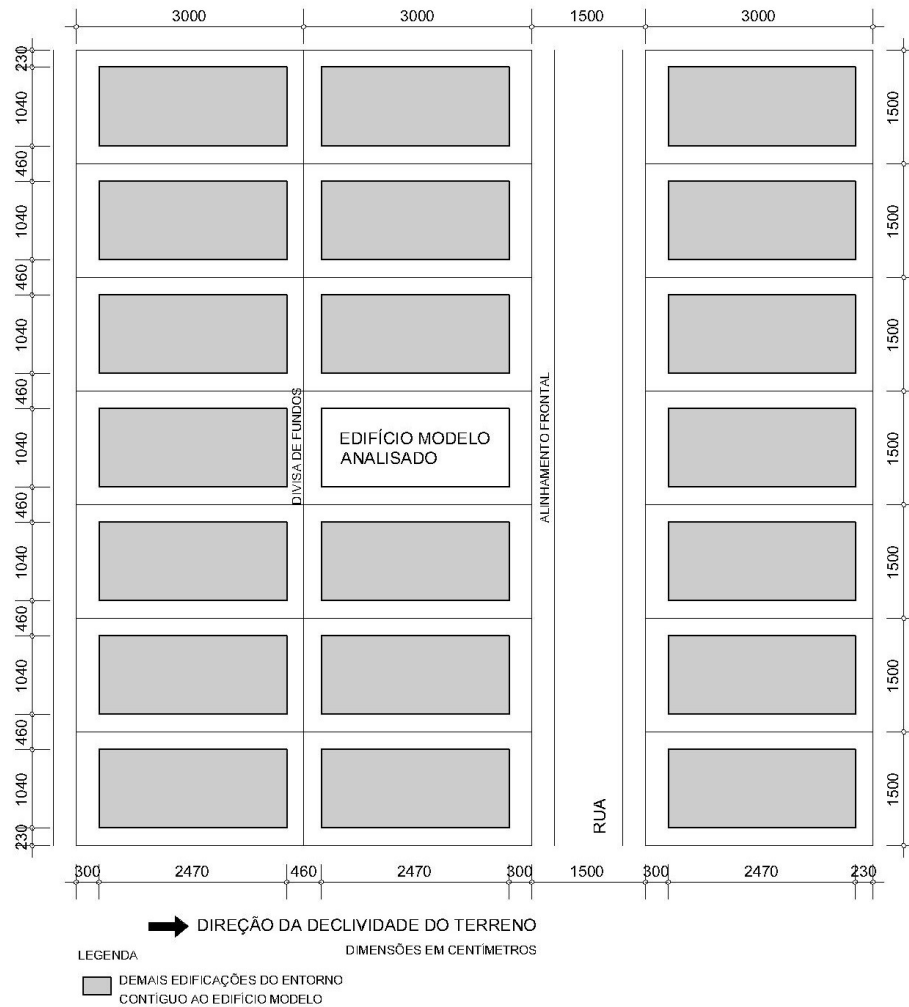
Para a presente pesquisa, foram utilizados os modelos de lotes e quarteirões do projeto viário original de Aarão Reis, não considerando lotes lembrados.

4.1.3 Entorno do modelo da edificação

Conforme disposto na metodologia, o entorno apresenta as mesmas características do modelo analisado, variando-se, quando necessário sua forma de acordo com a variação das dimensões dos lotes. Nesta etapa, foram realizadas simulações computacionais para poder verificar a extensão do entorno a influenciar a disponibilidade de luz natural.

Para o modelo do Bairro Buritis, houve uma reprodução dos lotes e dos edifícios, já que os quarteirões se apresentam longilíneos e com repetição de lotes da mesma dimensão (FIGURAS 36 e 37). De acordo com simulações preliminares, o entorno que possui influência sobre os ambientes analisados é composto por três lotes adjacentes ao edifício analisado, tanto à direita quanto à esquerda além de uma fileira de lotes alinhados a estes localizados na parte posterior e outra fileira localizada à frente (do outro lado da rua). Quando se aumenta um lote, passando a ser quatro lotes adjacentes, os resultados das simulações computacionais não sofrem alterações significantes.

Figura 36 – Entorno analisado do bairro Buritis



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 37 – Entorno analisado do bairro Buritis

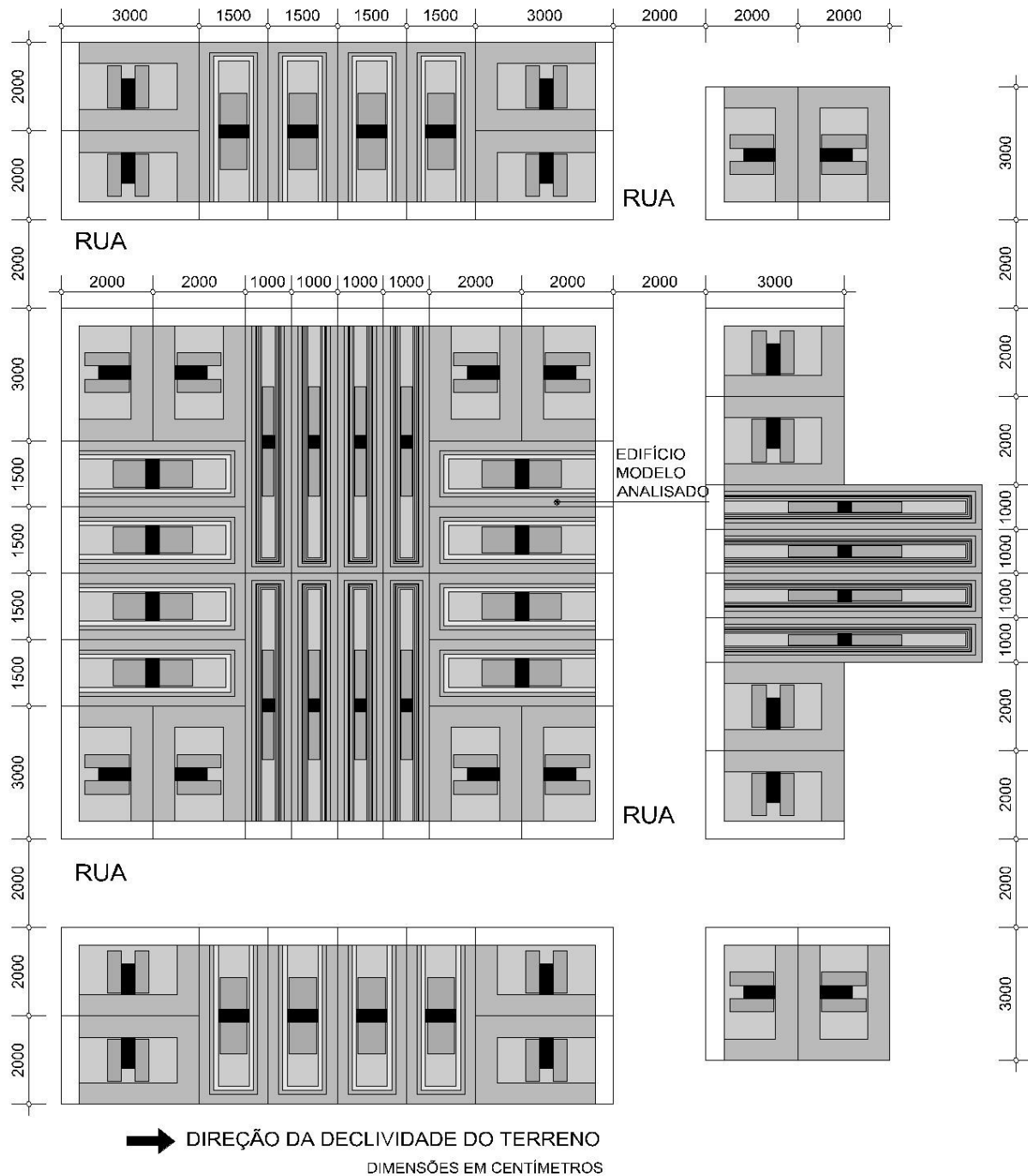


Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Para o modelo da ZCBH, como cada lote apresenta dimensões variadas, foram elaborados estudos da forma do edifício para cada lote que compõe o quarteirão típico.

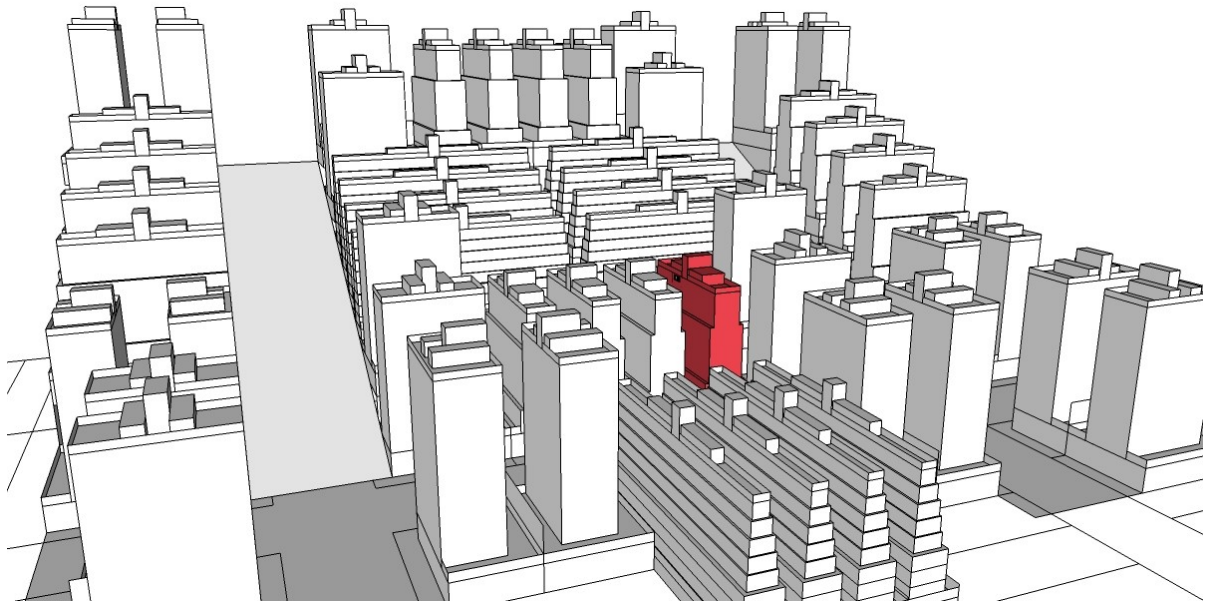
Entretanto, a análise da disponibilidade de luz natural foi realizada apenas para um edifício localizado no lote 15 m x 40 m (lote número 03), situado no meio do quarteirão. O seu entorno é composto por edifícios que ocupam todo o quarteirão além da primeira fileira de lotes dos quarteirões adjacentes (FIGURA 38 e 39).

Figura 38 – Entorno analisado da ZCBH



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 39 – Entorno analisado da ZCBH



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

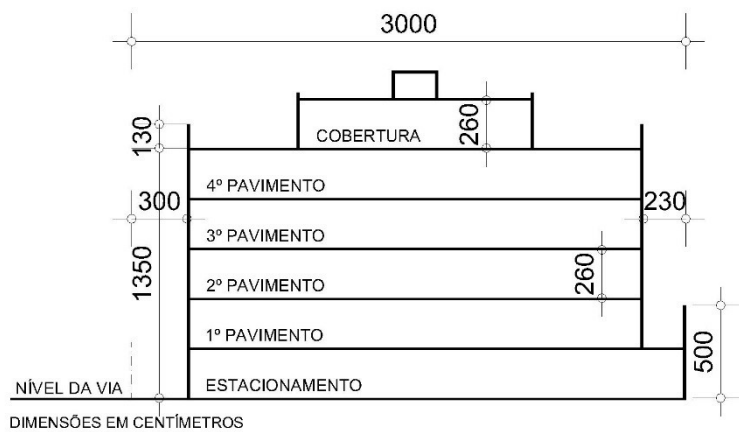
4.1.4 Forma do edifício

A partir da planilha elaborada com base nos relatórios mensais de projetos de edificações aprovados ou com baixa de construção da legislação urbanística vigente, foi possível encontrar um padrão de ocorrência e agrupar os projetos similares para cada área de estudo.

No bairro Buritis, após aplicar filtros (nome do bairro e área do lote), foi possível reduzir o número para onze projetos. Este número é mais viável de se trabalhar e encontrar um padrão de ocorrência. Destes onze projetos encontrados, cinco deles apresentam sete pavimentos. Os outros seis projetos apresentam dois projetos para onze, oito e seis pavimentos. Os projetos que apresentam onze pavimentos são para apartamentos que ocupam um andar inteiro, portanto, além de maiores afastamentos por causa da altura, apresentam uma planta com sala frontal e quartos nas laterais (o que não é o proposto para a pesquisa). Para o bairro Buritis, o modelo adotado será de um edifício com 7 pavimentos e 8 unidades residenciais, sendo dois apartamentos por andar. Com o endereço destes cinco projetos, foi possível encontrar informações mais detalhadas e estabelecer a forma do edifício.

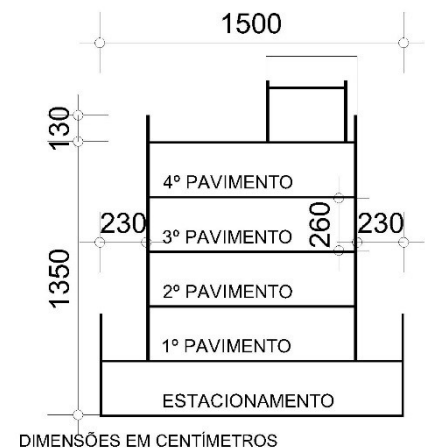
O modelo do Buritis foi então definido com sete pavimentos a partir do nível da rua, podendo ter níveis de subsolo destinados a estacionamento (FIGURAS 40 e 41). O pavimento localizado ao nível da rua foi considerado como pilotis para utilização de estacionamento de veículos. Os quatro pavimentos superiores possuem duas unidades residenciais por pavimento, sendo uma voltada para a parte frontal do lote e outra voltada para a parte posterior, além da circulação central. As unidades residenciais do primeiro pavimento possuem área privativa descoberta projetada sobre os afastamentos laterais e de fundos, o que caracteriza uma laje ou terraço descoberto sobre o pavimento de estacionamento. Já as unidades residenciais do quarto pavimento possuem uma cobertura localizada no pavimento superior com uma área aproximada de 20% em relação à área do pavimento tipo. Acima das coberturas, estão o nível das caixas d'água. O afastamento frontal possui 3,00 metros e os laterais e de fundos possuem 2,30 metros. O pavimento de cobertura apresenta afastamentos laterais de 2,80 metros.

Figura 40 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 41 – Corte transversal do modelo de edifício do Buritis



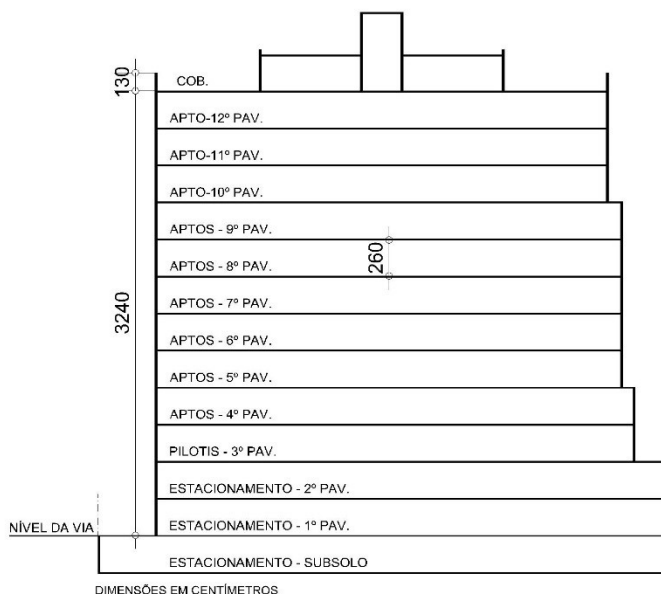
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

O mesmo processo realizado para o bairro Buritis foi feito para os bairros da ZCBH. A redução do número de projetos após aplicação de filtros (zoneamento e área do lote) foi para 18 projetos. Entretanto, como os lotes desta região apresentam a mesma área, porém dimensões diferentes, foi necessário identificar via Google Earth a qual dos três modelos de lotes cada projeto correspondia. Nesta busca, foram encontrados 10 projetos para os lotes número 03 com dimensões de 15 m x 40 m, 7 projetos para os lotes número 02 com dimensões de 20 m x 30 m e apenas 1 projeto para os lotes número 01 de 10 m x 60 m. Para os lotes de 15x40m, foram encontrados 3 projetos com 13, 14 e 15 pavimentos e um projeto com 12 pavimentos. Para os lotes de 20x30m, foram encontrados 3 projetos com 16 pavimentos, 2 projetos com 17 pavimentos e um projeto com 13 e 14 pavimentos, cada. O único projeto encontrado para o lote

de 10x60m possui 11 pavimentos. Diante destes números, estabeleceu-se a escolha dos projetos que apresentaram o maior número de pavimentos por caracterizarem maiores obstruções do céu.

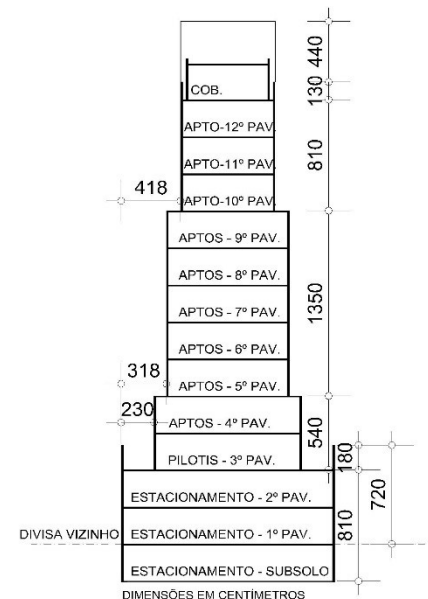
O modelo do lote 15x40m foi então definido com quinze pavimentos, sendo um nível de subsolo destinado a estacionamento e quatorze pavimentos a partir do nível da rua (FIGURAS 42 e 43). Os dois primeiros pavimentos foram destinados a garagem e ocupam toda a projeção do lote, exceto a área do afastamento frontal. O terceiro pavimento é destinado ao pilotis (área de lazer do edifício) e apresenta uma área descoberta sobre a laje de cobertura do pavimento inferior. Do quarto ao décimo segundo pavimentos estão localizadas as unidades residenciais, sendo duas unidades por pavimento, como no modelo do Buritis. O décimo terceiro pavimento possui as coberturas da unidade residencial abaixo e o décimo quarto é o nível da caixa d'água. O afastamento frontal para os lotes da ZCBH é de 4,00m metros. Os afastamentos laterais e de fundos são diferentes para cada pavimento. O terceiro e o quarto pavimentos possuem afastamentos laterais e de fundos de 2,30 metros. Do quinto ao nono pavimentos, os afastamentos são de 3,18 metros. Do décimo ao décimo segundo pavimentos, os afastamentos são de 4,18 metros. As coberturas apresentam afastamentos laterais de 4,55 metros.

Figura 42 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – lote 15x40m



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 43 – Corte transversal do modelo de edifício da ZCBH – lote 15x40m

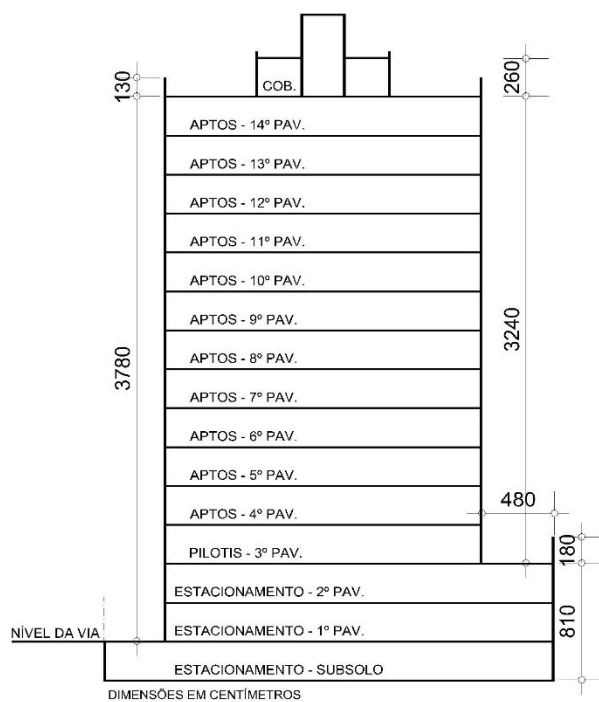


Fonte: elaborada pela autora, 2018.

O modelo do lote 20x30m foi então definido com dezessete pavimentos, sendo um nível de subsolo destinado a estacionamento e dezesseis pavimentos a partir do nível da rua (FIGURAS 44 e 45). Os dois primeiros pavimentos foram destinados a garagem e ocupam toda

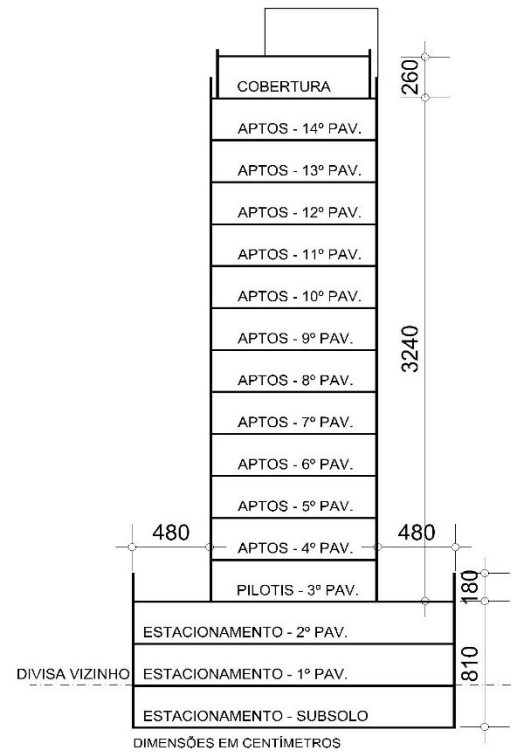
a projeção do lote, exceto a área do afastamento frontal. O terceiro pavimento é destinado ao pilotis (área de lazer do edifício) e apresenta uma área descoberta sobre a laje de cobertura do pavimento inferior. Do quarto ao décimo quarto pavimentos estão localizadas as unidades residenciais, sendo duas unidades por pavimento, como no modelo do Buritis. O décimo quinto pavimento possui as coberturas da unidade residencial abaixo e o décimo sexto é o nível da caixa d'água. O afastamento frontal possui 4,00 metros e os laterais e de fundos possuem 4,80 metros.

Figura 44 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – lote 20x30m



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 45 – Corte transversal do modelo de edifício da ZCBH – lote 20x30m

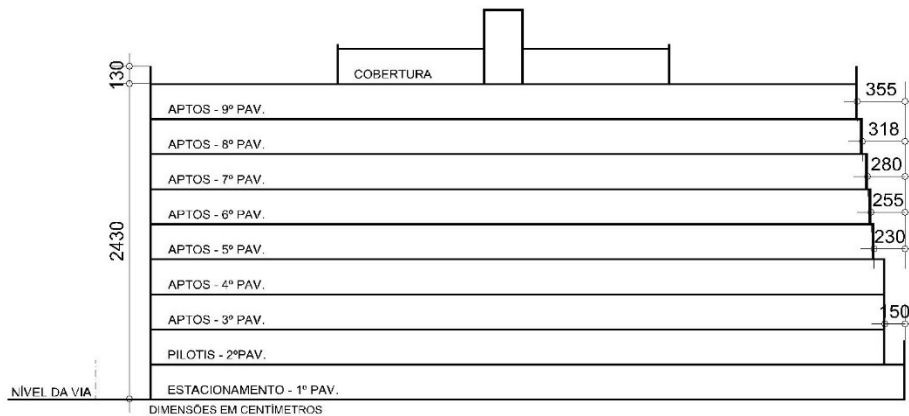


Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Por fim, o modelo do lote 10x60m foi definido com onze pavimentos a partir do nível da rua (FIGURAS 46 e 47). O primeiro pavimento foi destinado a garagem e ocupa toda a projeção do lote, exceto a área do afastamento frontal. O segundo pavimento é destinado ao pilotis (área de lazer do edifício) e apresenta uma área descoberta sobre a laje de cobertura do pavimento inferior. Do terceiro ao nono pavimentos estão localizadas as unidades residenciais. O décimo pavimento possui as coberturas da unidade residencial abaixo e o décimo primeiro é o nível da caixa d'água. O afastamento frontal para os lotes da ZCBH é de 4,00m metros. Os afastamentos laterais e de fundos são diferentes para cada pavimento. O segundo, o terceiro e o quarto pavimentos possuem afastamentos laterais e de fundos de 1,50 metros. Do quinto ao

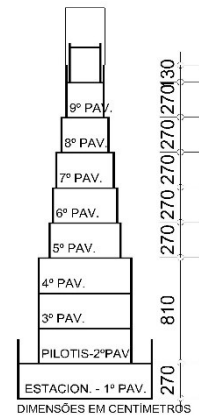
nono pavimentos, os afastamentos variados de acordo com a altura respectiva, variando-se de 2,30 metros a 3,55 metros. As coberturas apresentam afastamentos laterais de 3,80 metros.

Figura 46 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – lote 10x60m



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 47 – Corte transversal do modelo de edifício da ZCBH – lote 10x60m



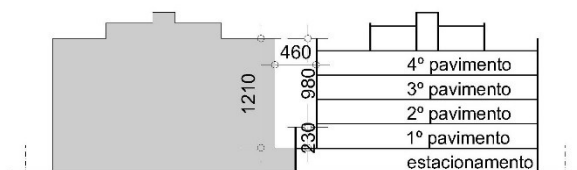
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

4.1.5 Declividades do terreno

Os modelos dos edifícios e entorno foram inseridos em uma malha topográfica equivalente a 0% (terrenos planos), 10%, 20%, 30% e 47,5% de declividade longitudinal do terreno. Portanto, a variação da interferência ocorre, principalmente, para os ambientes localizados aos fundos do edifício.

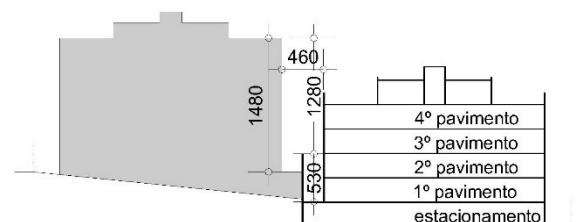
Abaixo seguem cortes dos edifícios do Buritis para cada declividade (FIGURAS 48 e 52).

Figura 48 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 0%



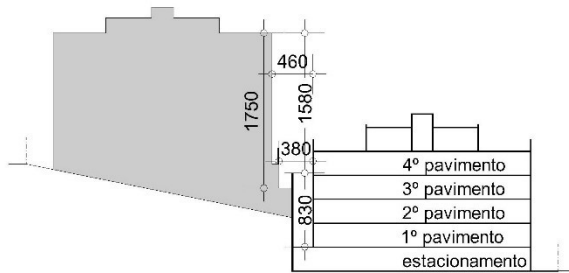
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 49 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 10%



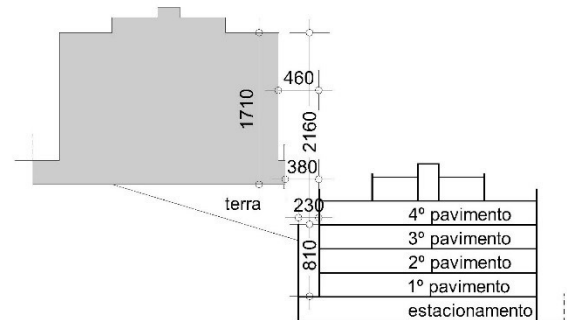
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 50 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 20%



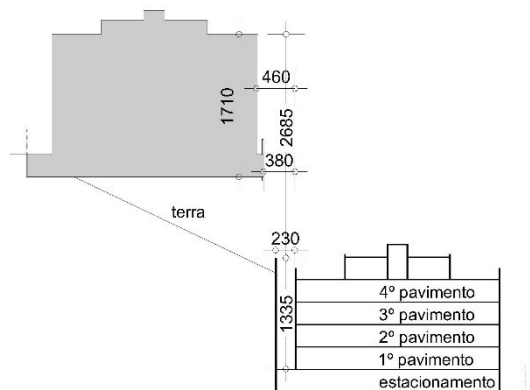
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 51 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 30%



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 52 – Corte longitudinal do modelo de edifício do Buritis – declividade 47,5%

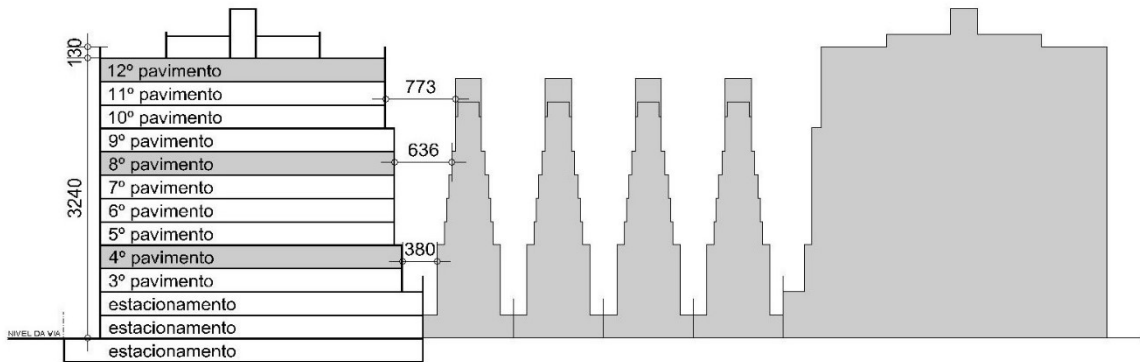


Fonte: elaborada pela autora, 2018.

A partir destes cortes verifica-se a proximidade e altura dos muros de arrimos na parte posterior do lote em consequência dos altos valores de declividade do terreno. Por mais que este modelo apresente uma tipologia edilícia baixa, a relação do muro de arrimo e sua proximidade à edificação caracteriza-se como um fosso de iluminação não considerado pela legislação. Vale ressaltar que a legislação é permissiva a esta situação e não apresenta algum item que conteste esta relação do muro de arrimo e afastamento lateral.

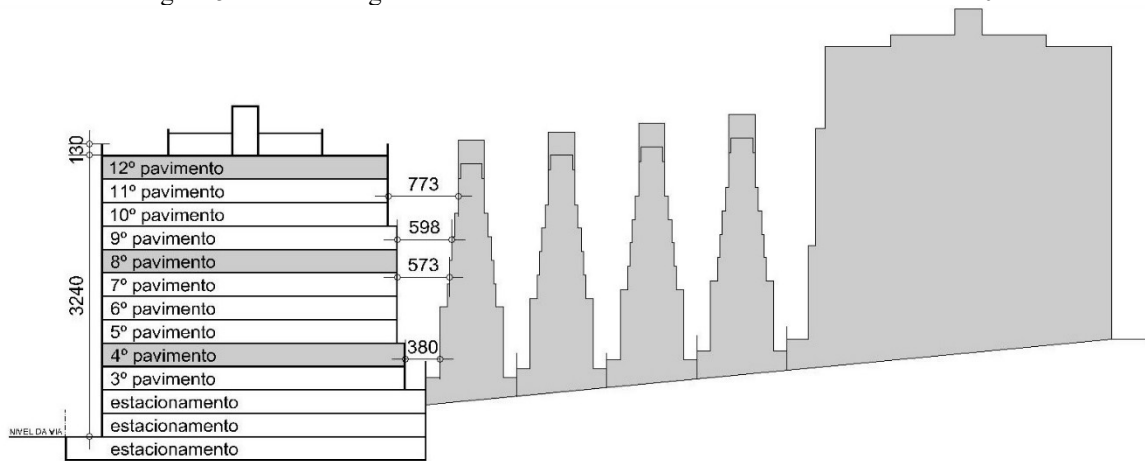
Nos modelos dos bairros da ZCBH ocorre a mesma situação. Abaixo seguem cortes dos edifícios do ZCBH para cada declividade (FIGURAS 53 a 57).

Figura 53 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 0%



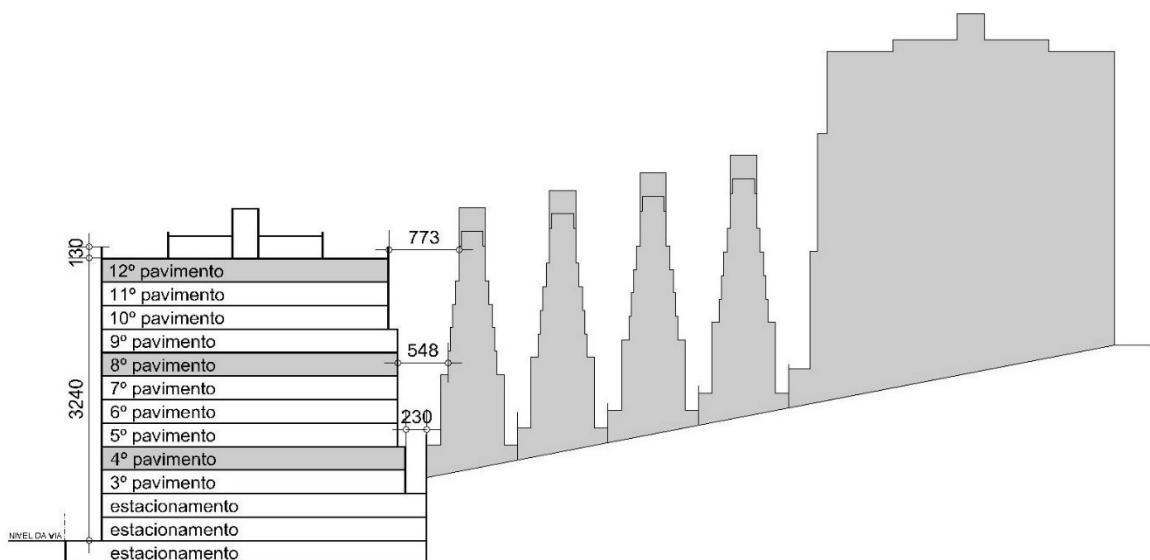
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 54 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 10%



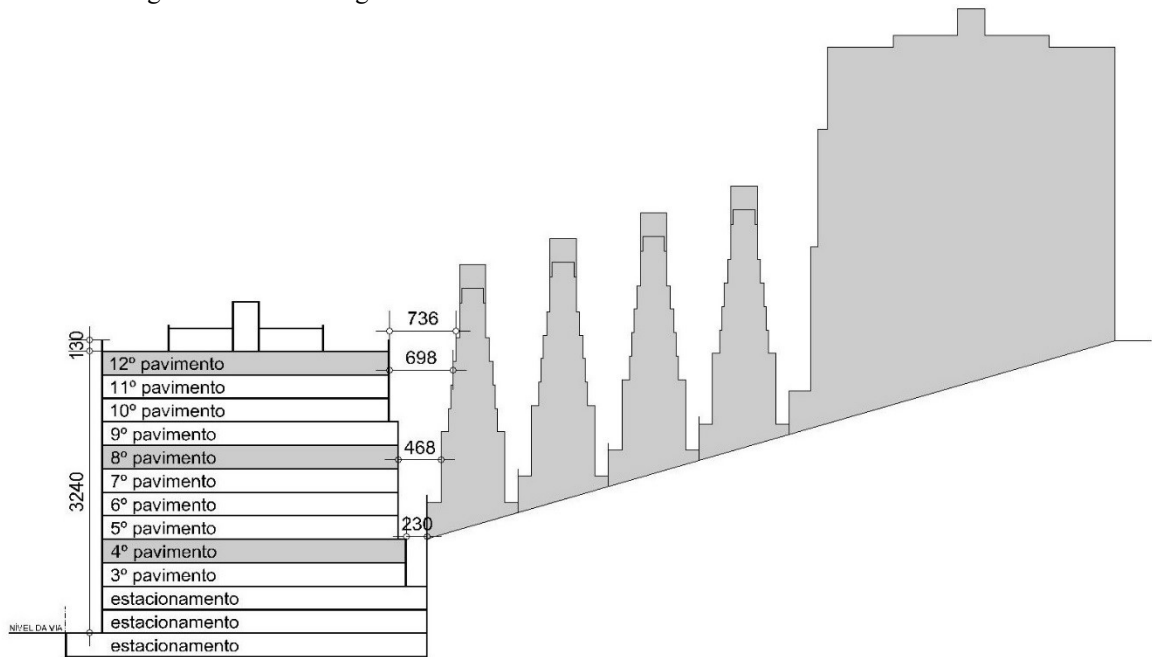
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 55 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 20%



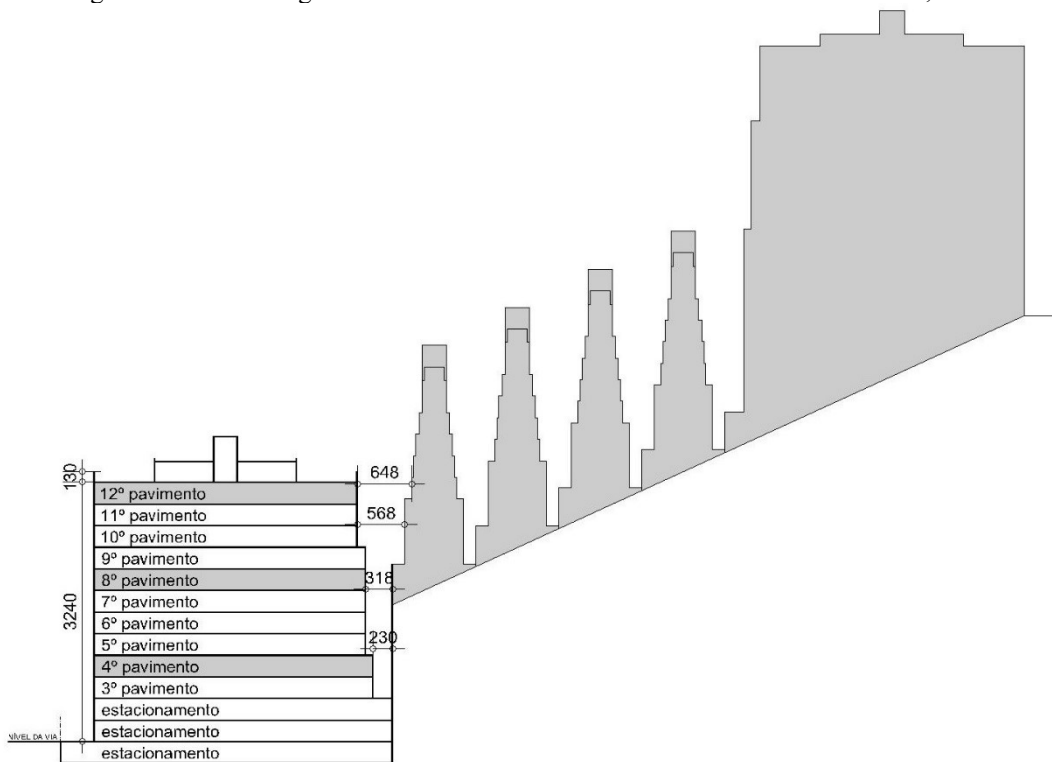
Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 56 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 30%



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 57 – Corte longitudinal do modelo de edifício da ZCBH – declividade 47,5%



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

4.1.6 Dimensão dos ambientes

As dimensões dos ambientes foram determinadas a partir da análise de 168 plantas de projetos disponibilizados em sites de 48 empresas de engenharia e construção civil. Elas foram classificadas de acordo com o padrão construtivo A, B e C, tendo cada padrão, respectivamente, 43, 91 e 34 amostras.

A Tabela 15 apresentam os valores médios das dimensões para os quartos e salas encontrados para cada padrão.

Tabela 15 – Dimensões médias para os quartos e sala de acordo com padrão construtivo

Padrão	Quarto			Sala		
	Largura	Profundidade	Área	Largura	Profundidade	Área
A	2,82m	3,20m	9,02m ²	5,36m	4,36m	23,37m ²
B	2,74m	3,04m	8,33m ²	4,45m	4,06m	18,07m ²
C	2,62m	2,97m	7,78m ²	3,85m	3,67m	14,13m ²

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

A partir desta tabela verifica-se que quanto mais alto o padrão construtivo do edifício, maior é a área dos ambientes. Ou seja, os edifícios com padrão A apresentam apartamentos maiores que os apartamentos do padrão B e este último maiores que os apartamentos do padrão C.

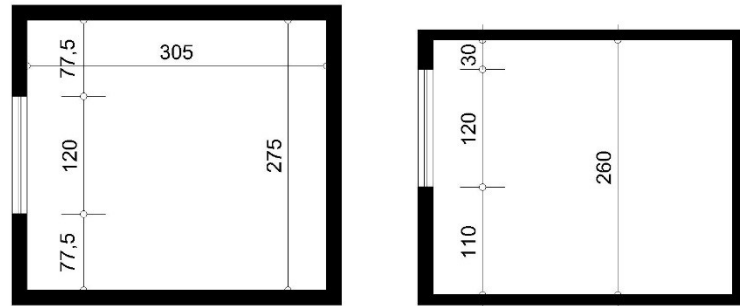
Nesta tabela também é possível verificar a relação da largura e profundidade. Independente do padrão construtivo, os quartos são mais profundos do que largos enquanto ocorre o contrário nas salas – elas são mais largas que profundas. É importante fazer esta análise para poder verificar a distribuição da luz natural de acordo com a relação das dimensões.

Vale destacar que o padrão C costuma não apresentar a área mínima de 8,00 m² para os quartos exigida pelo Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009). O restante das dimensões e áreas dos ambientes encontram-se dentro do exigido pela norma.

Além do padrão construtivo, a planilha elaborada apresenta os bairros em que cada projeto está localizado. Desta forma, foi possível enquadrar cada área de estudo em um padrão construtivo e definir as dimensões dos ambientes.

O bairro Buritis apresentou 16 amostras, sendo que 15 delas estavam enquadradas no padrão B e 1 no padrão C. Portanto, este bairro apresenta edificações inseridas no padrão B. As dimensões foram arredondadas e, desta forma, determinou-se o quarto com largura de 2,75 metros e comprimento de 3,05 metros, e a sala com largura de 4,45 metros e comprimento de 4,05 metros (FIGURAS 58 e 59).

Figura 58 – Planta e corte com dimensões do quarto do modelo do Buritis



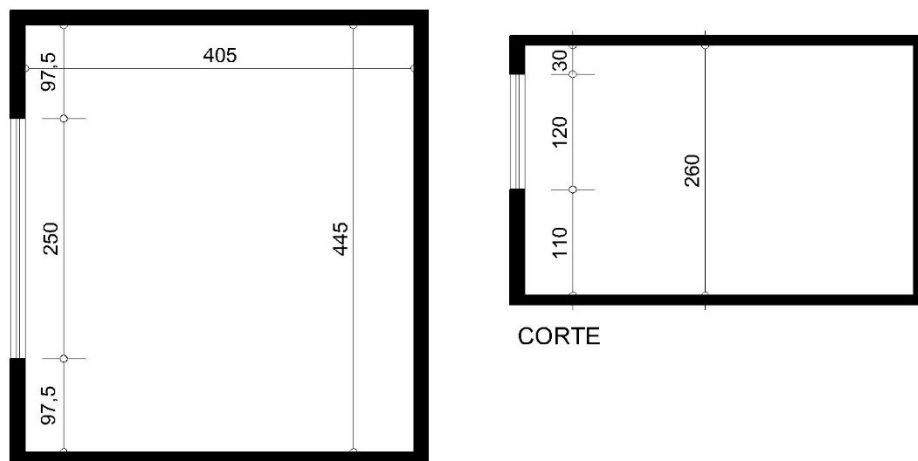
PLANTA

CORTE

DIMENSÕES EM CENTÍMETROS

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 59 – Planta e corte com dimensões da sala do modelo do Buritis



PLANTA

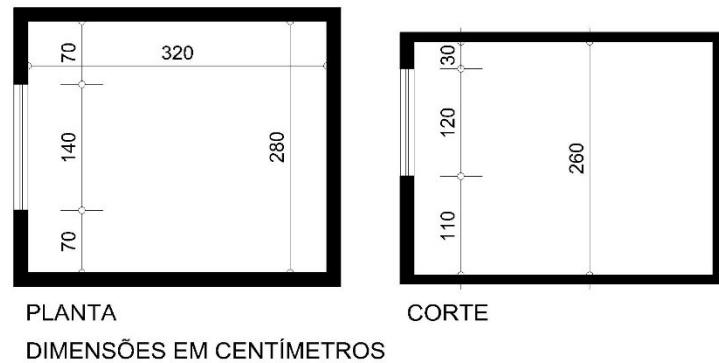
CORTE

DIMENSÕES EM CENTÍMETROS

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

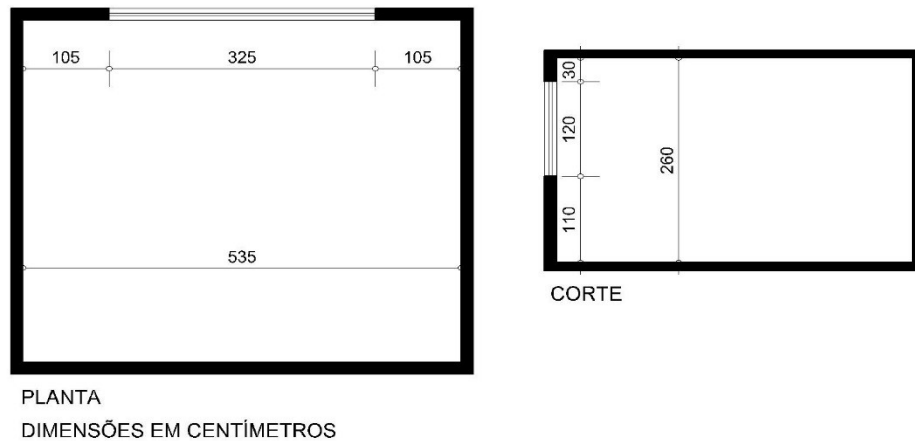
Para os bairros localizados na ZCBH foram encontradas 21 amostras, sendo 18 enquadradas no padrão construtivo A e 3 no padrão B. Portanto, as edificações da ZCBH são classificadas como padrão A. As dimensões também foram arredondadas como no bairro Buritis. O quarto foi determinado com 2,80 metros de largura e 3,20 metros de comprimento e a sala com largura de 5,35 metros e comprimento de 4,35 metros (FIGURAS 60 e 61).

Figura 60 – Planta e corte com dimensões do quarto do modelo da ZCBH



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 61 – Planta e corte com dimensões do quarto do modelo da ZCBH

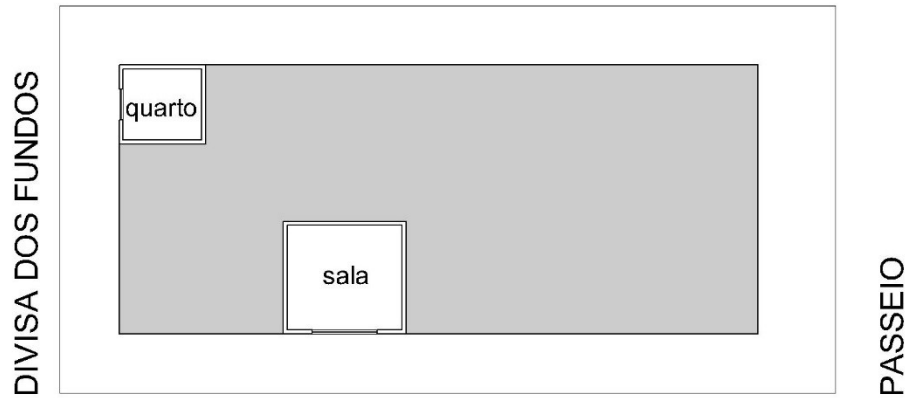


Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Determinou-se o pé-direito mínimo estabelecido pelo Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009) de 2,60 metros para todos os ambientes.

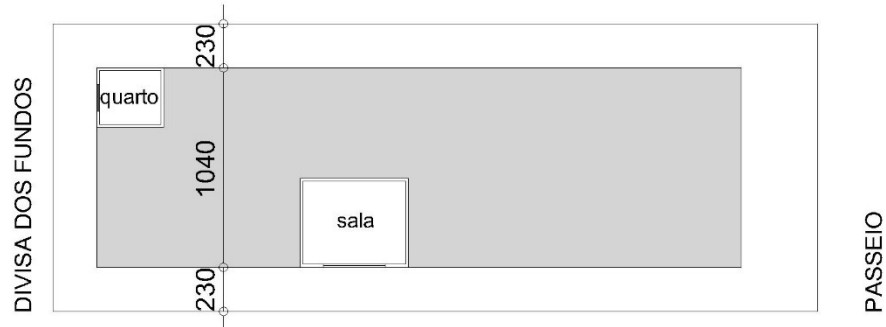
Os ambientes analisados nesta pesquisa estão inseridos na unidade residencial localizada na parte posterior dos edifícios modelos. Essa determinação partiu da premissa de que esses ambientes localizados na porção dos fundos e com entorno edificado de terrenos em declive podem apresentar maior obstrução do céu tendo maior redução na admissão de luz natural (FIGURAS 62 e 65).

Figura 62 – Localização dos ambientes em planta no modelo do Buritis



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 63 – Localização dos ambientes em planta do pavimento inferior no modelo da ZCBH



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 64 – Localização dos ambientes em planta do pavimento intermediário no modelo da ZCBH



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Figura 65 – Localização dos ambientes em planta do pavimento superior no modelo da ZCBH



Fonte: elaborada pela autora, 2018.

De acordo com as Figuras 63 a 65 do modelo do edifício da ZCBH fica claro o escalonamento dos pavimentos, ou seja, quanto mais alto o pavimento, maiores serão seus afastamentos laterais e de fundos.

4.1.7 Dimensão das janelas

A partir do levantamento das esquadrias encontradas no mercado e da área do ambiente definido no subitem anterior, foram definidas as dimensões das janelas. O cálculo foi baseado no estabelecido pelo Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009)-devendo a área da abertura ser equivalente a 1/6 da área do piso.

Para os quartos dos dois modelos, foram encontradas esquadrias que apresentavam áreas ligeiramente superiores ao exigido dentro do levantamento de mercado. Como as áreas das janelas das salas eram superiores ao encontrado no mercado, foi estabelecido a mesma altura da janela dos quartos para as janelas das salas e, a partir da área necessária de abertura, encontraram-se as larguras, arredondando-se o valor, quando necessário. Mesmo que a disponibilidade de luz natural dependa da geometria da janela, optou-se por estabelecer o uso da mesma altura das janelas dos quartos.

A Tabela 16 apresenta as dimensões das janelas estabelecidas para cada ambiente, bem como as áreas úteis de iluminação natural para cada tipo de esquadrias e as áreas mínimas estabelecidas pelo pré-requisito do RTQ-R de 12,5% a área do ambiente.

Tabela 16 – Dimensões das janelas, áreas úteis de iluminação natural e áreas mínimas estabelecidos pelo RTQ-R para cada ambiente

Modelos	Ambiente	Dimensão janela (lxa/p) - metros	% abertura para iluminação natural	Área útil de iluminação natural (m²)	Área mínima de iluminação natural pelo RTQ-R (m²)
Buritís	Quarto	1,20x1,20/1,10	0,45	0,65	1,05
	Veneziana				
	Quarto	1,20x1,20/1,10	0,80	1,15	1,05
	Sala	2,50x1,20/1,10	0,70	2,10	2,25
ZCBH	Quarto	1,40x1,20/1,10	0,45	0,76	1,12
	Veneziana				
	Quarto	1,40x1,20/1,10	0,80	1,34	1,12
	Sala	3,25x1,20/1,10	0,70	2,73	2,91

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

A partir desta tabela, verifica-se que apenas os quartos de ambos os modelos atenderam ao pré-requisito do RTQ-R por apresentar área útil de iluminação natural igual ou superior a 12,5% à área do piso. Tanto os quartos com janela tipo veneziana e as salas apresentaram área útil de iluminação natural inferior ao exigido pelo RTQ-R.

As janelas de todos os ambientes foram centralizadas em suas larguras. Na construção do edifício modelo foram desconsiderados quaisquer elementos de controle de admissão de luz natural nas janelas ou nas fachadas como cortinas, toldos, proteções, venezianas ou outros sistemas que pudessem, eventualmente, interferir na admissão da luz natural no ambiente.

4.2 Resultados dos cálculos de iluminação natural

Os resultados dos cálculos da iluminação natural serão apresentados em separado por cada norma e compilados em gráficos diferenciados por pavimentos (inferior, intermediário e superior) e por modelo de edificação para facilitar a análise.

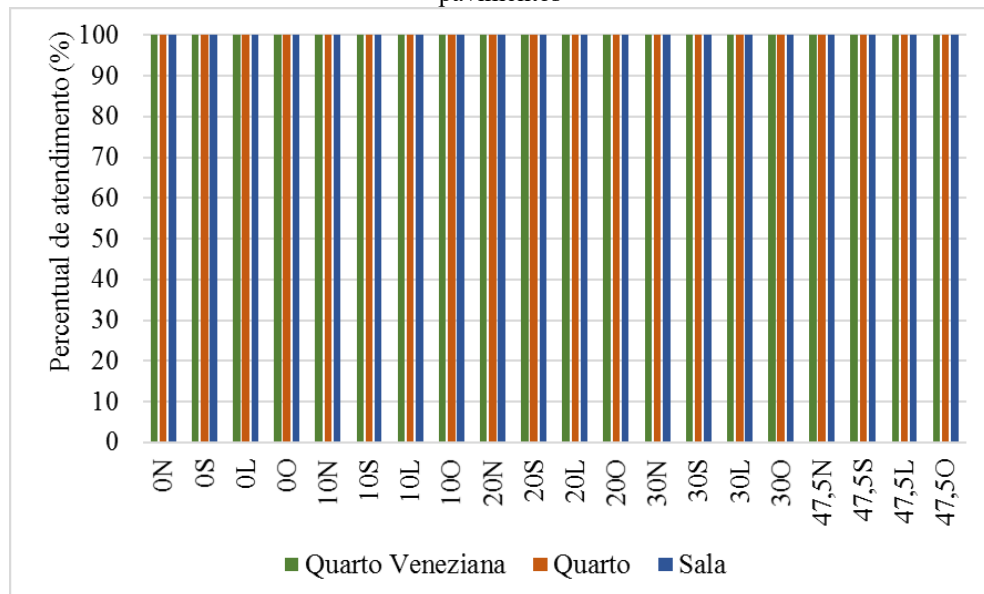
4.2.1 Apresentação e análise de resultados dos métodos da NBR 15.575-1

Para a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) os resultados foram obtidos para três diferentes metodologias: prescritiva, por simulação computacional usando-se um arquivo climático SWERA para os dias estabelecidos na norma e por simulação computacional para os dias com nebulosidade mais próxima a 50%. Os resultados são apresentados em forma de gráficos demonstrando o percentual de atendimento de cada ambiente (quarto com veneziana, quarto e sala) para uma respectiva declividade do terreno e orientação geográfica. Considera-se que esta compilação por meio do percentual de atendimento gera uma melhor visualização dos resultados do que a apresentação dos valores de iluminância, já que estes possuem valores com grande variação. Os gráficos referentes aos valores de iluminância encontram-se no Apêndice A.

O valor do percentual de atendimento é referente aos quatro horários estabelecidos pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a). Caso o ambiente possua o valor mínimo ou superior de iluminância de 60 lux no centro do ambiente para todos os quatro horários, ele apresenta 100% de atendimento à norma. Caso o ambiente possua o valor mínimo para três horários, ele apresenta 75% de atendimento. Portanto, cada horário da norma representa 25% de atendimento.

Abaixo, seguem os resultados do método prescritivo indicado na norma (FIGURA 66). Como todos os ambientes atenderam ao nível mínimo de 60 lux no ponto central do ambiente, o gráfico de atendimento é representativo para todos os modelos (Buritis e ZCBH) e todos os pavimentos, sendo apresentado apenas um gráfico.

Figura 66 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 para todos os modelos e todos os pavimentos



Pelo método prescritivo indicado na norma, 97% dos valores dos pontos centrais dos ambientes de quarto e sala atendem ao nível Superior de desempenho estabelecido na norma (iluminâncias superiores a 120 lux), sendo o valor mínimo calculado de 101 lux e o máximo de 5.340 lux, para qualquer orientação e declividade consideradas.

Observa-se que o método apresentado na NBR 15.215-3 (aqui denominado de prescritivo) não permite verificar o efeito da topografia, já que o valor de iluminância se mantém constante nos pavimentos que recebem apenas luz refletida do entorno, apresentando alguma diferença de valores apenas quando há ou não visão de céu.

Para possibilitar uma comparação visual dos resultados dos métodos de simulação computacional para os dias definidos pela norma e para dias com nebulosidade média mais próxima de 50%, os gráficos para o modelo Buritis foram dispostos lado a lado (FIGURAS 67 a 72).

Figura 67 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento superior – 60 lux

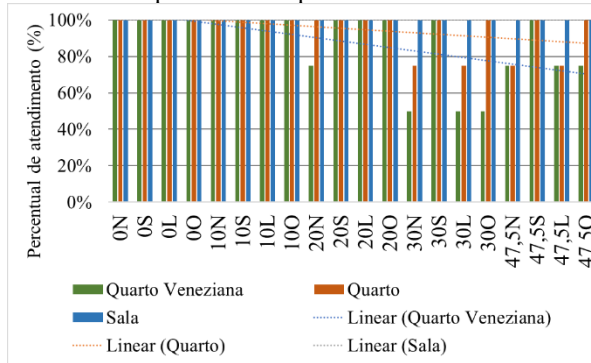


Figura 68 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento superior – 60 lux

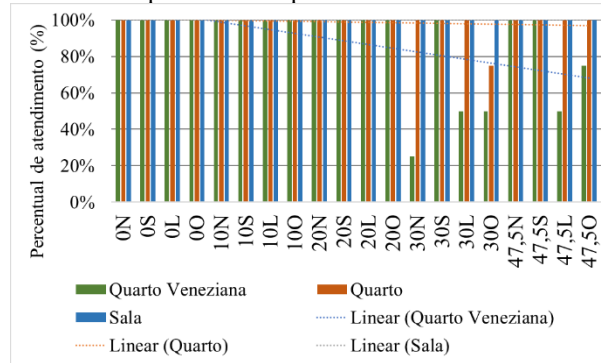


Figura 69 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux

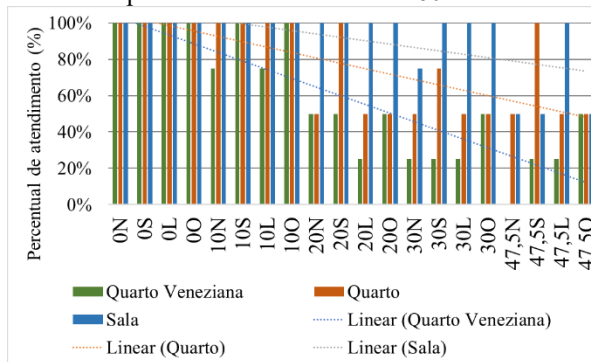


Figura 70 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux

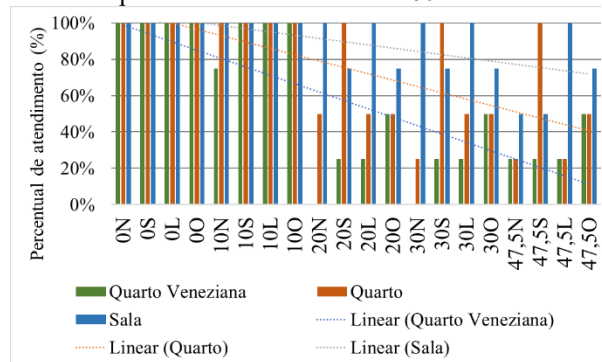


Figura 71 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento inferior – 60 lux

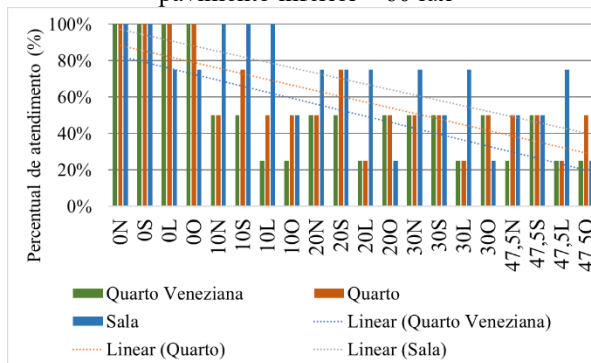
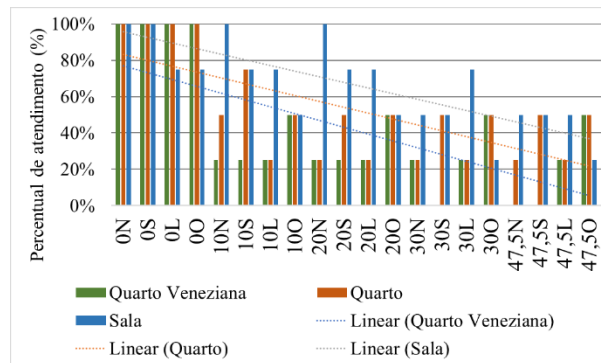


Figura 72 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento inferior – 60 lux



Verifica-se que o tipo de céu considerado na simulação computacional possui influência nos resultados de atendimento à NBR 15.575-1, para 60 lux mínimo no Bairro Buritis, sendo os percentuais de atendimento à Norma bastante inferiores se comparados ao método de cálculo da NBR 15.215-3.

Para o modelo do Buritis caracterizado por edifícios baixos e próximos, há uma redução gradual do percentual de atendimento pelos pavimentos, sendo que 52% do total dos ambientes do Buritis analisados para os dois tipos de céu atenderam à norma.

Já para a ZCBH, os resultados são apresentados nas Figuras de 73 a 78.

Figura 73 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento superior – 60 lux

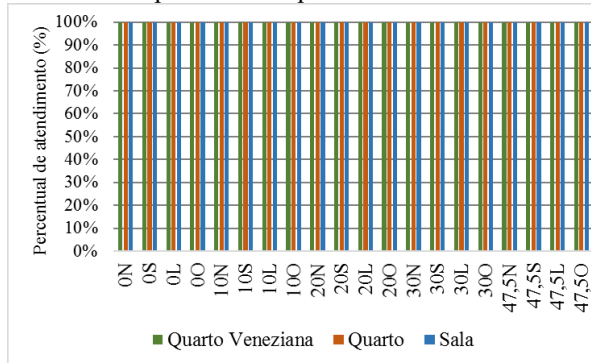


Figura 74 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento superior – 60 lux

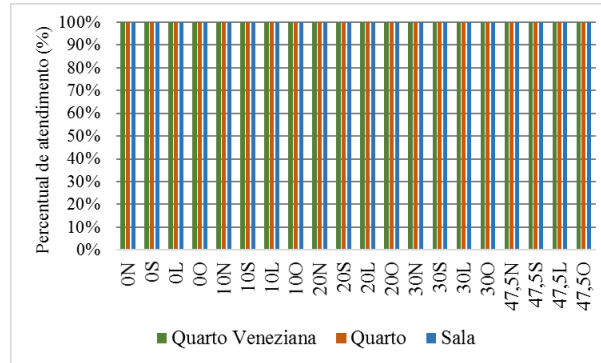


Figura 75 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux

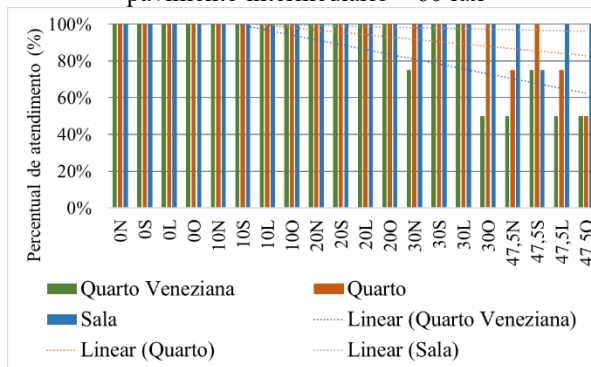


Figura 76 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux

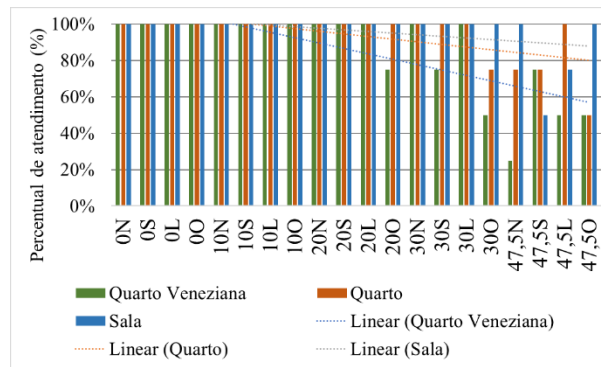


Figura 77 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux

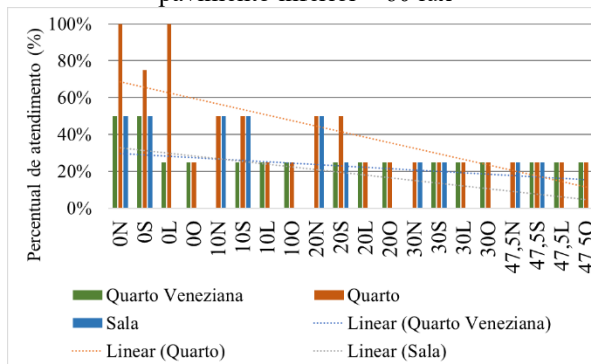
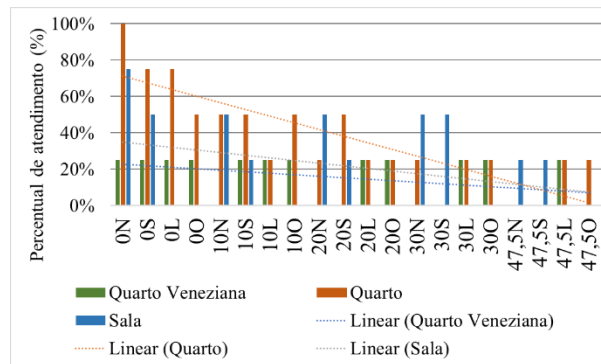


Figura 78 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux



Verifica-se na ZCBH também que o método de simulação apresenta um menor percentual de atendimento à Norma do que pelo método de cálculo manual, independentemente do tipo de dia considerado com atendimento em 62% do total dos ambientes da ZCBH, valor superior ao encontrado no Buritis, mas ainda bastante baixo, considerando-se a qualidade de iluminação natural provida pelo modelo de ocupação analisado. Para os pavimentos inferiores,

vale destacar que os valores de atendimento encontrados são de 3% para os dias estabelecidos na norma e 2% para os dias de nebulosidade média.

Nota-se, em ambas as regiões da cidade, que o percentual de atendimento aumenta quando o ambiente analisado se encontra em pavimentos superiores. Para os modelos da ZCBH, os ambientes do pavimento superior apresentaram 100% de atendimento enquanto que os ambientes do Buritis apresentaram atendimento de 82% para os dias estabelecidos na norma e 90% para os dias de nebulosidade média. Os pavimentos intermediários de ambos os modelos apresentaram redução de atendimento, sendo os ambientes do Buritis em número maior que os ambientes da ZCBH. Dos 169 ambientes que não atenderam à norma para o modelo do Buritis (tanto para os dias da norma quanto para os dias com nebulosidade média), 10% encontram-se no pavimento superior, 34% encontram-se no pavimento intermediário e 56% encontram-se no pavimento inferior. Para o modelo da ZCBH, dos 140 ambientes que não atenderam à norma para os dois métodos de análise, 16% encontram-se no pavimento intermediário e 84% encontram-se no pavimento inferior.

Também foi realizada uma comparação dos percentuais de atendimento em relação à topografia. Para o modelo da ZCBH, os ambientes localizados no modelo topográfico 0% apresentaram 72% de atendimento para os dias estabelecidos na norma e 69% para os dias de nebulosidade média. Os ambientes do Buritis apresentaram 94% de atendimento para os dois dias. Para a declividade de 47,5%, houve um atendimento de 44% para os ambientes do modelo da ZCBH e dias estabelecidos na norma e 42% para os dias de nebulosidade média. Para o modelo do Buritis, 25% dos ambientes dos dias estabelecidos na norma obtiveram atendimento enquanto 33% para os dias de nebulosidade média. Há uma redução no atendimento quanto maior a declividade do terreno. Os valores de atendimento para cada declividade serão apresentados nas Tabelas 17 a 19.

A partir desta análise, é interessante também fazer uma comparação entre os dois modelos analisados. No caso da ZCBH, os maiores afastamentos laterais e de fundos que são diferentes para cada pavimento, contribuíram para melhor atendimento da luz natural para os pavimentos superior e intermediário. Já para o caso do pavimento inferior, as edificações altas do entorno aliadas a menores afastamentos laterais e de fundos, reduziram ainda mais o percentual de atendimento.

Nas avaliações feitas por simulação computacional é possível verificar claramente a influência da topografia. Para os ambientes do modelo do Buritis, o pavimento superior não apresenta atendimento a partir da declividade de 20% para os dias estabelecidos pela norma e a partir de 30% para os dias com nebulosidade média. Para o pavimento intermediário, o não

atendimento se inicia a partir da declividade de 10%. No pavimento inferior, há ambientes que não atendem em nenhuma declividade, inclusive em terrenos planos. No modelo da ZCBH, a influência da topografia só é notada nos pavimentos intermediário e inferior. No pavimento intermediário, o não atendimento se apresenta a partir da declividade de 30% para os dias estabelecidos pela norma e de 20% para os dias com nebulosidade média. Para o pavimento inferior, quase nenhum ambiente apresenta atendimento, inclusive em terrenos planos.

De acordo com as orientações geográficas, não foi notada uma tendência em específico. Apenas para o modelo do Buritis, verifica-se que a fachada Sul apresenta um percentual de atendimento ligeiramente superior às demais fachadas. Este fato se deve à admissão de luz natural potencializada pela contribuição da parcela de luz refletida pelo entorno, sendo, neste caso, a parcela refletida da fachada Norte do edifício posicionado em frente a estas janelas.

Percebe-se que os ambientes analisados apresentam diferentes percentuais de atendimento. Os quartos que apresentam janelas com veneziana possuem os menores percentuais de atendimento enquanto as salas apresentam os maiores. Para os modelos do Buritis, a diferença se apresenta de forma mais clara. Para os percentuais de atendimento dos dias da norma, os quartos com veneziana apresentam 79% de atendimento, enquanto os quartos e as salas apresentam 83% e 89%, respectivamente. Para os percentuais de atendimento dos dias com nebulosidade média, os quartos com veneziana apresentam 81% de atendimento, enquanto os quartos e as salas apresentam 86% e 87%, respectivamente. Para os modelos da ZCBH, esta diferença já não é tão grande. Para os percentuais de atendimento dos dias da norma, os quartos com veneziana apresentam 86% de atendimento, enquanto os quartos e as salas apresentam o mesmo percentual, de 88%. Para os percentuais de atendimento dos dias com nebulosidade média, os quartos com veneziana apresentam 85% de atendimento, enquanto os quartos e as salas apresentam 87% e 88%, respectivamente.

Entre as duas metodologias apresentadas para simulação computacional, são encontradas pequenas diferenças no atendimento a norma. Para o modelo do Buritis, 52% dos ambientes analisados de acordo com os dias estabelecidos pela norma atendem aos 100% de atendimento exigido contra 54% dos ambientes analisados de acordo com os dias de nebulosidade média. Para o modelo da ZCBH, 62% dos ambientes analisados de acordo com os dias estabelecidos pela norma atendem aos 100% de atendimento exigido contra 60% dos ambientes analisados de acordo com os dias de nebulosidade média.

4.2.2 Apresentação e análise de resultados do método do RTQ-R

Os resultados do método do RTQ-R (BRASIL, 2012) são apresentados em forma de gráficos demonstrando o percentual da área de cada ambiente (quarto com veneziana, quarto e sala) que atendem à exigência de 60 lux em 70% do tempo de uso com iluminação natural. O valor percentual mínimo para o atendimento ao RTQ-R é de 70% da área do ambiente, marcado por uma linha preta no gráfico. Os gráficos são separados por pavimentos e todos eles apresentam os ambientes com sua respectiva declividade do terreno e orientação geográfica.

Para possibilitar uma comparação visual dos resultados entre os modelos de edifícios, os gráficos foram dispostos lado a lado (FIGURAS 79 a 84).

Figura 79 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / Buritis – pavimento superior

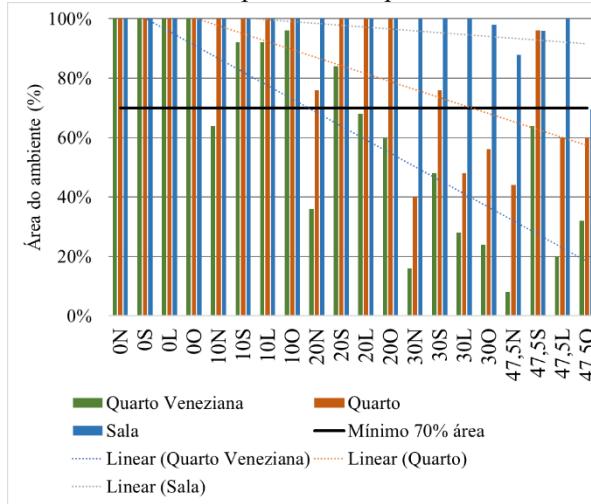


Figura 80 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / ZCBH – pavimento superior

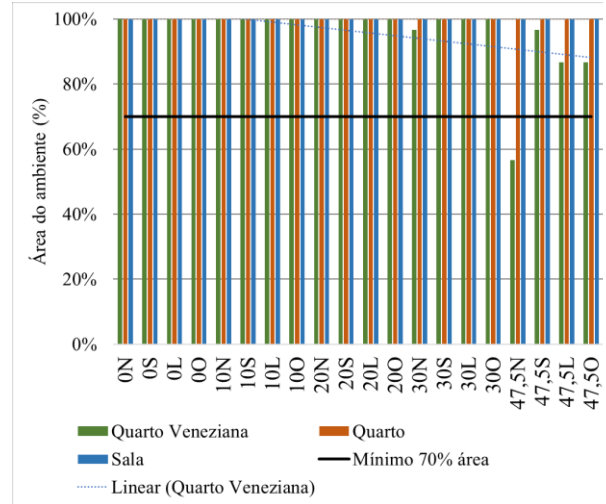


Figura 81 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / Buritis – pavimento intermediário

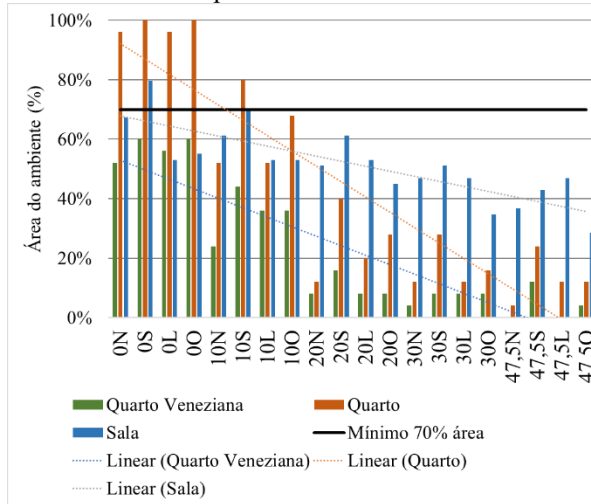


Figura 82 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / ZCBH – pavimento intermediário

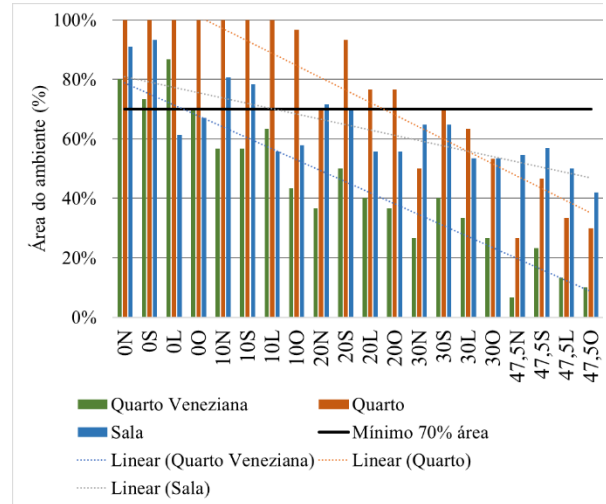


Figura 83 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / Buritis – pavimento inferior

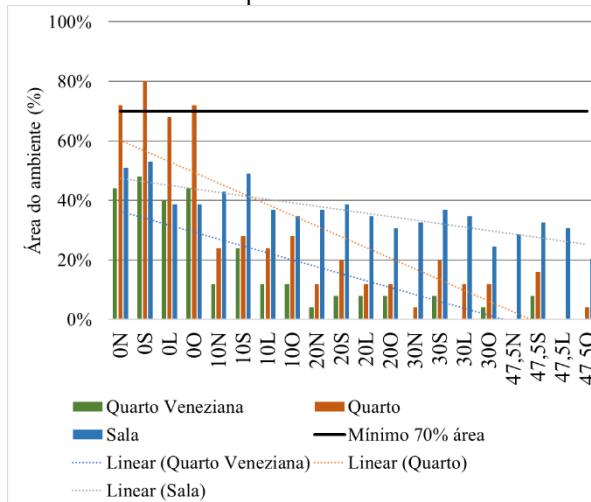
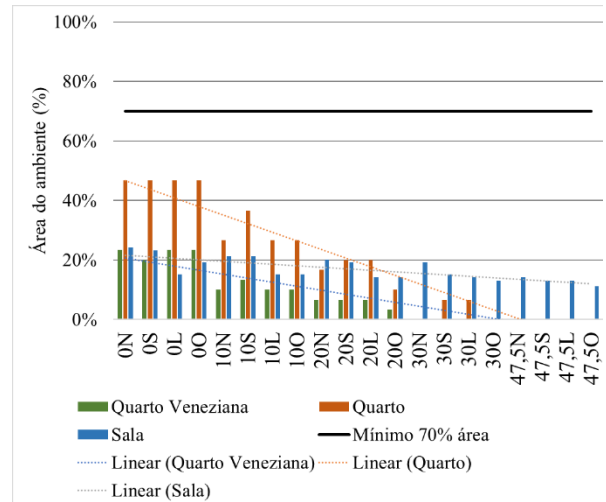


Figura 84 – Percentual de atendimento ao RTQ-R / ZCBH – pavimento inferior



Em relação à localização vertical, é relevante observar que à medida que os ambientes analisados passam a se localizar em pavimentos mais elevados, a autonomia de luz se amplia devido a redução da obstrução do céu favorecendo a admissão de luz natural.

A partir da análise dos gráficos verificou-se que 5% dos ambientes do modelo do Buritis e 0% dos ambientes do modelo da ZCBH localizados no pavimento inferior atenderam ao requisito para a bonificação junto ao RTQ-R (BRASIL, 2012), sendo que os ambientes que tiveram atendimento estão localizados em terrenos planos e apenas no quarto sem veneziana, que apresenta menor obstrução vertical.

O modelo do Buritis apresentou 10% dos ambientes com atendimento aos requisitos para bonificação junto ao RTQ-R para o pavimento intermediário enquanto o modelo da ZCBH apresentou 38%. Dentre todos os modelos deste pavimento, destacam-se os quartos nas menores declividades como ambientes com os maiores níveis de atendimento ao Regulamento.

Já para o pavimento superior, apenas um ambiente não atendeu aos requisitos do RTQ-R no modelo da ZCBH, enquanto no Buritis, apenas 68% dos ambientes atenderam aos requisitos. Isso demonstra que os parâmetros do Código de Edificações (PMBH, 2009) que estabelecem a relação de 1/6 da área do piso para o vão de abertura não atendem aos requisitos do RTQ-R (BRASIL, 2012) nas situações com entorno. Este resultado difere do obtido por Guedes (2012) que não considerou o entorno e que encontrou atendimento aos requisitos para todas as situações analisadas.

É interessante observar que os valores de Autonomia de Luz Natural das salas do modelo do Buritis a partir da declividade de 10% são sempre superiores aos valores dos quartos, demonstrando a maior influência da topografia nestes últimos ambientes na redução do atendimento aos requisitos do RTQ-R. Entretanto, as salas dos pavimentos inferior e intermediário nos terrenos planos apresentam valores inferiores aos dos quartos por apresentarem maior obstrução horizontal (fachada lateral do edifício vizinho). No caso do modelo da ZCBH, observa-se que os valores de Autonomia de Luz Natural dos quartos para as declividades de 0% e 10% e pavimentos inferior e intermediário são sempre superiores que os valores dos outros dois ambientes.

Vale destacar a influência da veneziana para admissão de luz natural no ambiente. Percebe-se que em todos os casos em que não se atinge 100% da área do ambiente, os quartos com veneziana apresentam valores inferiores que os quartos sem veneziana. Isso já era de se esperar, já que a área de abertura desobstruída para uma janela com veneziana é de 45% enquanto que para a janela de correr é de 80%.

Os resultados mostraram que os ambientes com orientação Sul nos dois modelos de edifícios e em todas as declividades apresentaram maior Autonomia de Luz Natural em comparação com as demais orientações devido à admissão de luz natural potencializada pela contribuição da parcela de luz refletida pelo entorno, sendo, neste caso, a parcela refletida da fachada Norte do edifício posicionado em frente a estas janelas. Esta diferença se torna maior nos modelos de declividade de 20%, 30% e o de 47% por apresentarem maiores obstruções externas e, conseqüentemente, maiores parcelas de luz refletida. Portanto, verifica-se que a refletância do entorno é uma importante fonte de contribuição para a iluminação natural, fato observado por Araújo e Cabús (2007), Pereira, Pereira e Claro (2008) e Santos, Auer e Souza (2017).

Em relação à topografia os resultados apresentaram redução da Autonomia de Luz Natural com o aumento da declividade do terreno. Quanto maior a declividade do terreno, menor a admissão de luz natural no ambiente interno com entorno edificado. Para o modelo do Buritis, no modelo topográfico i0, correspondente aos terrenos planos, 56% dos ambientes atenderam ao requisito enquanto o modelo i10 apenas 33% dos ambientes atenderam aos requisitos. Os modelos i20, i30 e i47,5 apresentaram respectivamente uma taxa de atendimento de 25%, de 14% e de 11%. Já o modelo da ZCBH apresenta percentuais de atendimento maiores que no Buritis. Para i0, 61% dos ambientes atenderam aos requisitos do RTQ-R enquanto o atendimento foi de 50% para os modelos i10 e i20. Os modelos i30 e i47,5 apresentaram respectivamente uma taxa de atendimento de 36% e de 31%.

4.3 Comparação dos resultados das simulações computacionais

Para melhor visualização e comparação dos resultados das simulações computacionais, foram elaboradas cinco tabelas apresentadas abaixo. A Tabela 17 apresenta os percentuais de atendimento para todos os ambientes. A Tabela 18 apresenta os percentuais de atendimento de acordo com o modelo topográfico (i0, i10, i20, i30 e i47,5). Por fim, a Tabela 19 apresenta os resultados dos percentuais de atendimento para cada pavimento (inferior, intermediário e superior).

Tabela 17 – Tabela comparativa dos percentuais de atendimento para todos os ambientes de cada modelo e de cada método de cálculo

	BURITIS	ZCBH
NBR prescritivo	100%	100%
NBR dias estabelecidos na norma	52%	62%
NBR dias de nebulosidade média	54%	60%
RTQ-R	28%	46%

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

Na Tabela 17 percebe-se que o RTQ-R é mais restritivo que a NBR por apresentar percentuais de atendimento inferiores a esta. Também se nota que o modelo da ZCBH apresenta um maior atendimento que o modelo do Buritis, demonstrando que este modelo é mais adequado para a disponibilidade de luz natural.

Tabela 18 – Tabela comparativa dos percentuais de atendimento de cada modelo topográfico do Buritis e da ZCBH para cada método de cálculo

		i0	i10	i20	i30	i47,5
Buritis	NBR prescritivo	100%	100%	100%	100%	100%
Buritis	NBR dias estabelecidos na norma	94%	69%	44%	28%	25%
Buritis	NBR dias de nebulosidade média	94%	67%	44%	31%	33%
Buritis	RTQ-R	56%	33%	25%	14%	11%
ZCBH	NBR prescritivo	100%	100%	100%	100%	100%
ZCBH	NBR dias estabelecidos na norma	72%	67%	67%	61%	44%
ZCBH	NBR dias de nebulosidade média	69%	67%	64%	58%	42%
ZCBH	RTQ-R	61%	50%	50%	36%	31%

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

A Tabela 18 apresentam os percentuais de atendimento para cada modelo topográfico. Nota-se que há redução do percentual de atendimento com o aumento da declividade do terreno em ambos os modelos, como já informado. Vale destacar a pequena diferença entre os métodos da NBR e a grande diferença deles para o método do RTQ-R, com valores reduzidos como na Tabela 17. Também é evidente a maior influência da declividade sobre o método do RTQ-R.

Tabela 19 – Tabela comparativa dos percentuais de atendimento de cada pavimento do modelo do Buritis e da ZCBH para cada método de cálculo

		Pavimento inferior	Pavimento Intermediário	Pavimento Superior
Buritis	NBR prescritivo	100%	100%	100%
Buritis	NBR dias estabelecidos na norma	22%	53%	82%
Buritis	NBR dias de nebulosidade média	20%	52%	90%
Buritis	RTQ-R	5%	10%	68%
ZCBH	NBR prescritivo	100%	100%	100%
ZCBH	NBR dias estabelecidos na norma	3%	83%	100%
ZCBH	NBR dias de nebulosidade média	2%	78%	100%
ZCBH	RTQ-R	0%	38%	98%

Fonte: elaborada pela autora, 2018.

A Tabela 19 apresenta os percentuais de atendimento para cada pavimento. Nota-se que há redução do percentual de atendimento com a redução da localização vertical do ambiente, como já informado. Vale destacar a pequena diferença entre os métodos da NBR e a grande diferença deles para o método do RTQ-R, com valores reduzidos como na Tabela 17.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados, observa-se que foi alcançado o objetivo de estabelecer a análise da influência do entorno em ambientes urbanos de diferentes topografias na disponibilidade de luz natural a partir dos requisitos da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) e do RTQ-R (BRASIL, 2012) em edifícios residenciais típicos localizados em áreas urbanas densas em Belo Horizonte, Minas Gerais. Além da topografia, foram analisadas as variações das orientações geográficas das janelas e a localização vertical da unidade residencial.

A pesquisa apresentou uma metodologia para estabelecer modelos de tecidos urbanos representativos de áreas residenciais densas do município. Através desta metodologia, foram definidos modelos edilícios para dois bairros da cidade: Buritis e ZCBH. O modelo do Buritis apresenta edificações baixas e de forma cúbica, porém com afastamentos laterais e de fundos reduzidos. O modelo da ZCBH possui edifícios altos e de forma escalonada, o que caracteriza afastamentos laterais e de fundos reduzidos em sua base e maiores no topo.

O trabalho apresentou os parâmetros regulatórios de avaliação de iluminação natural de unidades residenciais no contexto brasileiro e especificamente no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. O estudo apresentou que, para um edifício modelo com entorno edificado denso criado a partir das características urbanísticas e regulatórias dessa cidade, de 28% a 46% do total dos ambientes simulados apresentaram Autonomia de Luz para atender aos critérios de bonificação junto ao RTQ-R (BRASIL, 2012), sendo que os ambientes situados no primeiro pavimento apresentaram de 0% a 5% de atendimento. Nesse sentido, considera-se que o atendimento aos parâmetros urbanísticos regulatórios e mínimos do Município para o dimensionamento dos vãos para iluminação apresentaram-se insuficientes.

A declividade longitudinal do terreno mostrou-se inversamente proporcional à admissão de luz natural nos ambientes, e contrariamente, a localização vertical do ambiente no edifício mostrou-se diretamente proporcional. Para o modelo topográfico equivalente a 47,5%, o atendimento aos requisitos do RTQ-R foi de 11% a 31%, reforçando a influência da topografia para a admissão de luz natural. Nas condições analisadas, ambientes localizados nos apartamentos dos fundos do edifício-modelo, considera-se que os parâmetros de declividade de terrenos e de cota altimétrica dos ambientes poderiam contribuir mais efetivamente com critérios adicionais para a avaliação de admissão de luz natural pela legislação urbana municipal.

Em cenários urbanos densos, as obstruções externas à abertura da janela podem contribuir para o acesso a luz natural no ambiente interno, quando essa está sendo diretamente iluminada, como no caso da fachada Sul que recebe luz refletida da fachada Norte do edifício vizinho, análise coerente com as observações de Araújo e Cabús (2007), Pereira, Pereira e Claro (2008) e Santos, Auer e Souza (2017).

É importante ressaltar que os resultados apresentados estão sendo baseados em um valor de iluminância de 60 lux. Isto demonstra que a NBR 15.575, além de possuir uma iluminância baixa para atendimento, está permitindo que ambientes que apresentam iluminação reduzida, conforme os resultados do RTQ-R, sejam considerados com bom desempenho lumínico.

As análises desenvolvidas na presente pesquisa indicaram ainda que se usando um arquivo climático com dados reais não é possível obter o dia especificado na norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) com a cobertura de nuvens requerida para a avaliação de desempenho da iluminação natural. Utilizando-se o dia mais próximo daquele requerido por essa norma com a nebulosidade média também mais próxima à requerida, os valores de iluminância externa difusa obtidos no arquivo climático para os dias do mês de abril são mais semelhantes aos calculados pela NBR 15.215-2 (2005b) do que as iluminâncias externas obtidas para os dias especificados na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a). Para os dias do mês de outubro, a proximidade ocorre nos dias estabelecidos pela norma.

Com relação a NBR 15.575-1, propõem-se a expansão da representatividade dos dias de análise, passando de uma simulação estática de apenas dois dias e dois horários fixos para todo o território nacional para uma simulação dinâmica que utiliza de dados climáticos anuais do município. Desta forma, a simulação passaria a ser computacional e não mais através do método de cálculo apresentado na NBR 15.215. Este método apresenta lacunas, como a falta de um DCRL para o tipo de céu parcialmente encoberto, o mesmo tipo de céu que a NBR 15.575 estabelece para se realizar os cálculos.

Tem-se ainda que a comparação entre os resultados obtidos para a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) indica que o método DCRL apresentado na NBR 15.215-3 (ABNT, 2005c), tende a apresentar valores superestimados de iluminância quando em situação de cânion urbano, no qual a obstrução do entorno é significativa se comparado a valores obtidos por simulação computacional, considerada mais precisa. Tal leva a crer que ambientes potencialmente mais escuros como os quartos em pavimentos inferiores de cânions urbanos possam ser considerados como atendendo a níveis mínimos de iluminação natural quando na verdade podem ser bastante

sombrios. Esta análise é corroborada pelo baixo atendimento aos requisitos do RTQ-R (BRASIL, 2012) que utiliza simulação dinâmica para todo o ano.

Nesse sentido, admite-se que os instrumentos institucionais regulatórios da admissão de iluminação natural do município de Belo Horizonte deveriam ser revisados incluindo a análise da declividade de terrenos associada aos afastamentos. Acredita-se que uma proposição de ampliação de afastamentos, especialmente aqueles relativos à base na qual se assentam os estacionamentos em terrenos localizados na parte superior da topografia, poderia atender a maiores níveis de iluminação natural, aumentando a janela de céu preferível como proposto por Leder, Pereira e Claro (2008). Os resultados do trabalho limitam-se aos dois modelos determinados para a análise e seus dados de entrada. No entanto, a metodologia desenvolvida é uma operacionalização de prova conceitual, podendo ser aplicada em outros municípios e morfologias urbanas. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se a análise dos modelos propostos com diferentes parâmetros urbanísticos.

5.1 Limitações para realização da pesquisa

Durante a realização deste trabalho, foram encontradas algumas limitações. Grande parte delas relacionadas à impossibilidade de avaliação de um número maior de modelos devido ao tempo demandado para os cálculos de iluminação natural. O trabalho se limitou:

- Ao tamanho da amostra dos tecidos urbanos do município e dos modelos de edifícios;
- Ao tamanho da amostra relacionadas às variáveis geométricas: dimensões dos ambientes e formas e localizações das aberturas.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

A partir dos resultados encontrados e das limitações apresentadas, sugere-se alguns itens que podem ser investigados em trabalhos futuros:

- Elaborar outros cenários urbanos para verificar as diferenças e similaridades com os dois cenários apresentados;

- Elaborar outros modelos de edifícios que também são encontrados no tecido urbano de Belo Horizonte;
- Avaliar a influência da declividade no sentido transversal do lote;
- Avaliar a Autonomia de Luz para outros valores de iluminância, além do 60 lux estabelecido pelo RTQ-R e NBR 15.575.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-1:** Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 7 p.

_____. **NBR 15.215-1:** Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 5 p.

_____. **NBR 15.215-2:** Iluminação Natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. 17 p.

_____. **NBR 15.215-3:** Iluminação Natural – Parte 3: Procedimentos de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c. 33 p.

_____. **NBR 15.215-4:** Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d. 13 p.

_____. **NBR 15.575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a. 60 p.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 46 p.

ALRUBAIIH, M. S. *et al.* Research and development on aspects of daylight fundamentals. **Renewable and sustainable energy reviews** **21**, p. 494-505, 2013.

ARAÚJO, I. A. L. de; CABÚS, R. C. Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, Brasil, 2007, **Anais...Ouro Preto**. p. 86-95.

ASSIS, E. S.; VALADARES, V. M.; SOUZA, R. V. G. Bases para a determinação dos recuos e volumetria dos edifícios, considerando a insolação e iluminação natural, na revisão da lei de uso e ocupação do solo de Belo Horizonte, MG. In: III Encontro Nacional e I Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Gramado, Brasil, 1995, **Anais...Gramado**. p. 511-516.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: VIII Encontro Nacional e VI Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, Brasil, 2005, **Anais...Maceió**. p. 92-101.

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture:** a European reference book. Bruxelas: James & James Editors, 1998.

BITTENCOURT, L. S.; DIDONÉ, E. L. Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, Brasil, 2006, **Anais... Florianópolis**. p. 294-303.

BRACARENSE, M. S. S.; JOTA, P. R. S.; ASSIS, E. S. Projeto experimental de iluminação natural em sistemas laterais em condições de entorno construído. In: VIII Encontro Nacional e VI Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, Brasil, 2005, **Anais...**Maceió. p. 220-229.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasil, de 18 de outubro de 2001**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm> Acesso em: 12 jan. 2016.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18, 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>> Acesso em: 17 jan. 2016.

BUSON, M. A. **Por que minha janela tem 1m²?** 1998. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

CAPELUTO, I. G. The impact of urban layout and external obstructions on the potencial use of daylighting. In: The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago, Chile, 2003, **Anais...**Chile.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural:** a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FERNANDES, J. T.; ROMERO, M. A. B. Código de obras e edificações do DF: diagnóstico para inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, Brasil, 2010, **Anais...** Canela.

FONSECA, R. W.; FERNANDES, F. F. A.; PEREIRA, F. O. R. Zoneamento bioclimático referente à iluminação natural para o território brasileiro. In: XIV Encontro Nacional e X Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Camboriú, Brasil, 2017, **Anais...** Camboriú. p. 1889-1898.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289 p.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, 2016.

GUEDES, A. F. **Análise da iluminação natural a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais”:** simulação em edifícios multifamiliares de Belo Horizonte. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

IBAPE/SP – INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Valores de edificações de imóveis urbanos**. São Paulo: IBAPE/SP, 2017. 60 p.

LABEEE, M. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: nov. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras; Procel; Procel Edifica, 2014. 366 p.

LARANJA, A. C.; GAZZANEO, L. M. C.; CABÚS, R. C. Regulamentações urbanas e edificações: considerações sob o aspecto da iluminação natural em ambientes interno. In: X Encontro Nacional e VI Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, Brasil, 2009, **Anais...**Natal. p. 1254-1260.

LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects**. 4ª ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 702 p.

LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R.; MORAES, L. N. Determinação experimental de coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais em um meio urbano. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, Brasil, 2007, **Anais...** Ouro Preto. p. 1057-1065.

LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R. Ocupação urbana e disponibilidade de luz natural. **Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 129-138, 2008.

LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Janela de céu preferível: proposição de um parâmetro para controle da disponibilidade de luz natural no meio urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 89-104, jan. / mar. 2008.

MORAES, O. de; SCARAZZATO, P. S. Iluminação natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a Campinas, SP. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino Americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, Curitiba, Brasil, 2003, **Anais...**Curitiba. p. 583-589.

NORONHA, C. R. **Área Central de Belo Horizonte: arqueologia do edifício vertical e espaço urbano construído**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Arquitetura da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

PEREIRA, R. C.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 103-115, out. / dez. 2008.

PMBH – PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Lei nº 7.166, 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município**. Diário Oficial do Município. Belo Horizonte, 1996. Disponível em: <http://cmbhsilinternet.cmbh.mg.gov.br:8080/silinternet/consultaNormas/detalheNorma.do?id=2c907f761753b10d01177939b4730059&metodo=detalhar#>. Acesso em: out. 2016.

_____. **Lei nº 9.725, de 15 de julho de 2009. Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências, Anexo III.** Diário Oficial do Município. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg>. Acesso em: out. 2016.

_____. Mapa de adensamento construtivo de Belo Horizonte – ano 2006. In. **III Conferência Municipal de Política Urbana: Estudos Urbanos - Transformações recentes na estrutura urbana.** Núcleo de Planejamento Urbano da Secretaria Municipal de Políticas Urbanas da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: http://www.pbh.gov.br/comunicacao/RELATORIOS/200905_estudos_urbanos_conferencia_abertura_conferencia.pdf. Acesso em: out. 2016.

_____. **Mapa da tipologia de uso e ocupação em Belo Horizonte – 2011.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2011a. Disponível em: http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=planejamentourbano&lang=pt_br&pg=8843&tax=35739. Acesso em: mai 2017.

_____. **Mapa de regiões administrativas de Belo Horizonte – 2011.** Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Informação de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2011b. Disponível em: http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento=download&urlArqPlc=hta_m008.pdf. Acesso em: dez. 2017.

_____. **Mapa de declividade de Belo Horizonte.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, fev. 2013. Disponível em: http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento=download&urlArqPlc=decliv_perc_a3.pdf. Acesso em: set. 2016.

REINHART, C. F. **Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, Ottawa, Canada, ago. 2006.

REINHART, C. F. *Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.* Institute for research in Construction, National Research Council Canada, Canadá, 2010.

REINHART, C. F. **Daylighting Handbook I: fundamentals, designing with the sun.** 2014.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: design and analysis.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

SANTOS, I. G. dos; AUER, T.; SOUZA, R. V. G. de. Optimized indoor daylight for tropical dense urban environments. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 87-102, jul./set. 2017.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 171-187, abr./jun. 2010.

SCHELLER, C., et al. Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações. Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Relatório técnico**. 216p. 2015.

STEFFY, G. R. **Architectural lighting design**. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1990, 220 p.

VIANNA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: d Geros Ltda, 2007.

WDBG – Whole Building Design Guide. **Daylighting**. National Institute of Building Sciences. Washington, DC, EUA. 2016. Disponível em: www.wbdg.org. Acesso em: set. 2016.

Figura 86 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux

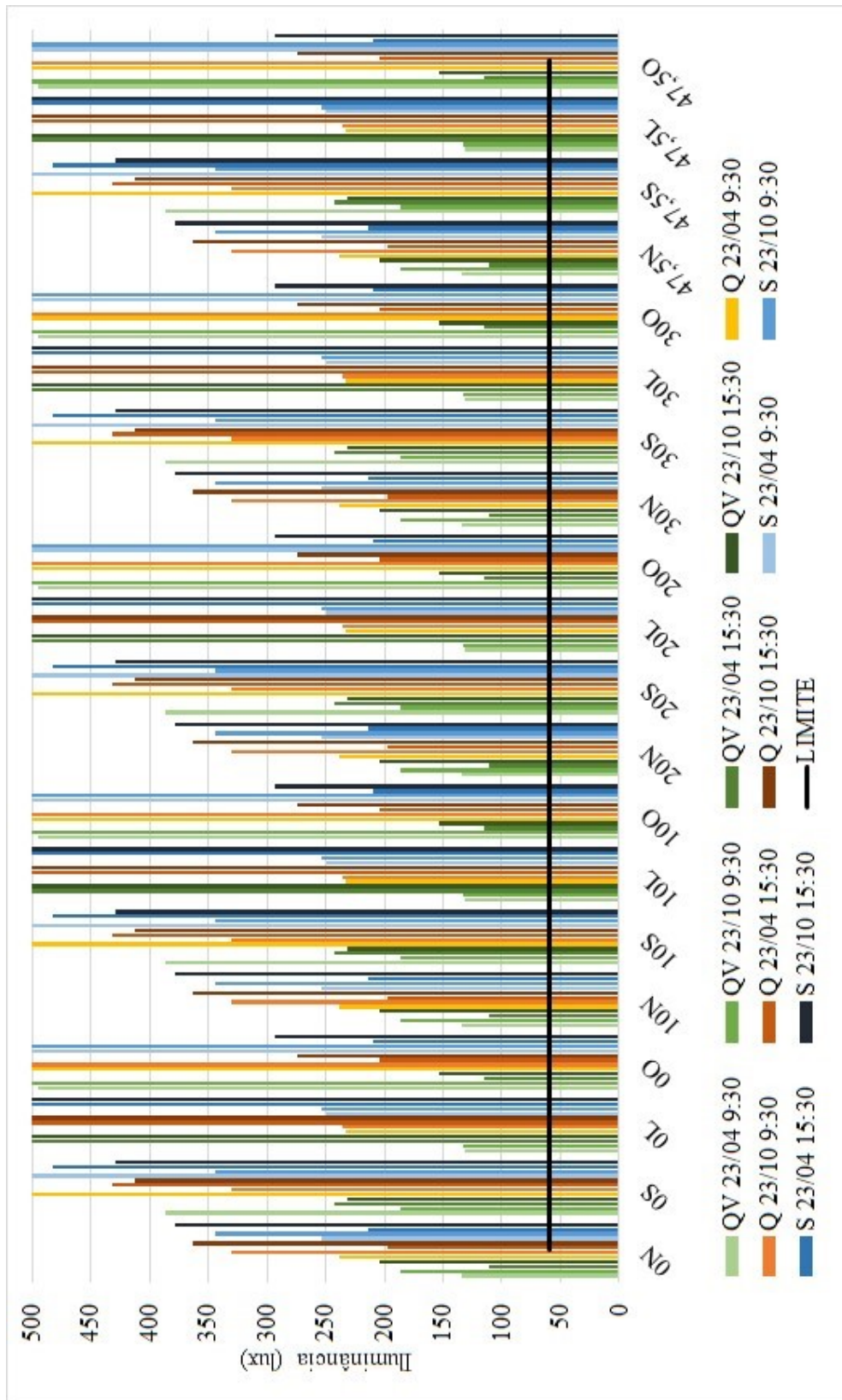


Figura 87 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento inferior – 60 lux

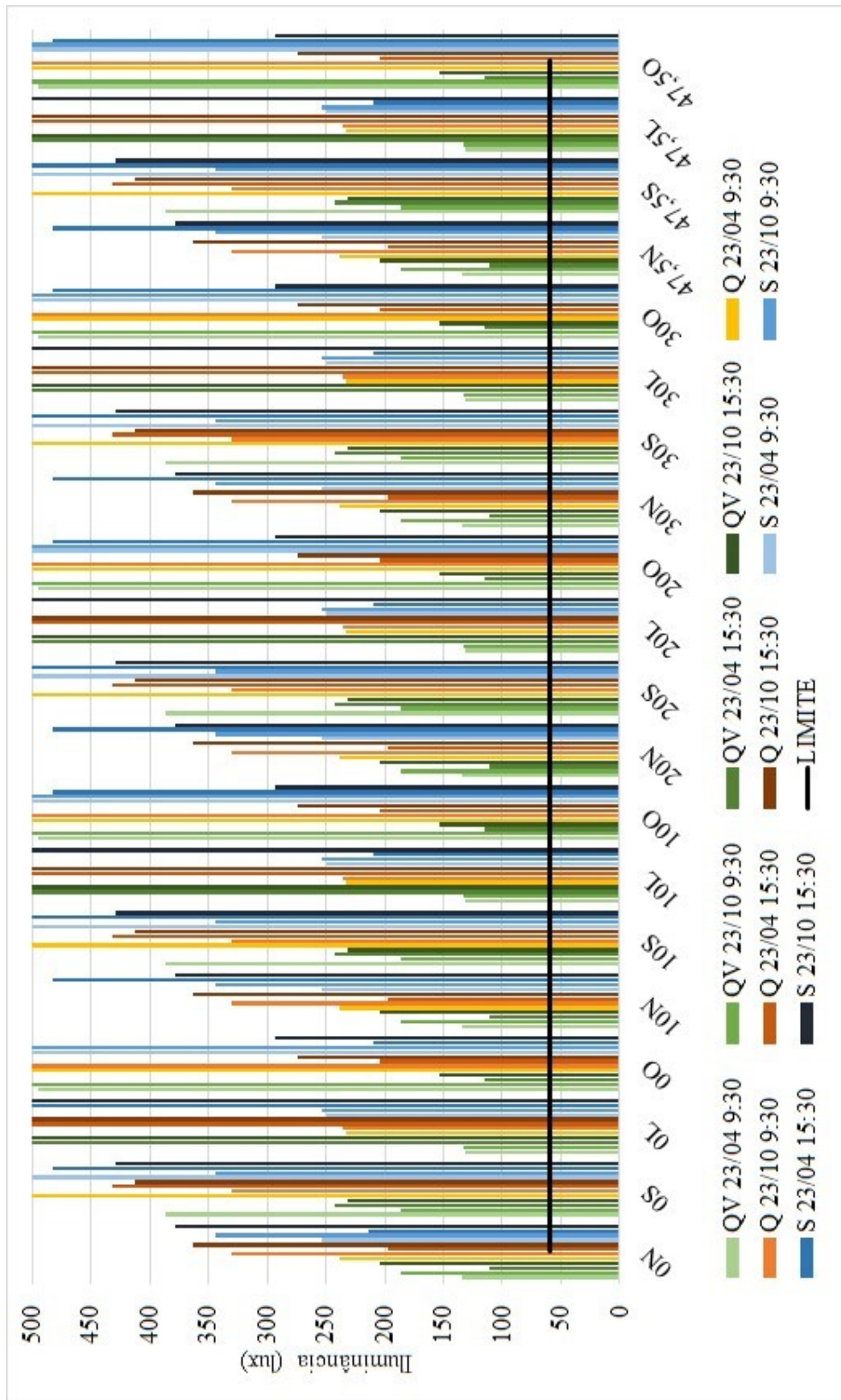


Figura 88 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento superior – 60 lux

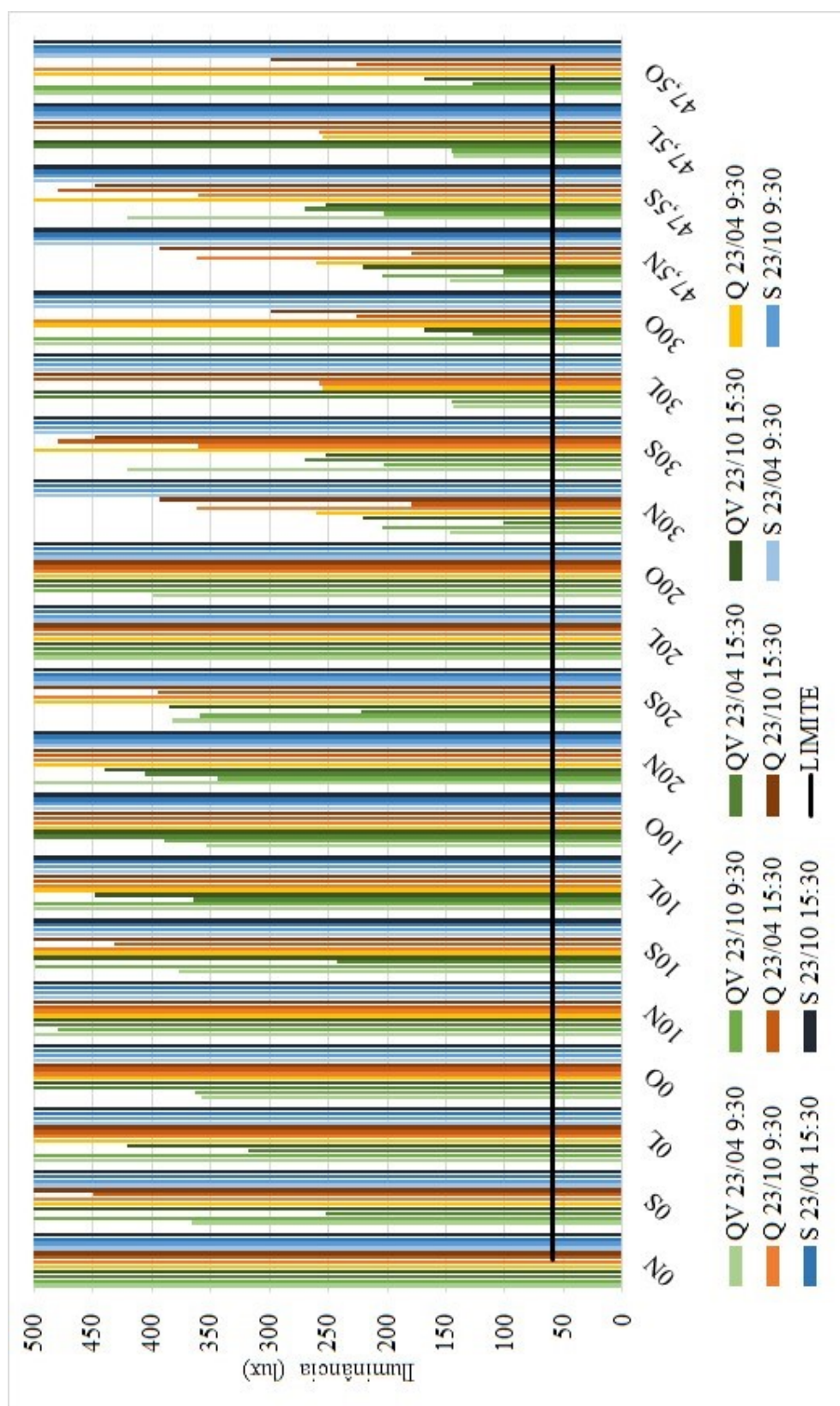


Figura 89 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux

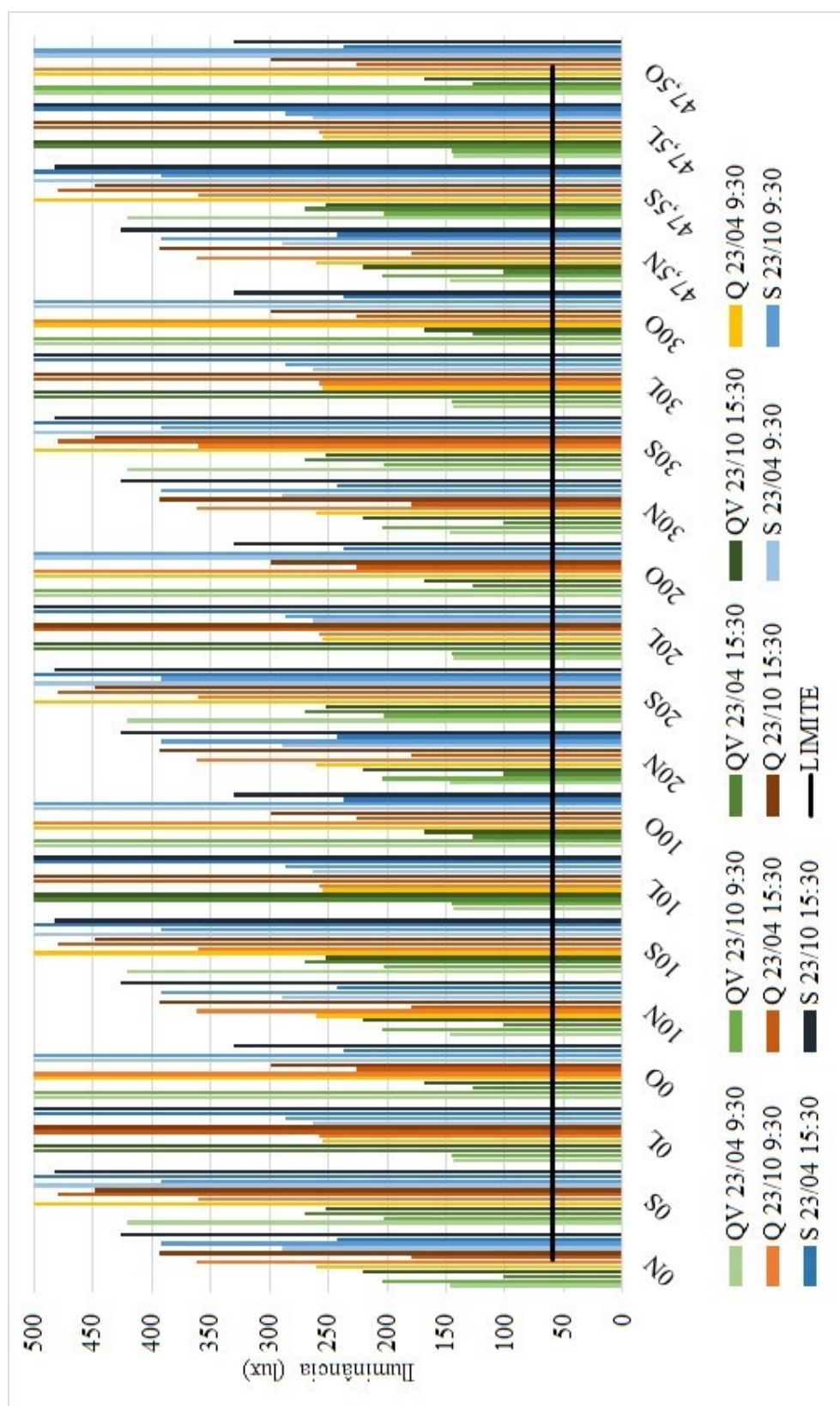


Figura 90 – Resultados pelo método prescritivo da NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux

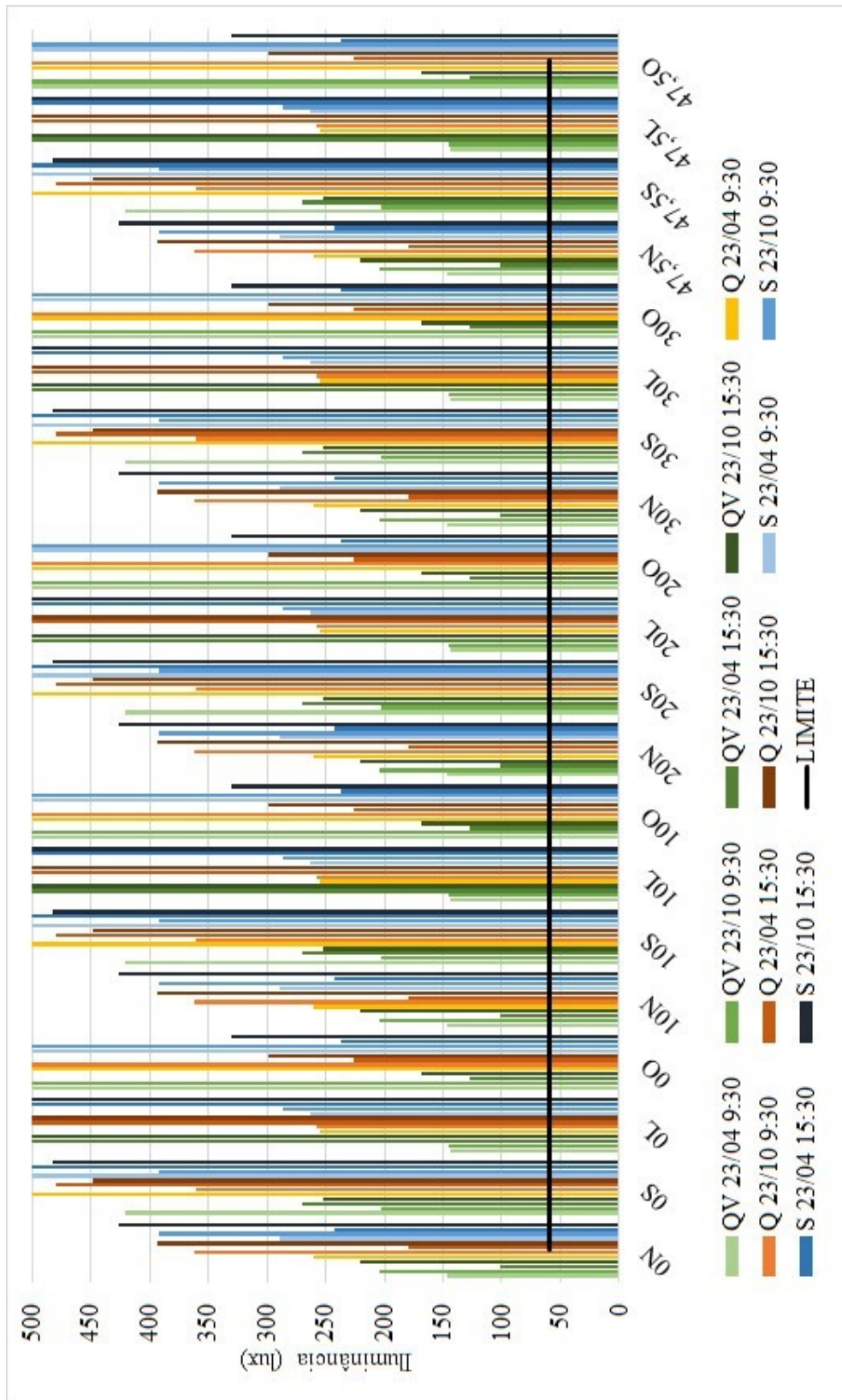


Figura 91 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento superior – 60 lux

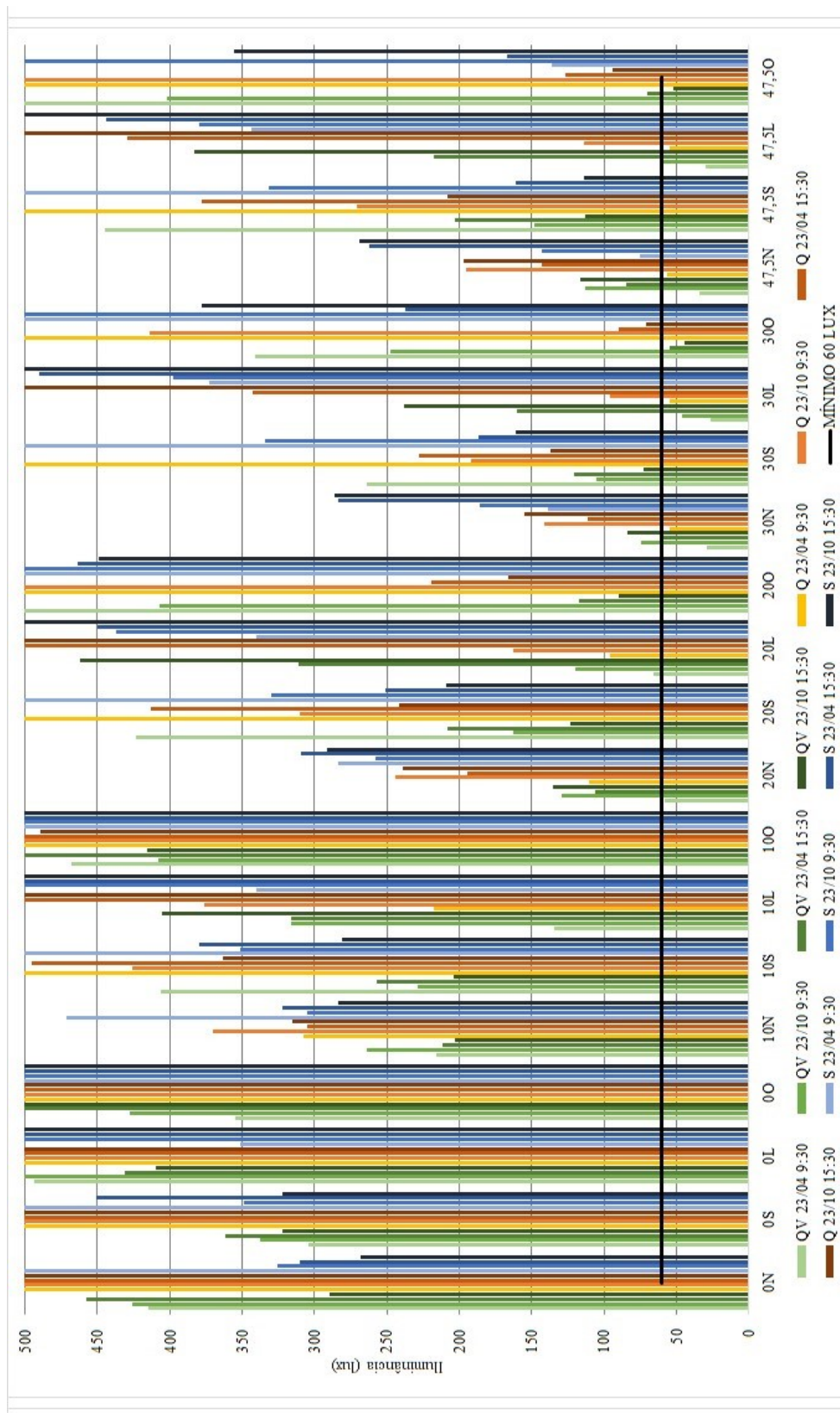


Figura 92 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux

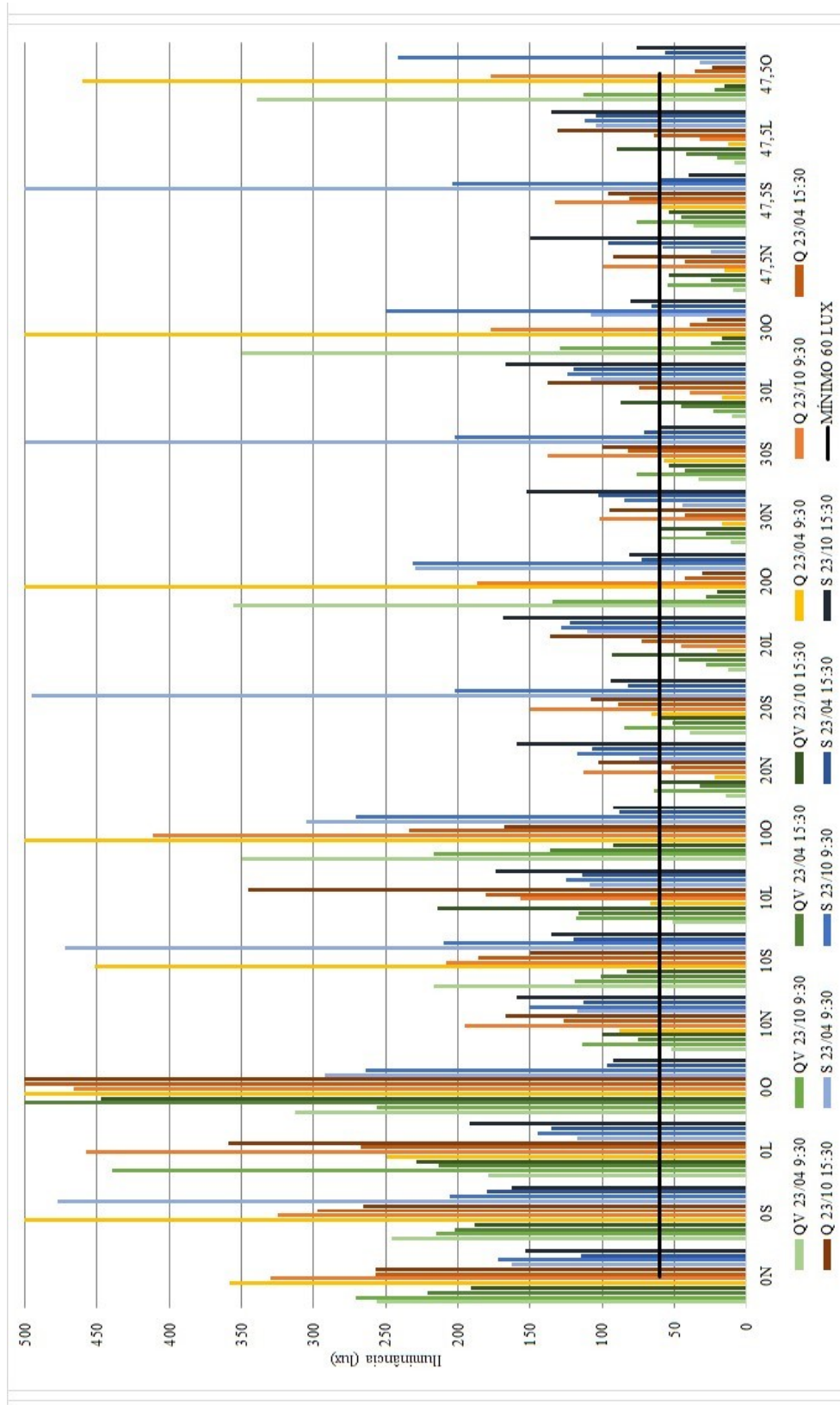


Figura 93 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / Buritis – pavimento inferior – 60 lux

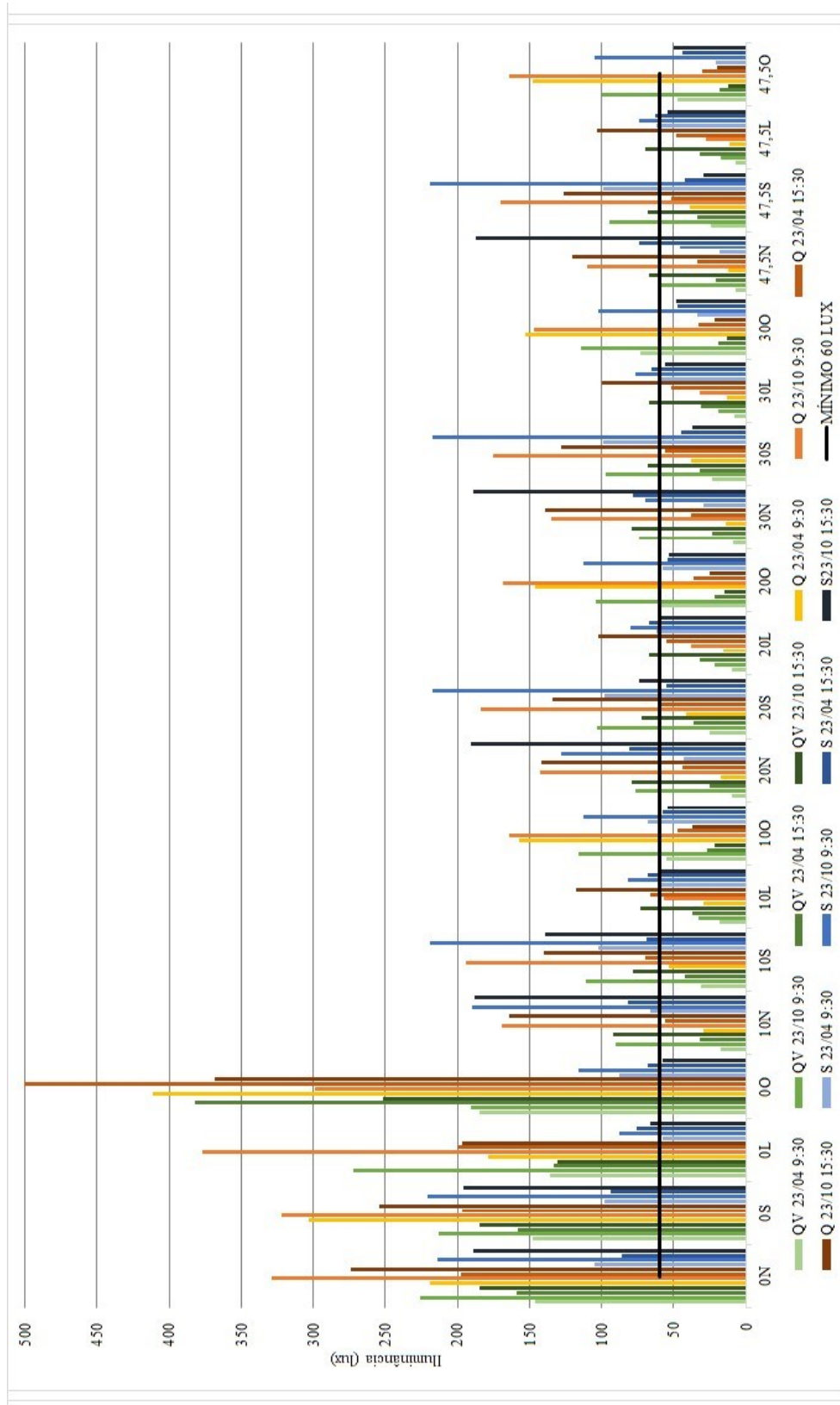


Figura 94 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento superior – 60 lux

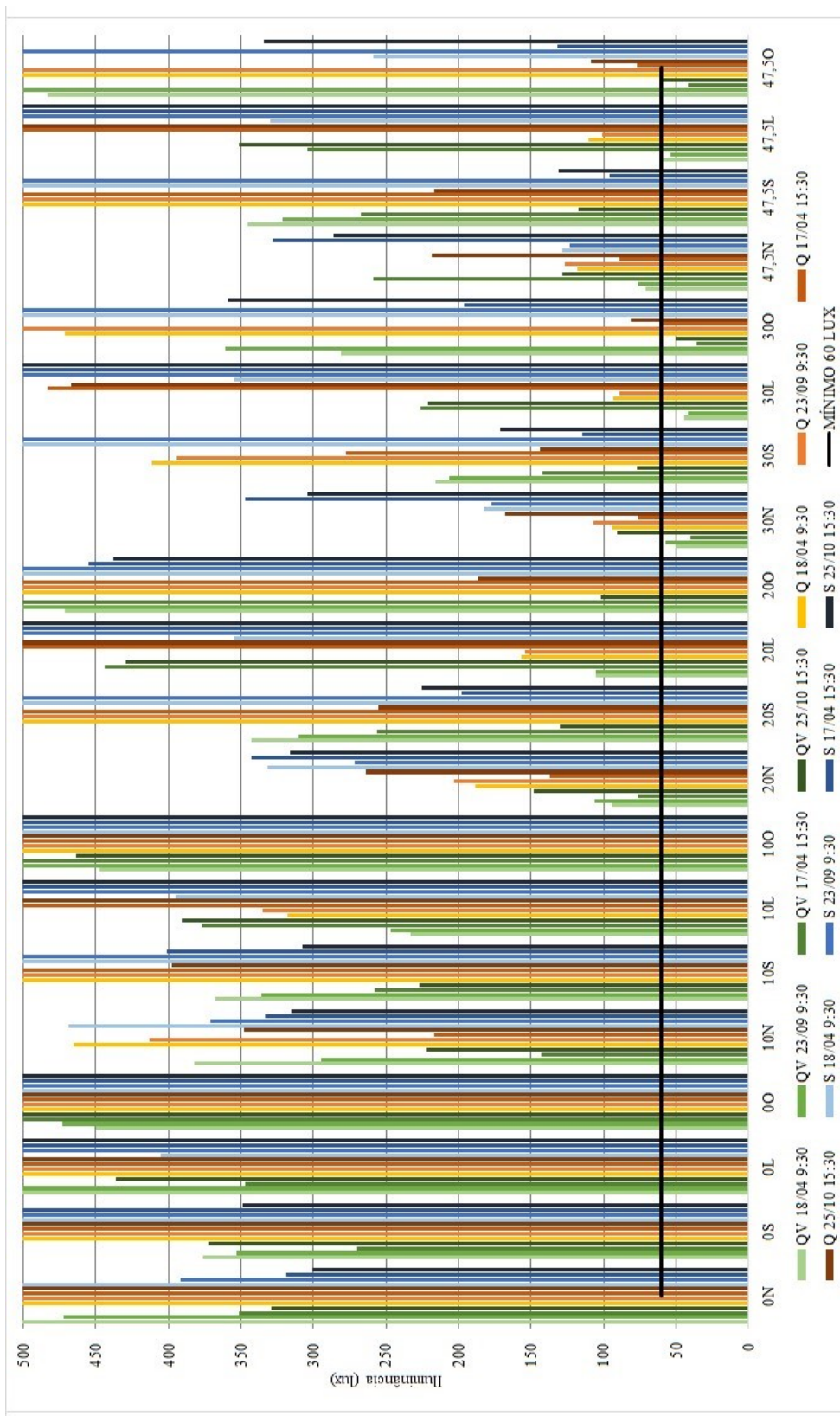


Figura 95 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento intermediário – 60 lux

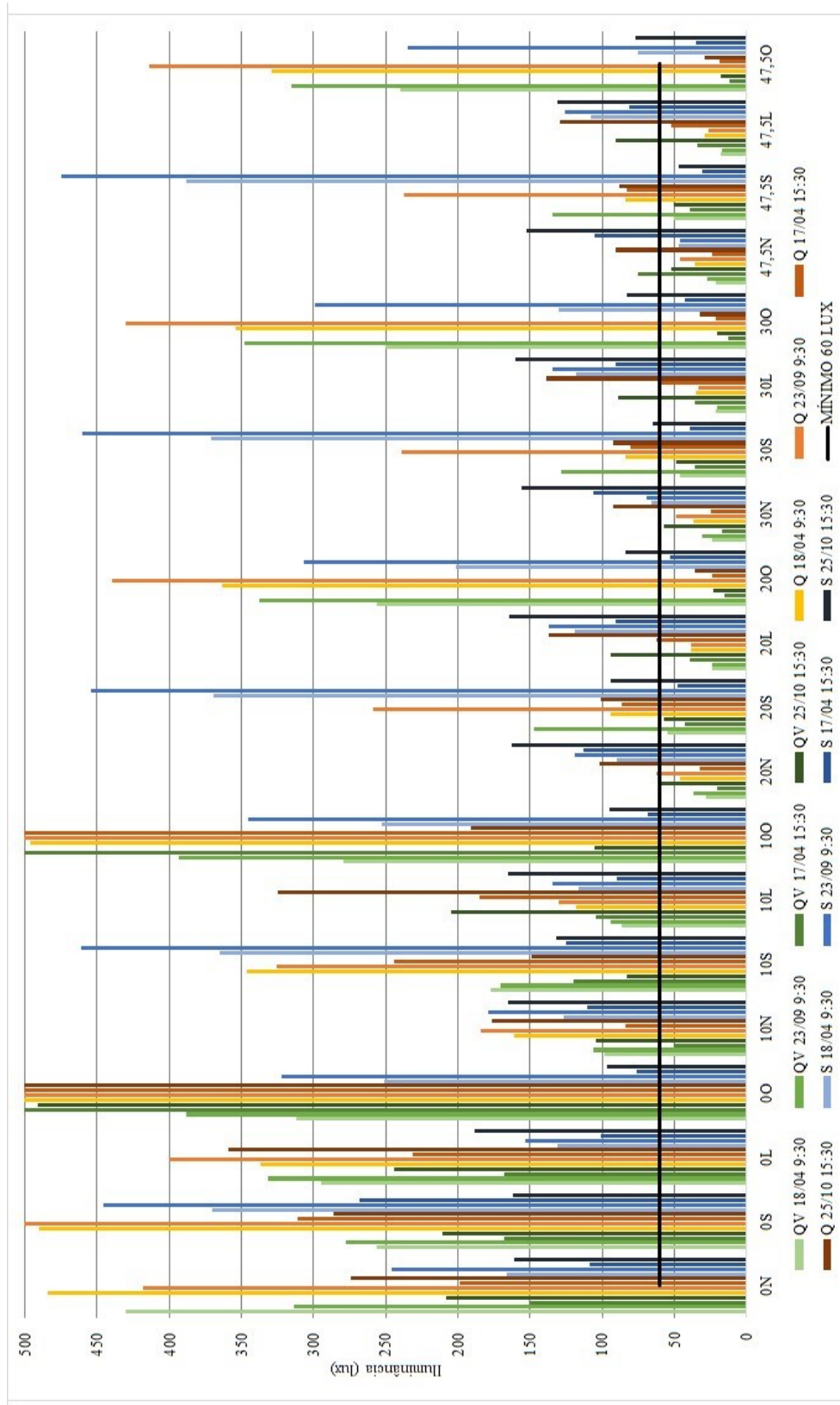


Figura 96 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / Buritis – pavimento inferior – 60 lux

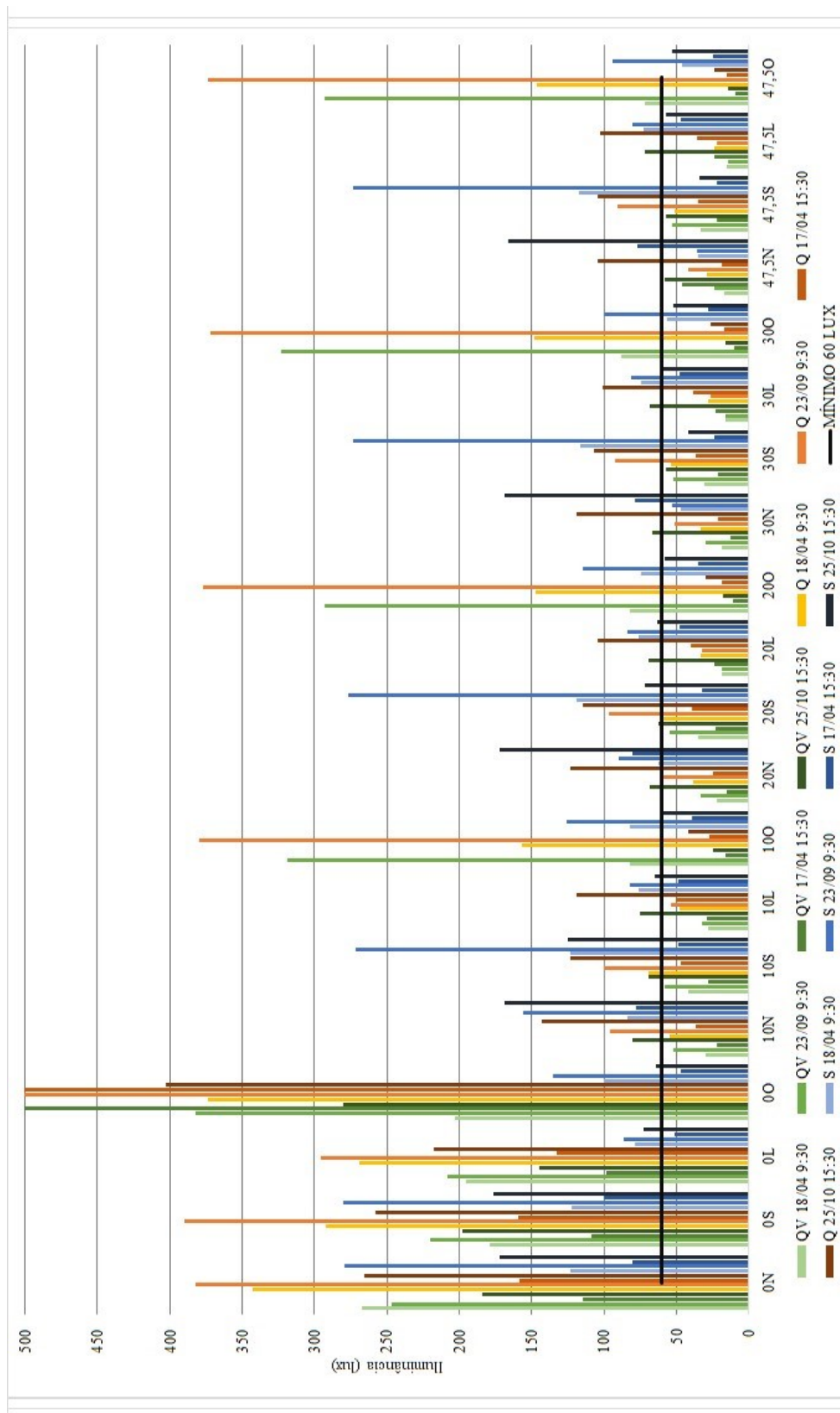


Figura 98 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento intermediário – 60 lux

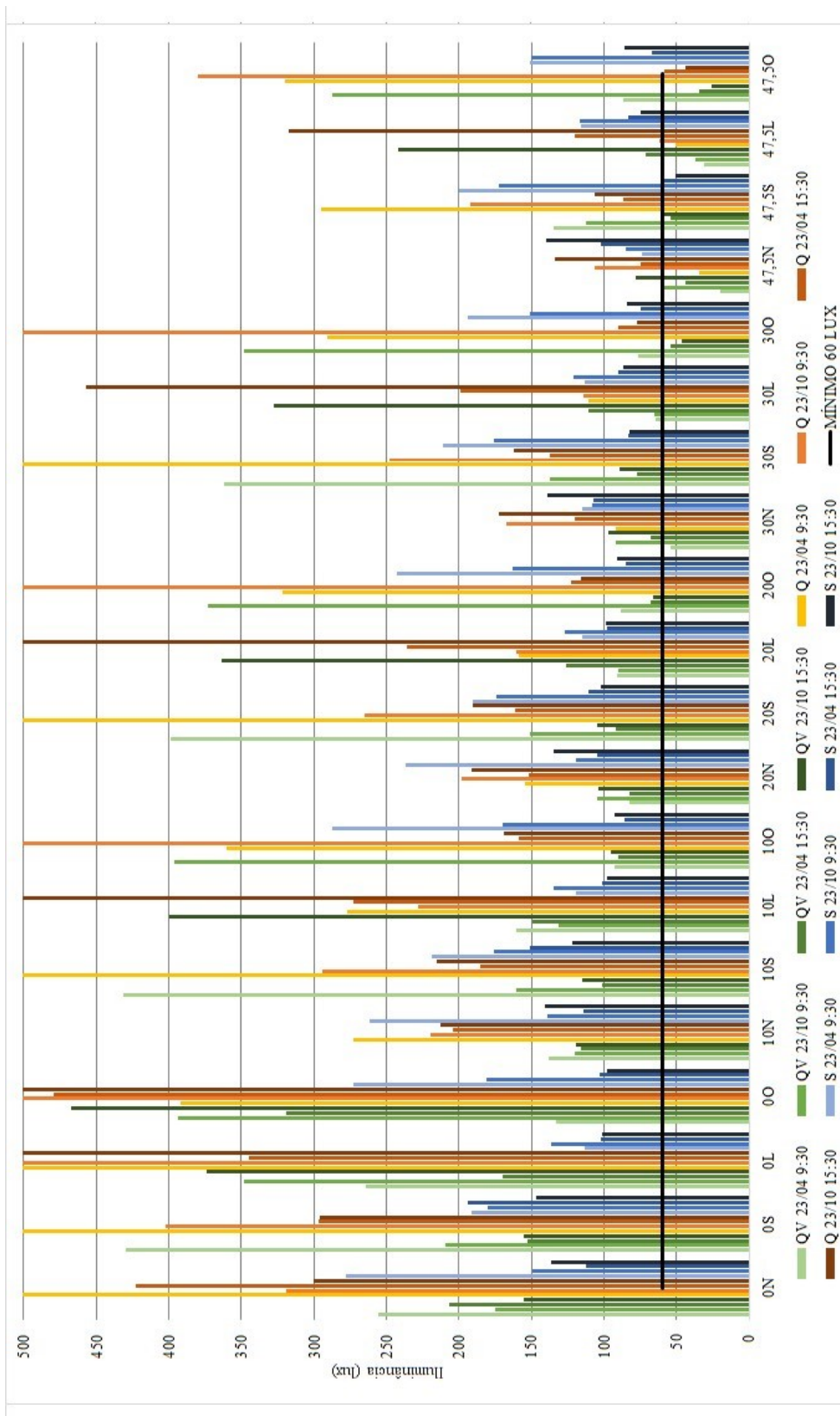


Figura 99 – Resultados por simulação computacional para os dias estabelecidos na NBR 15.575-1 / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux

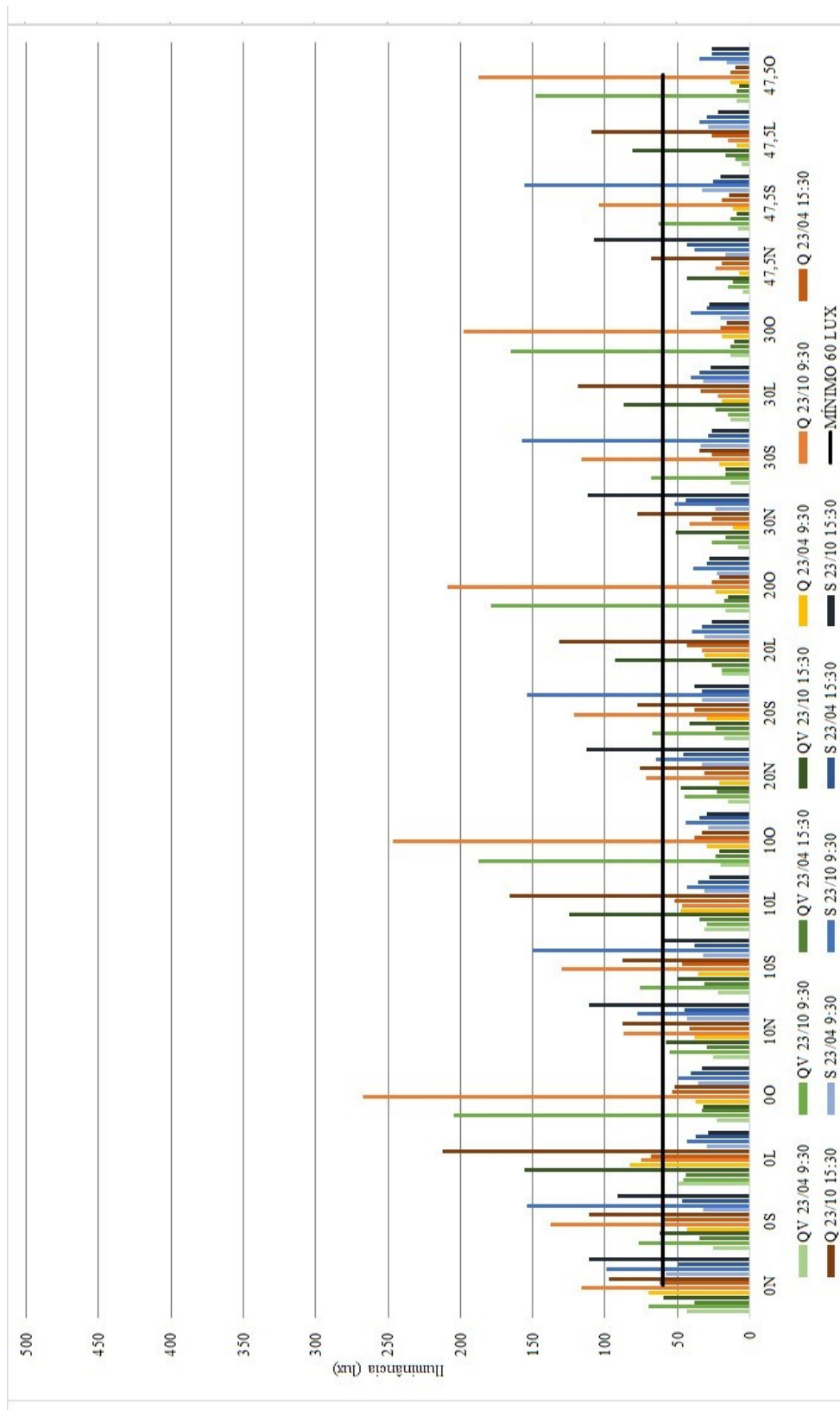


Figura 100 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento superior – 60 lux

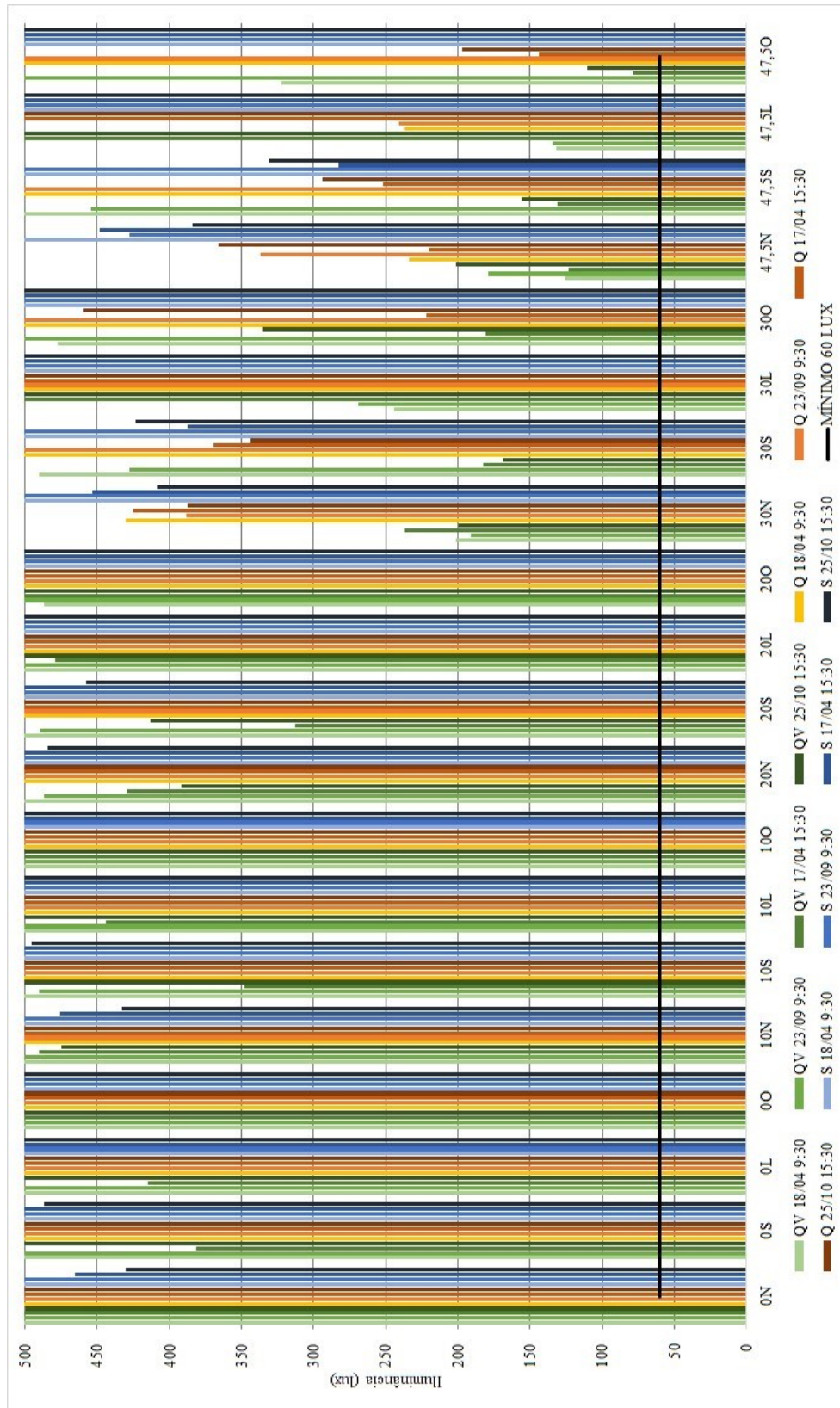
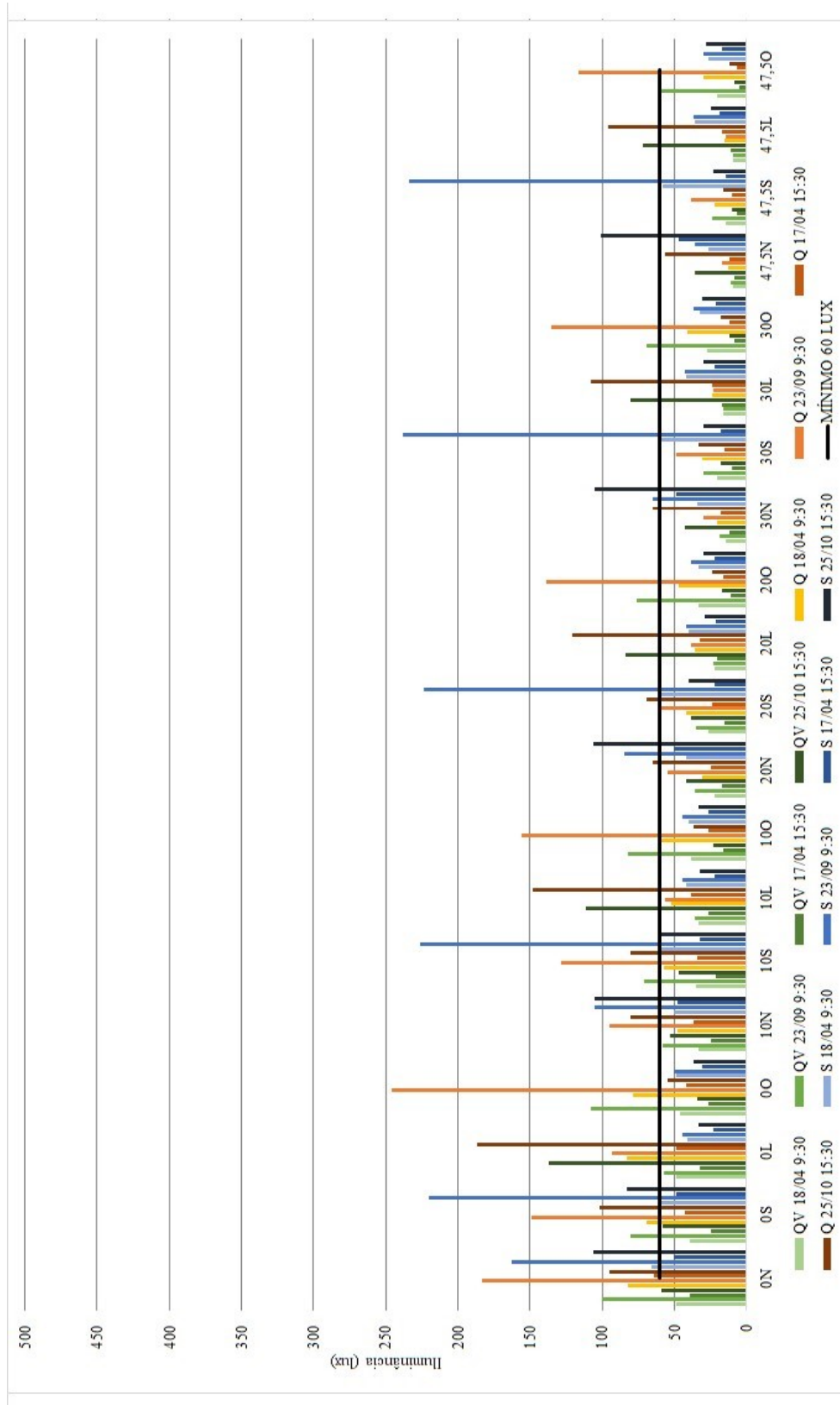
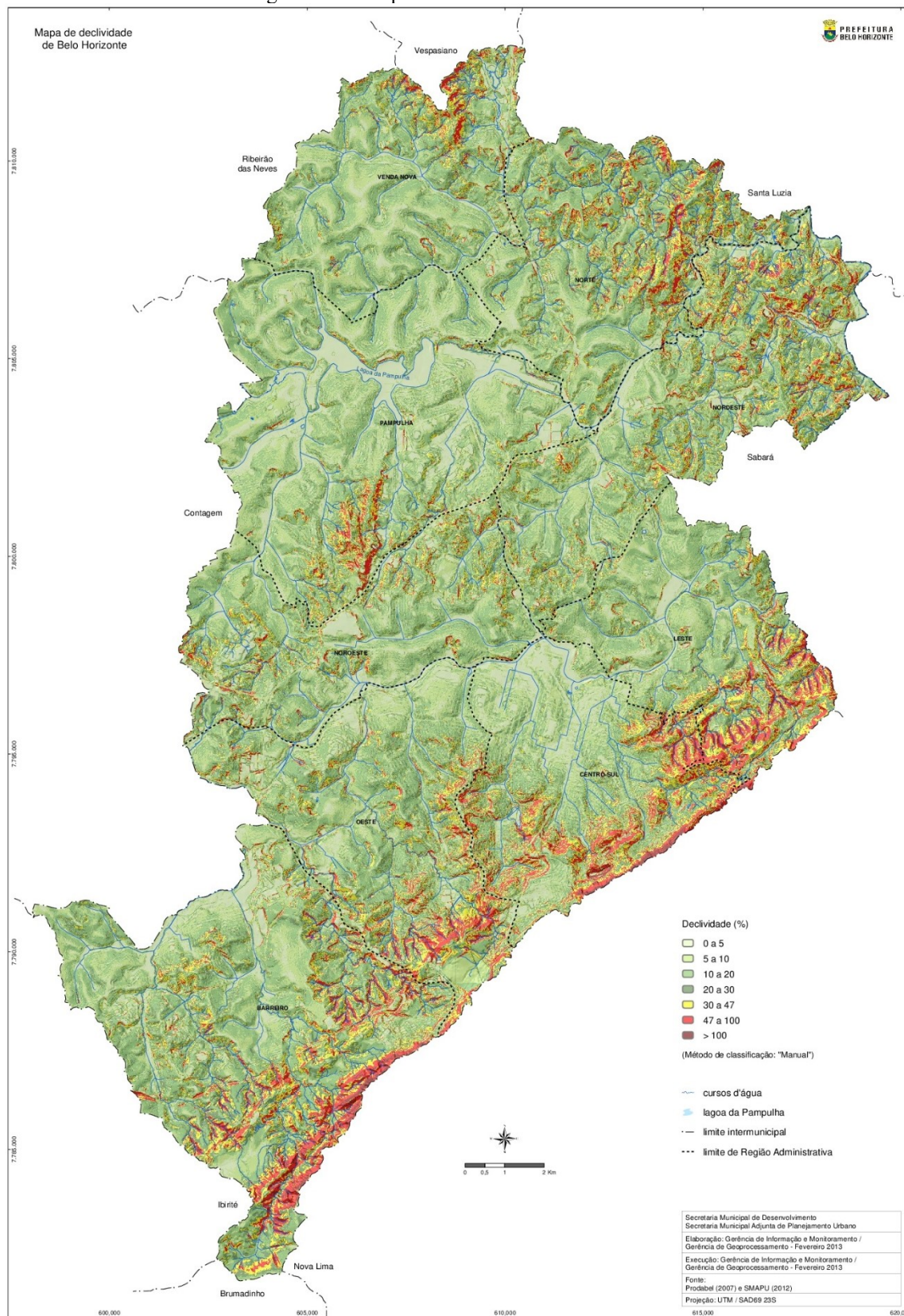


Figura 102 – Resultados por simulação computacional para os dias de nebulosidade média / ZCBH – pavimento inferior – 60 lux



ANEXO A

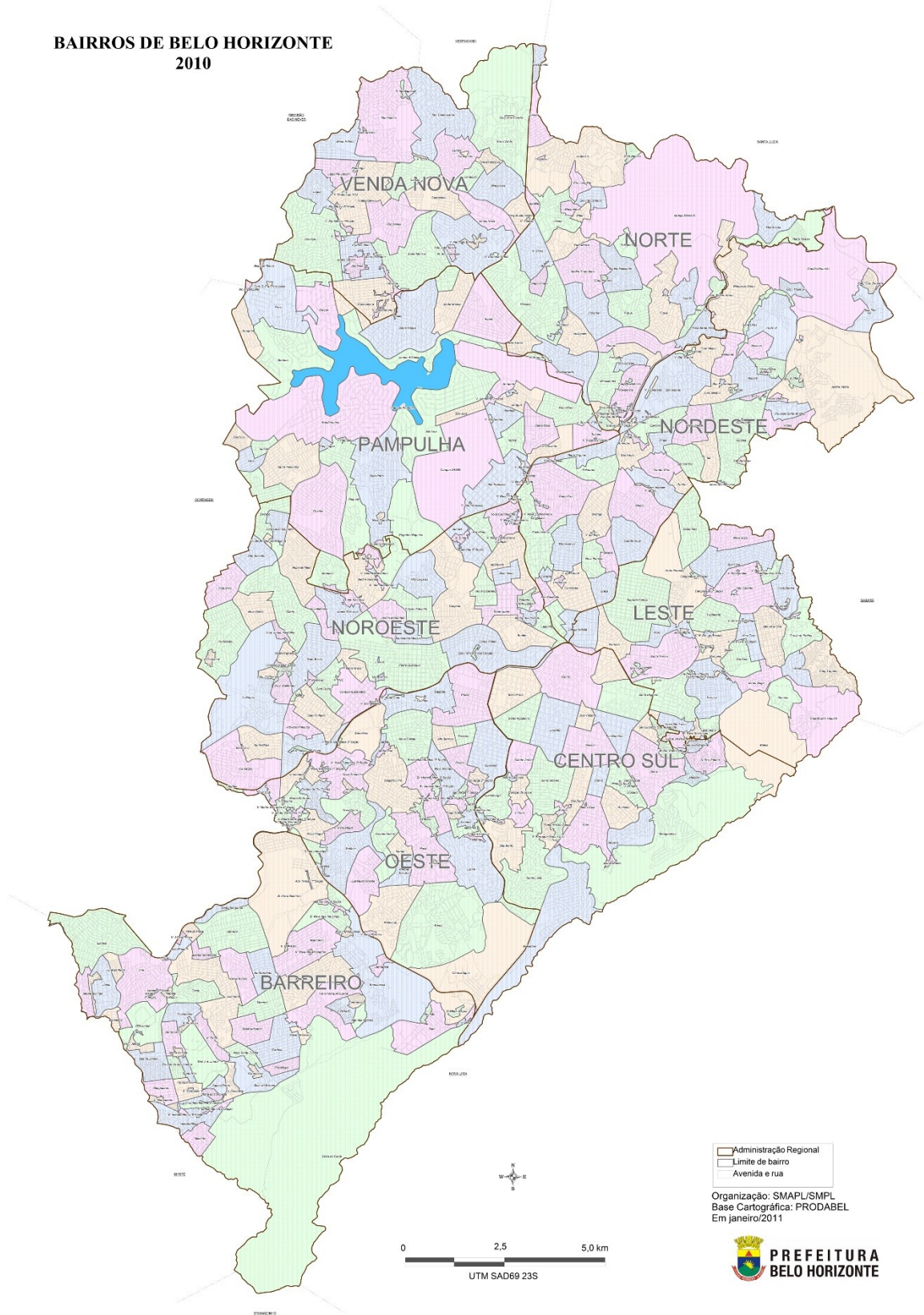
Figura 103 – Mapa de declividade de Belo Horizonte



Fonte: PMBH, 2010.

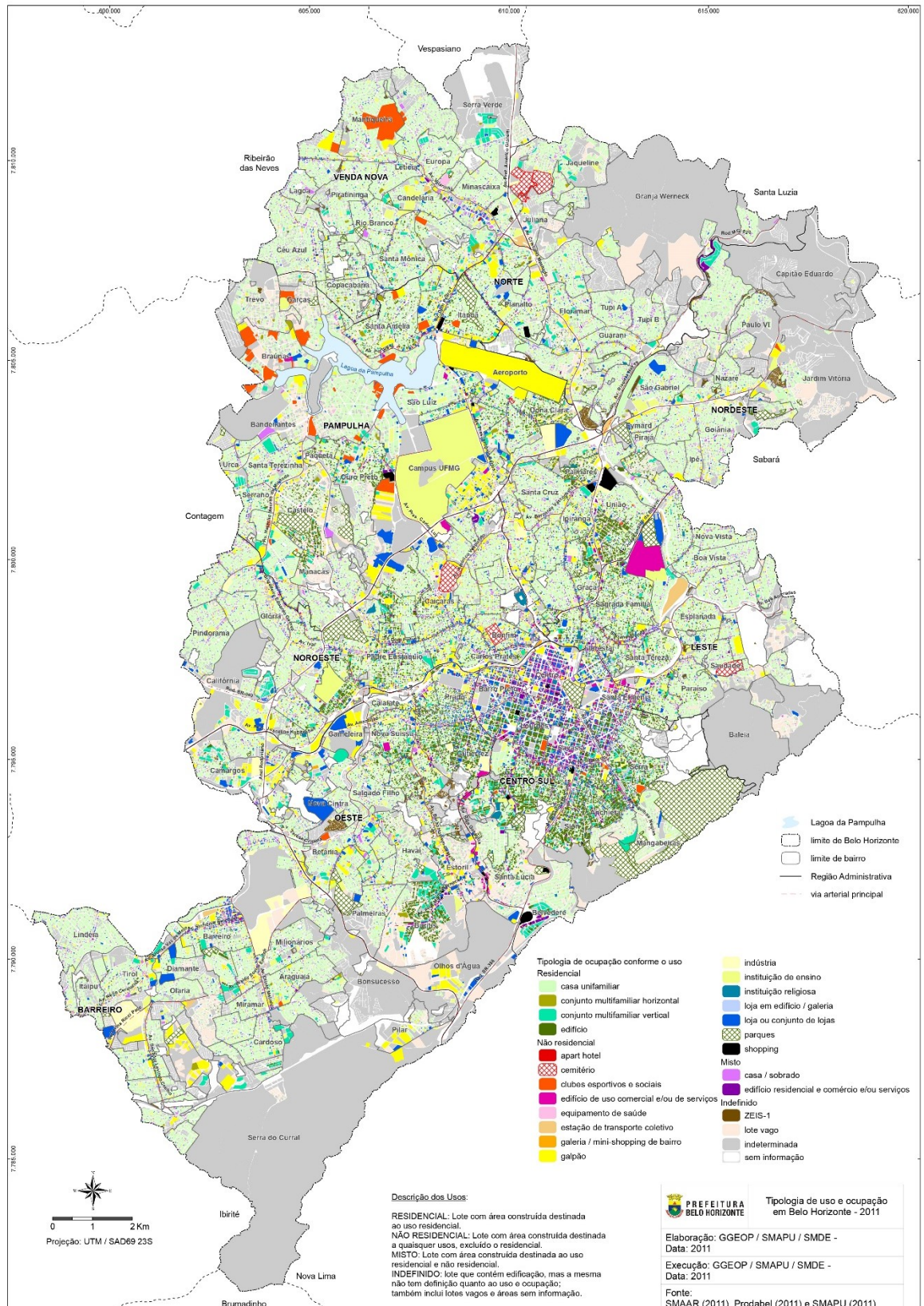
Figura 104 – Mapa de bairros de Belo Horizonte

**BAIRROS DE BELO HORIZONTE
2010**



Fonte: PMBH, 2010.

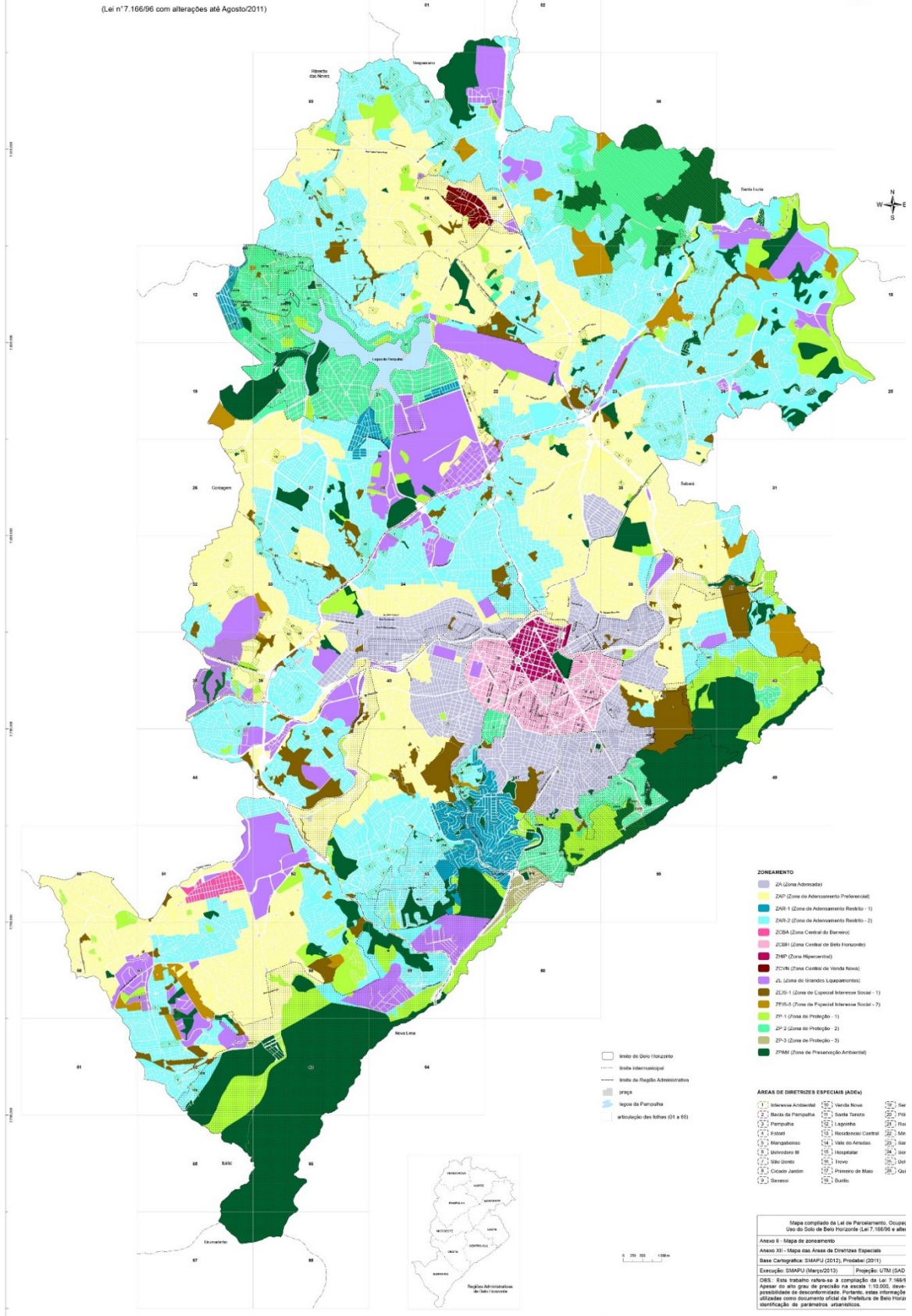
Figura 105 – Mapa de tipologia de uso e ocupação de Belo Horizonte



Fonte: PMBH, 2011a.

Figura 106 – Mapa de zoneamento e áreas de diretrizes especiais de Belo Horizonte

(Lei nº 7.166/96 com alterações até Agosto/2011)



Fonte: PMBH, 2011b.