

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS TECNOLÓGICOS E SUSTENTABILIDADE
APLICADOS AO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

YASMIN BRAGA ALVES E SILVA

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DO CONJUNTO HABITACIONAL GRANJA
DE FREITAS III POR AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO**

Belo Horizonte

2016

YASMIN BRAGA ALVES E SILVA

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DO CONJUNTO HABITACIONAL GRANJA
DE FREITAS III POR AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído / UFMG, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientadora: Professora D^a. Iraci Miranda Pereira

Belo Horizonte

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

S586a

Silva, Yasmin Braga Alves e.

Análise do conforto térmico do conjunto habitacional Granja de Freitas III por avaliação pós-ocupação [manuscrito] / Yasmin Braga Alves e Silva. - 2016.

119f. : il.

Orientador: Iraci Miranda Pereira.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Conforto térmico. 2. Edifícios - Propriedades térmicas. 3 Conjuntos habitacionais. 4. Habitação popular. 5. Construção – Desempenho. 6. Belo Horizonte (MG). I. Pereira, Iraci Miranda. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

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

“Hoje, mais do que nunca, a arquitetura deve evitar o desperdício, mas sem aceitar restrições indevidas. Não se trata de deduzir diretamente a forma das novas edificações a partir de modelos abstratos de grandes vantagens energéticas, mas de desenvolver técnicas de composição para elaborar um projeto arquitetônico energeticamente compatível com a realidade nacional e regional.”
(MASCARÓ, 1991, p. 17)

Aos mestres, amigos e familiares que serviram de exemplo e incentivo à conclusão de mais uma etapa.

Gratidão.

AGRADECIMENTOS

À URBEL pela cooperação e disponibilização de dados e materiais.

À todo corpo docente do curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído, pelo conhecimento e inspiração transmitidos.

À professora e orientadora D^a Iraci Miranda Pereira, pela paciência e dedicação.

Aos meus pais, amigos e familiares pelo apoio e incentivo constantes.

Aos meus tios Almir Braga e José Braga pela inspiração acadêmica e criativa inventiva.

RESUMO

Fruto da implantação de programas de reestruturação de vilas e favelas desenvolvido pela Prefeitura de Belo Horizonte, o conjunto habitacional Granja de Freitas III (Conjunto Residencial Jardim das Orquídeas), estudo de caso da pesquisa, se encontra implantado na porção leste da capital mineira próximo à divisa com o município de Sabará, desde o ano de 2001, e compõem-se por 146 casas geminadas.

A fim de verificar a qualidade ambiental relativa ao desempenho térmico dessas edificações, foi realizada uma APO (avaliação pós-ocupação) investigativa composta por observações *in loco*, análises técnicas, aplicação de questionários e análises comparativas com a norma de Desempenho Térmico, ABNT NBR 15.220:2005, que possibilitam identificar as principais condicionantes de conforto ou desconforto térmico das habitações. A partir da coleta e tratamento dos dados obtidos, foi possível desenvolver análises das condições atuais das habitações investigadas e elaborar um conjunto de diretrizes capazes de otimizar as condições de conforto das mesmas.

Nesse sentido, a pesquisa se mostra relevante ao passo que levanta a discussão do conforto térmico e ambiental nas habitações de interesse social, gerando subsídios para a incorporação de melhorias e servindo de recomendação para elaboração de projetos futuros que compartilhem da mesma zona bioclimática.

Palavras-chave: avaliação pós-ocupação; conforto térmico, conforto ambiental; habitação de interesse social.

ABSTRACT

Result of the implementation of shantytowns and slums restructuring programs developed by the city of Belo Horizonte, the housing Granja de Freitas III (Residential Orchid Garden set), case study research, is deployed in the eastern portion of the state capital near border with the city of Sabará, from the year 2001, and consists of 146 terraced houses.

In order to verify the environmental quality on the thermal performance of these buildings a PDB was carried out (post-occupancy evaluation) investigative consists of on-site observations, technical analysis, questionnaires and comparative analyzes with the standard Thermal Performance, NBR 15.220 2005, which allow to identify the main determinants of comfort or thermal discomfort of housing. From the collection and processing of data obtained, it was possible to develop analysis of the current conditions of the investigated households and develop a set of guidelines that optimize comfort conditions thereof.

In this sense, the research shows relevant while raises the discussion of thermal and environmental comfort in social housing, generating benefits for the incorporation of improvements and serving recommendation for development of future projects that share the same bioclimatic zone.

Keywords: post-occupancy evaluation; thermal comfort, environmental comfort; social housing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - mapa de localização bairro Granja de Freitas	21
Figura 2 - Avaliação da qualidade das habitações em 2003	23
Figura 3 - Conjunto Granja de Freitas III: plantas unidade tipo I	24
Figura 4 -Conjunto Granja de Freitas III: plantas unidade tipo II	25
Figura 5 - Tipologias dos blocos de solo-cimento das edificações do conjunto Granja de Freitas III	27
Figura 6 - Implantação geral conjunto Granja de Freitas III.....	29
Figura 7 - Perfil transversal do terreno sem movimentação de terra (sem escala).....	30
Figura 8 - Perfil longitudinal do terreno sem movimentação de terra (sem escala)	30
Figura 9 - Conjunto Granja de Freitas III: grupos de análise	39
Figura 10 - Escala de valores para avaliação do conforto térmico	42
Figura 11 - Questionário teste: APO - conjunto Granja de Freitas III	43
Figura 12 - Questionário final: APO - conjunto Granja de Freitas III	45
Figura 13 - Zoneamento bioclimático brasileiro	51
Figura 14 - Variação de carga térmica recebida por um edifício em função de sua forma	67
Figura 15 - Conjunto Granja de Freitas III: sombreamento das edificações – Solstício de Inverno...	68
Figura 16 - Conjunto Granja de Freitas III: sombreamento das edificações – Solstício de Verão	69
Figura 17 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar leste-nordeste / oeste-sudoeste	71
Figura 18 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar norte-noroeste / sul-sudeste.....	72
Figura 19 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar nordeste / sudoeste	73
Figura 20 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar noroeste / sudeste	74
Figura 21 - Direção do vento dominante X implantação.....	75
Figura 22 – Conjunto Granja de Freitas III: ventos dominantes	77
Figura 23 - Esquemas de ventilação natural para unidades habitacionais tipo I e II com portas fechadas	82
Figura 24 - Esquemas de ventilação natural para unidades habitacionais tipo I e II com portas abertas.....	83
Figura 25 – Blocos habitacionais que deverão receber dispositivos de proteção solar	88
Figura 26 - Esquema demonstrativo de regiões para implantação de barreiras vegetais	89
Figura 27 – Tijolito.....	97
Figura 28 - Sistema de cobertura atual.....	107

Figura 29 - Sistema de cobertura modificado	110
Figura 30 - Implantação geral conjunto Granja de Freitas III.....	113
Figura 31 - Conjunto Granja de Freitas III: especificações de acabamento tipologia	114
Figura 32 - Conjunto Granja de Freitas III: especificações de acabamento tipologia II	114
Figura 33 - Conjunto Granja de Freitas: diagrama de cobertura tipologia I.....	115
Figura 34 - Conjunto Granja de Freitas: diagrama de cobertura tipologia II.....	116
Figura 35 - Conjunto Granja de Freitas III: cortes e fachadas tipologia I	117
Figura 36 - Conjunto Granja de Freitas III: cortes e fachadas tipologia II	118

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Identificação das esquadrias adotadas no conjunto Granja de Freitas III.....	28
Tabela 2 - Conjunto Granja de Freitas III: dados gerais	38
Tabela 3 - Conjunto Granja de Freitas III: definição de grupos, tipologias e amostras	41
Tabela 4 Condições de ventilação para câmaras de ar.....	49
Tabela 5 - Abertura para ventilação	52
Tabela 6 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação.....	52
Tabela 7 - Diretrizes de conforto térmico da ABNT NBR 15220:2005 para o zoneamento 3	78
Tabela 10 - Área de aberturas X prescrição da Norma ABNT NBR 15220:2203.....	80
Tabela 11 - Área de abertura x parâmetros do Código de Edificações de Belo Horizonte	80
Tabela 10 - Resultados para o conforto térmico com alterações nos sistemas de vedação externa e cobertura, com base na norma ABNT NBR 15220:2005.....	86
Tabela 11 - Custo das intervenções propostas com base nos requisitos da zona bioclimática 3 (ABNT NBR 15220:2005).....	87
Tabela 12 - Dados gerais para cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar das vedações externa	96
Tabela 13 - Dados gerais para cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar da cobertura	106
Gráfico 1 - Sensações de conforto para os períodos de verão considerando o conforto térmico.....	56
Gráfico 2 - Sensações de conforto para os períodos de inverno considerando o conforto térmico...	56
Gráfico 3 - Síntese conforto térmico	57
Gráfico 4 - Sensações de conforto para os períodos de verão considerando a insolação	58
Gráfico 5 – Sensações de conforto para os períodos de inverno considerando a insolação.....	59
Gráfico 6 - Síntese Insolação.....	60
Gráfico 7 – Sensações de conforto considerando o tamanho das aberturas de janelas e portas	61
Gráfico 8 – Sensações de conforto considerando a ventilação natural nas edificações.....	61
Gráfico 9 - Síntese ventilação natural	62
Gráfico 10 – Sensações de conforto para os períodos de verão considerando a iluminação natural	64
Gráfico 11 - Sensações de conforto para os períodos de inverno considerando a iluminação natural	64
Gráfico 12 - Síntese iluminação natural	65

Gráfico 13 - Gráfico Rosa dos Ventos 76

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VII
LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS	IX
SUMÁRIO	XI
1 INTRODUÇÃO	13
2 ESTUDO DE CASO	16
2.1 Habitação de interesse social em Belo Horizonte.....	16
2.2 Conjunto habitacional Granja de Freitas III	19
2.2.1 Considerações Preliminares	20
2.2.2 Levantamento técnico construtivo funcional.....	23
2.2.3 Levantamento fotográfico	30
3 METODOLOGIA APLICADA	34
3.1 Avaliação pós-ocupação (APO)	37
3.1.1 Levantamento de dados	38
3.1.2 Preparação da Amostragem.....	38
3.2 Preparação dos questionários.....	41
3.3 Questionário Aplicado.....	44
3.4 Normas aplicáveis a habitações de interesse social, relacionadas ao conforto térmico	46
3.4.1 Avaliação das propriedades térmicas dos materiais segundo a ABNT NBR 15220:2005, parte 2.....	47
3.4.2 Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social segundo a ABNT NBR 15220:2005	51
4 TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	54
4.1 Percepção dos usuários quanto ao conforto térmico	55
4.2 Percepção dos usuários quanto à insolação.....	58
4.3 Percepção dos usuários quanto à ventilação natural.....	60
4.4 Percepção dos usuários quanto à iluminação natural.....	63
4.5 Análises técnicas do Conjunto Habitacional Granja de Freitas III	66

4.5.1	Orientação solar e sombreamento das edificações	66
4.5.2	Direção dos ventos dominantes	75
4.5.3	NBR 15220:2005 X Conforto térmico	77
4.5.4	NBR 15220:2005 X Ventilação natural	79
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
5.1	Propostas para melhorar o conforto térmico das unidades habitacionais analisadas	85
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	APÊNDICE I – VEDAÇÃO EXTERNA: MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, CAPACIDADE TÉRMICA, ATRASO TÉRMICO E FATOR SOLAR.....	95
	APÊNDICE II – COBERTURA: MÉMORA DE CÁLCULO PARA TRÂNSMITÂNCIA TÉRMICA, CAPACIDADE TÉRMICA, ATRASO TÉRMICO E FATOR SOLAR	106
	ANEXO A – IMPLANTAÇÃO GERAL CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III	113
	ANEXO B – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III: ESPECIFICAÇÕES DE ACABAMENTO (TIPOLOGIAS I E II)	114
	ANEXO C – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS: DIAGRAMA DE COBERTURA (TIPOLOGIA I)	115
	ANEXO D – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS: DIAGRAMA DE COBERTURA (TIPOLOGIA II)	116
	ANEXO E – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS: CORTES E FACHADAS (TIPOLOGIA I)	117
	ANEXO E – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS: CORTES E FACHADAS (TIPOLOGIA II)	118

1 INTRODUÇÃO

A fim de verificar a qualidade ambiental relativa ao desempenho térmico de habitações de interesse social na cidade de Belo Horizonte, foi desenvolvida uma APO (avaliação pós-ocupação) investigativa composta por observações *in loco*, análises técnicas, aplicação de questionários e análises comparativas com a norma de Desempenho Térmico, ABNT NBR 15.220:2005.

A Avaliação foi aplicada no conjunto habitacional Granja de Freias III (Conjunto Residencial Jardim das Orquídeas), fruto da implantação de programas de reurbanização e reestruturação de vilas e favelas desenvolvidos pela Prefeitura de Belo Horizonte e implantado na porção leste da capital, próximo à divisa com o município de Sabará desde o ano de 2001, compondo-se por 146 casas geminadas.

A partir da coleta e tratamento dos dados obtidos com a APO, foi possível identificar as principais condicionantes de conforto ou desconforto térmico das habitações investigadas e elaborar um conjunto de diretrizes capazes de otimizar as condições de conforto das mesmas, incorporando novas soluções e servindo de recomendação para elaboração de projetos futuros que compartilhem da mesma zona bioclimática.

O CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, criado em agosto de 2007, vem desenvolvendo ações que visam difundir conhecimento e boas práticas relativos à sustentabilidade no setor da construção civil, e acredita que,

Mesmo diante das dificuldades encontradas e com algumas iniciativas ainda em fase de experimentação e testes, é percebido que, de forma geral, os resultados da aplicação dos instrumentos sustentáveis em HIS têm sido mais positivos do que negativos até o momento, o que estimula a continuidade desses estudos. (CBCS. Lições Aprendidas: Soluções para Sustentabilidade em Habitações de Interesse Social com a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo. UNEP, 2010).

Como aponta um estudo¹ elaborado em 2007 para a PBH (Prefeitura de Belo Horizonte), a capital mineira conta com “22% da população total residindo em ocupações irregulares, distribuídas em 209 áreas de ocupação informal” (PEREIRA *et al*, 2007.p 1) que correspondem a

[...]178 vilas e favelas, 21 conjuntos habitacionais de interesse social já favelizados, [...] além de dez outros assentamentos sem classificação prévia, mas que possuem processo de favelização e característica de ocupação irregular e nos quais seja possível viabilizar sua urbanização e regularização.

Conjuntamente estas áreas irregulares perfazem uma população estimada de 507.378 habitantes e 125.629 domicílios, distribuídos em uma área aproximada de 15,7km² dos 335km² do Município. Isto indica que os 22% da população de vilas e favelas ocupam apenas 5% do território municipal apontando para uma marcada disparidade no processo de ocupação do solo na cidade. (PEREIRA *et al*, 2007. p 1)

Estas áreas foram identificadas e classificadas como ZEIS (Zonas de Especial Interesse Social), segundo o mapa de zoneamento de Belo Horizonte e são alvos de futuras intervenções de reestruturação urbana.

Nesse sentido, considerando a extensão territorial da problemática da habitação na capital mineira, a pesquisa se mostra relevante ao passo que possibilita a geração de diretrizes capazes de programar melhorias em projetos habitacionais futuros, contribuindo para um bem-estar social e auxiliando na manutenção das questões ambientais relativas ao conforto térmico. Além disso, considerando as benfeitorias alcançadas pela adoção de estratégias construtivas adequadas à zona bioclimática de Belo Horizonte, pode-se elevar os níveis de eficiência dos projetos desenvolvidos para a capital.

Pretende-se ainda, ressaltar a necessidade de reflexão sobre os modelos habitacionais voltados ao interesse social que, de maneira geral, apresentam deficiências nos índices de conforto ambiental, especialmente no âmbito do conforto térmico, como aponta Assis *et al* em estudo sobre habitação de interesse social e

1 “Programa Vila Viva: intervenção em assentamentos precários”. Claudius Vinícius Leite Pereira, Andrea Scalon Afonso e Maria Cristina Fonseca de Magalhães. 2007.

eficiência energética apresentado no IICBEE (II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética):

A habitação social no Brasil não está, em geral, bem adaptada ao clima local, provocando más condições de conforto térmico e de iluminação que, aliadas a instalações elétricas precárias e ao uso indiscriminado do chuveiro elétrico, acabam aumentando desnecessariamente o uso de energia e o custo de vida dessas populações. (ASSIS *et al.* p 1. 2007)

Nos capítulos que se seguem será abordada a questão da habitação de interesse social no município de Belo Horizonte - Minas Gerais, com destaque para o conjunto habitacional Granja de Freitas III e para a atuação da PBH, concomitantemente à apresentação de normas técnicas balizadoras da qualidade ambiental de edificações residenciais, seguido da avaliação pós-ocupação e seus resultados sobre as análises sobre o Conjunto.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Habitação de interesse social em Belo Horizonte

Compreendida como necessidade básica humana, a habitação deve cumprir efetivamente seu papel social, garantindo abrigo e segurança, além de proporcionar, através de sua composição arquitetônica/estrutural, conforto espacial e sensório/afetivo.

De alguma maneira é preciso morar. No campo, na pequena cidade, na metrópole, morar como vestir, alimentar, é uma das necessidades básicas do indivíduo. Historicamente mudam as características da habitação, no entanto é sempre preciso morar. (RODRIGUES, 1990, p.11)

Projetada para atender aos ideais sanitaristas do século XIX, de caráter moderno e baseada nas experiências urbanísticas de cidades europeias e norte-americanas, a nova Capital Mineira se mostrava como um projeto moderno e essencial ao desenvolvimento nacional. Aarão Reis, engenheiro responsável pelo projeto urbano da cidade, seguiu parâmetros do estilo progressista e funcional, segmentando Belo Horizonte de acordo com funções e necessidades sociais, em três zonas específicas:

A zona urbana que constituía o espaço moderno e ordenado reservado para as elites mineiras. Possuía avenidas largas, retas, geométricas, infraestrutura sanitária e técnica, área que deveria ser espelho das cidades mais modernas do mundo; a zona suburbana, fora dos limites da Avenida do Contorno que funcionava como uma fronteira que separava a vida urbana da suburbana, onde as moradias eram sofríveis e os serviços precários; e, por fim, a zona rural, um cinturão verde, onde se localizariam os núcleos coloniais que abasteceriam a Capital de frutas, legumes, verduras e matéria prima para a sua construção (OLIVEIRA, 2004, P, 345-35)

Contudo, após sua inauguração às pressas e problemas de segregação sócio espacial, áreas com deficiência de infraestrutura urbana nas zonas externas ao cinturão da Avenida do Contorno foram ocupadas pela população que não conseguia se estabelecer na zona urbana devido a especulação imobiliária e o custo de vida baseado em padrões elitistas. Essa ocupação, desordenada e

indiscriminada, foi essencial para agravar os problemas de habitação que a cidade vinha desenvolvendo mesmo antes de sua inauguração².

Como resultado, nos 30 anos que se seguiram após a inauguração de Belo Horizonte, aconteceram vários movimentos de ocupação e remoção constantes, uma vez que à medida que áreas da cidade eram urbanizadas e valorizadas, os aglomerados eram removidos, ressaltando a ideologia sanitarista sobre a qual a cidade foi planejada inicialmente, mas, também, o caráter repressivo do poder público ao lidar com a questão da habitação popular e seu crescimento na cidade. Mais tarde, sob a justificativa de urbanização e obras que visam à coletividade (paradoxalmente), intensificou-se o combate aos aglomerados com intuito de extingui-los, gerando conflitos e movimentos de resistência por parte dos moradores que, ora ocupavam novas áreas, ora retornavam para o mesmo lugar onde foram removidos. Apenas após essa mobilização e resistência da população com relação ao combate aos aglomerados, que o poder público passa a tratar a considerar a situação como questão social, tratando a favela como objeto de política, (GUIMARÃES, 1992. Pp 3-6).

Em 1963 e realizado o primeiro Seminário Nacional de Habitação e Reforma Urbana. no País que propôs a definição de, uma política nacional de habitação popular. Em consequência, pela primeira vez o governo do Estado de Minas chama a si a responsabilidade de tratar a questão da moradia popular e, em especial, a das favelas. Nessa perspectiva foi proposta a construção de uma, grande área de conjuntos habitacionais destinada a abrigar a população favelada de Belo Horizonte, a época calculada em, aproximadamente, 120 mil pessoas, morando em 25.076 domicílios⁴. (GUIMARÃES, 1992. p. 6)

² Entre 1893-1897, época da construção da cidade, a população local passou de 2 mil 650 para 12 mil habitantes, o que representa uma taxa de crescimento de 45,9% ao ano. A hospedaria provisória feita pela Comissão de Construção para abrigar temporariamente o trabalhador, com capacidade para 200 pessoas, foi insuficiente para acolher a todos os que chegavam, o que provocou o surgimento de cafuas e barracos por todos os lados. Em consequência, em 1895, dois anos antes de ser inaugurada, Belo Horizonte já contava com duas áreas de invasão – a do Córrego do Leitão e da Favela ou Alto da Estação - com aproximadamente 3 mil pessoas. (GUIMARÃES, B. M. – Favelas em Belo Horizonte: Tendências e Desafios – Revista Análise & Conjuntura, BH – v. 7, nº 2 e 3, maio/dez 1992)

Em 1993, com a criação da Política Municipal de Habitação, gerida pela URBEL (Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte)³, e dos instrumentos de gestão pública envolvidos no processo como o Orçamento Participativo⁴ (OP), a questão das habitações de interesse social, bem como das ocupações irregulares, passou a ser priorizada como um dos problemas mais sérios a serem enfrentados pela gestão pública da cidade de Belo Horizonte. (LEITE, SCALON E FONSECA, 2007).

Dividido em quatro categorias, o OP possui orçamento direcionado também a produção de moradias (OPH)⁵ para famílias de baixa renda e/ou oriundas de processos de remoção de áreas risco, tendo sido responsável pela produção de “mais de três mil unidades habitacionais, beneficiando, aproximadamente, 16 mil pessoas” (portal eletrônico da PBH⁶).

Apesar da pertinência das preocupações colocadas, não há projetos, dentro dos programas implantados pelo poder público municipal, que agreguem conceitos de sustentabilidade voltados ao conforto ambiental e às questões pertinentes à arquitetura bioclimática, como demonstra Assis *et al* (2006) em estudo para elaboração de um protótipo de habitação de interesse social ligado a conceitos de eficiência energética para a cidade de Belo Horizonte. As simulações feitas sobre os modelos existentes apresentaram deficiência no desempenho térmico, comprometendo a qualidade ambiental da edificação devido, principalmente, a

³ URBEL –. Criada em 1993, a Companhia é responsável pela implementação da Política Municipal de Habitação Popular.

⁴ Implantado no ano de 1993, o Orçamento Participativo (OP), é um instrumento da gestão pública que se destaca por seu caráter democrático, se configurando como “principal canal de participação social da Prefeitura de Belo Horizonte, propicia uma nova forma de administrar o município ao envolver os cidadãos na definição de obras e investimentos a serem realizados na cidade.” ><http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/orcamento-participativo/apresentacao>< Acessado em Maio de 2016.

⁵ OPH – Orçamento Participativo da Habitação, criado em 1996.

⁶ Portal eletrônico da PBH ><http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/participacao-cidada/op-orcamento-participativo>< Acessado em Maio de 2016

implantação inadequada quanto à orientação solar, adoção de materiais inadequados às características da zona bioclimática e barreiras que comprometem o uso da ventilação cruzada.

Nesse contexto, tem-se a habitação cumprindo seu papel social de dar abrigo e segurança a seus moradores, porém com notável deficiência no âmbito de conforto ambiental, visto que os programas para implantação de conjuntos sociais na capital mineira apresentam orçamentos pouco flexíveis, impactando diretamente na escolha de materiais de construção e soluções arquitetônicas que se tornam cada vez mais enxutas no que tange a organização e distribuição dos ambientes internos, bem como a falta ou ineficiência de dispositivos de controle de insolação, ventilação e iluminação naturais.

A avaliação pós-ocupação vêm, nesse sentido, qualificar as condições de conforto térmico das habitações do Conjunto Granja de Freitas III – BH através da percepção dos próprios moradores e análises *in loco*, a fim de subsidiar estudo capaz de melhorar as condições de habitabilidade das edificações dentro dos preceitos relativos à arquitetura bioclimática, priorizando o desempenho térmico.

2.2 Conjunto habitacional Granja de Freitas III

Buscando atender a demanda do OPH, entre os anos de 1999 e 2001 foi construído no bairro Granja de Freitas, próximo à divisa do município de Sabará, o conjunto habitacional Granja de Freitas III, também chamado de Conjunto Residencial Jardim das Orquídeas, para abrigar uma população proveniente de 26 núcleos do Movimento dos Sem-Casa (famílias que viviam de aluguel, em coabitação, em áreas de risco das favelas e nas ruas). O bairro hoje abriga cinco conjuntos habitacionais construídos entre os anos de 1997 a 2008 com diferentes tipologias que variavam de unidades térreas com possibilidade de expansão a edificações verticalizadas como aponta Baptista em estudo realizado no ano de 2011.

Constatou-se que havia diferentes tipologias construídas desde 1997 até 2008. Além disso o bairro ainda receberia mais conjuntos do que aqueles

que estão em construção. O bairro sozinho representa 11% das unidades habitacionais produzidas pela SMAHAB⁷ em Belo Horizonte. Se forem somadas àquelas que ainda serão implantadas, constituirá mais de 16% desse universo. (BAPTISTA, 2011. p 62) (Nota de rodapé inserida pela autora)

2.2.1 Considerações Preliminares

O conjunto Granja de Freitas III, também conhecido por Conjunto Residencial Jardim das Orquídeas, implantado no bairro Granja de Freitas, faz divisa a leste com o município de Sabará, a oeste com o bairro Vera Cruz, a sul com o bairro Taquaril e ao norte com a Vila da Área, como mostra a *Figura 1*.

⁷ SMAHAB - Secretaria Municipal Adjunta de Habitação. Responsável pela gestão do programa OPH desde o ano de 2001.



Figura 1 - mapa de localização bairro Granja de Freitas

Fonte: Elaboração própria com base no Google Maps

A via de trânsito identificada como **VIA 1** representa a Av. dos Andradas que se transforma, logo após a ETE ARRUDAS - COPASA, em Rua Marzagânia representada, na *Figura 1*, por **VIA 2**. A Rua Marzagânia é o principal eixo de ligação entre a região central da Capital Mineira com o Município de Sabará e permite acesso às vias que chegam ao conjunto Granja de Freitas III. A **VIA 3**, Rua Sabará, assim como a **VIA 4**, Rua do Grupo, são as duas vias que dão acesso à **VIA 5**, Rua

São Vicente (para quem vem de Belo Horizonte ou Sabará), principal via do bairro e única via de acesso ao conjunto.

De acordo com a Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo de Belo Horizonte (Lei 7.166/96), o bairro Granja de Freitas está inserido numa Zona de Adensamento Restrito – 2 (ZAR-2) sobreposta por uma Área de Especial Interesse Social – 1 (AEIS – 1), o que confere diretrizes especiais voltadas à demanda por habitação apesar das restrições de ocupação determinadas pela ZAR-2 que, de forma sucinta, preza pelo não adensamento das áreas, seja em função de evitar sobrecarga da infraestrutura local ou em função de limitações físicas ambientais como altas declividades.

A Lei 7.166/96 delibera que

AEIS - são áreas, edificadas ou não, destinadas à implantação de programas e empreendimentos de interesse social vinculados ao uso habitacional, conforme diretrizes da Política Municipal de Habitação. (Lei 7.166/96, Cap V, Seção I, Art. 145.)

Essa condição urbanística acaba por definir o perfil da população que reside no bairro e, por conseguinte, no conjunto habitacional Granja de Freitas III, ocupado, majoritariamente por uma população com renda de até três salários mínimos, limite estabelecido pelos programas habitacionais de Belo Horizonte para população de baixa renda.

Em 2000, foi realizado o cadastramento⁸ do perfil socioeconômico dos futuros moradores do conjunto habitacional Granja de Freitas III, o que, em conjunto com o senso domiciliar realizado pelo Observatório das Metrópoles - Núcleo Minas Gerais - Proex/PUC Minas (2003), foi responsável por caracterizar a população e levantar dados que “reafirmam características da população pobre, tais como a monoparentalidade, a baixa incidência de famílias unipessoais e a presença

⁸ Cadastramento realizado pela gestão municipal da política habitacional de Belo Horizonte a cargo da Secretaria Municipal de Habitação (SMHAB)

relativamente elevada de parentela (netos e outros parentes)”, além disso, verificou-se também uma prevalência da ordem de 59% do sexo feminino entre os futuros moradores. (COLEÇÃO HABITARE, 2007, p 554)

Dentro do mesmo censo (2003), o Observatório das Metrôpoles - Núcleo Minas Gerais - Proex/PUC Minas, questionou os moradores do Conjunto Granja de Freitas III sobre a qualidade das novas habitações em comparativo às habitações que residiam antes da mudança. Constatou-se que 100% dos entrevistados consideraram a nova moradia como boa, como demonstra a *Figura 2*, porém, quando questionados sobre aspectos relativos à violência, ao tráfico de drogas, ao acesso aos meios de transporte público, equipamentos de lazer, postos de saúde, escolas, serviços diversos e oferta de emprego, entre os anos de 2000 e 2003, os moradores avaliaram a mudança de forma negativa, (COLEÇÃO HABITARE, 2007, 550).

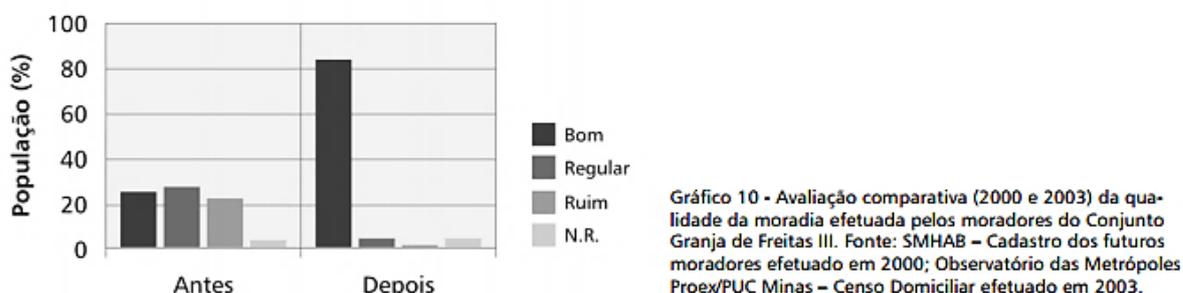


Figura 2 - Avaliação da qualidade das habitações em 2003

Fonte: Coleção Habitare, 2007

2.2.2 Levantamento técnico construtivo funcional

O conjunto Granja de Freitas III conta com 146 casas geminadas de dois pavimentos agrupadas em blocos, apresentando variação de 03 (três) e 02 (dois) dormitórios em função do tamanho das famílias, com possibilidade de expansão para mais um dormitório no primeiro piso nas unidades de 02 (dois) quartos. Os blocos foram dispostos de acordo com a topografia do terreno, atendendo às diretrizes de menor

movimentação de terra e aproveitamento do mesmo, (Plano de Trabalho - Projeto Executivo Granja de Freitas III, disponibilizado pela URBEL).

Ao todo, são 54 unidades de três quartos (unidade tipo I) e 92 unidades de dois quartos (unidade tipo II), perfazendo uma área construída de 56 m² e 49 m² respectivamente. Todas as unidades contam com 01 (uma) sala, 01 (um) banheiro social, 01 (uma) cozinha e área de serviço, como indicam as Figuras 3 e 4.

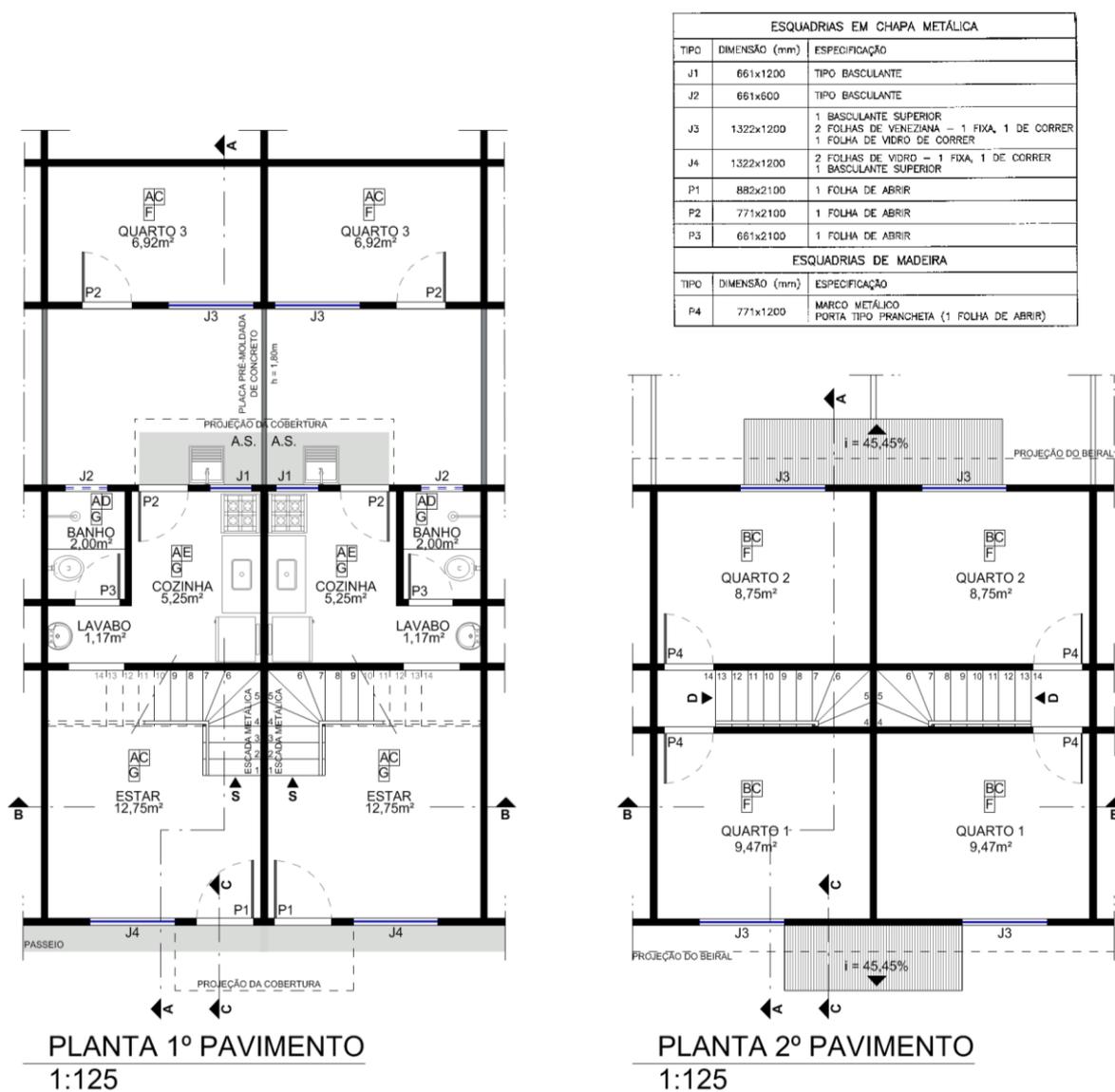


Figura 3 - Conjunto Granja de Freitas III: plantas unidade tipo I

Fonte: Elaborado pela autora com base em documentos disponibilizados pela URBEL, 2016

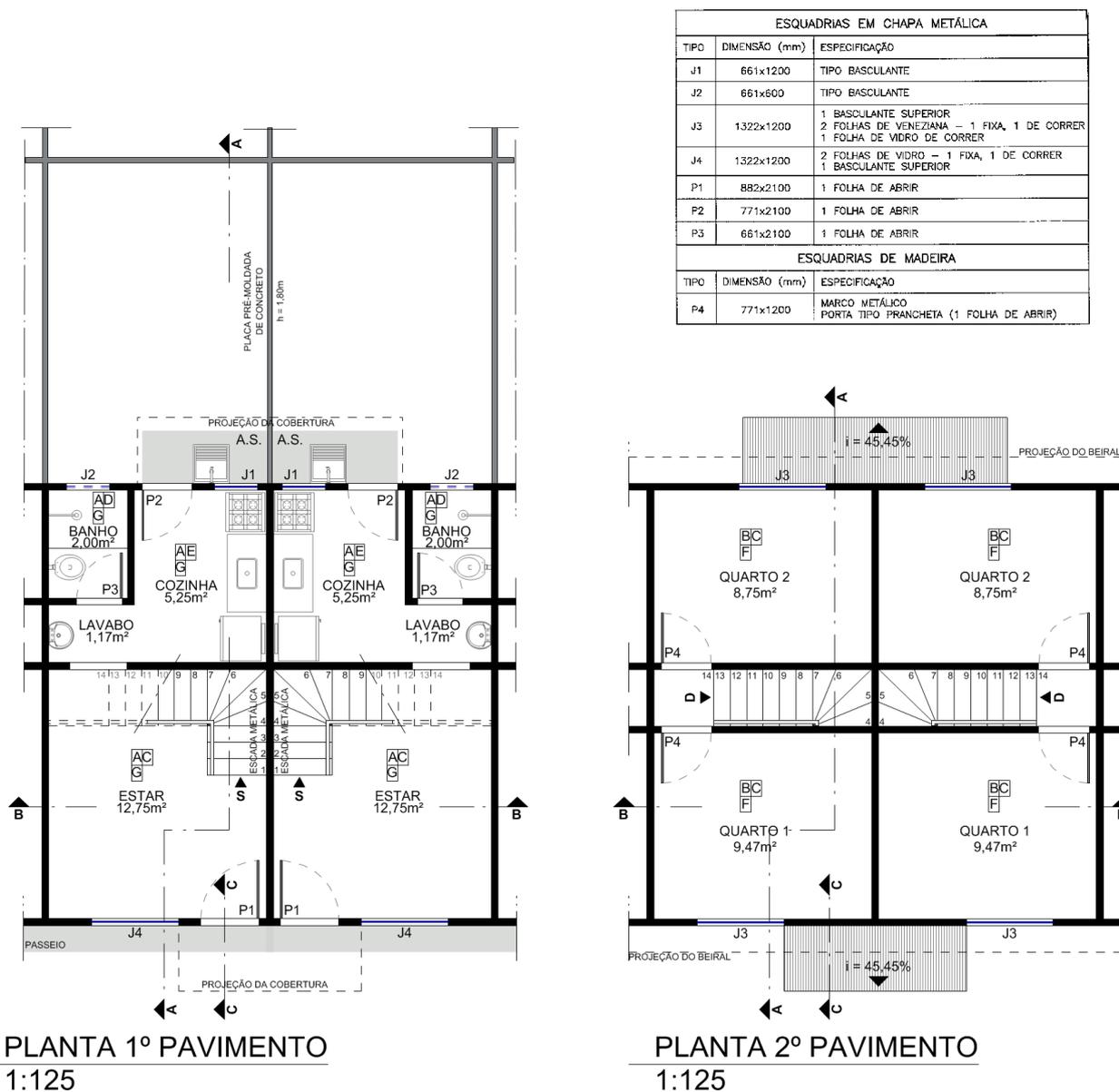


Figura 4 -Conjunto Granja de Freitas III: plantas unidade tipo II

Fonte: Elaborado pela autora com base em documentos disponibilizados pela URBEL, 2016

O sistema estrutural adotado é compreendido por alvenaria autoportante, sistema que trabalha sob compressão⁹ e dispensa o uso de vigas e pilares, funcionando

⁹ O sistema de alvenaria autoportante trabalha apenas sobre compressão. Para auxiliar na tração condicionada pela ação dos ventos, são utilizados pilaretes, compreendidos por um sistema que

como estrutura e vedação concomitantemente. O sistema gera menor quantidade de resíduos e desperdícios dos materiais de construção por ser projetado com precisão e de forma modular, devendo prever todas as instalações complementares e possíveis expansões ainda na fase de projeto por conta de seu caráter pouco flexível a alterações.

Por ser um sistema construtivo de menor custo, se compararmos aos sistemas convencionais de construção utilizados hoje no Brasil, e que confere maior rapidez na construção das edificações, a alvenaria autoportante está muito presente nos projetos voltados a construção de habitações de interesse social, tanto em unidades térreas como nas edificações verticalizadas de até quatro pavimentos. No caso do conjunto Granja de Freitas III, utilizou-se o “Tijolito”, bloco fabricado em solo-cimento¹⁰ prensado num sistema de encaixe macho e fêmea, (HABITARE, 2007, p 539).

O solo-cimento só foi amplamente aplicado em moradias por volta de 1978, quando o antigo BNH aprovou a técnica para construções de habitações populares. "Na época, estudos feitos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e pelo Ceped (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) comprovaram que, além do bom desempenho termoacústico, o solo-cimento aplicado em construções levava a uma redução de custos de 20% a 40%, se comparado com a alvenaria tradicional de tijolos de barro ou cerâmicos", diz Fernando Teixeira, consultor na área de solo-cimento, (REVISTA TÉCNICA, ed. 85, 2004).

Segundo ASSIS (2012) o Tijolito, considerado como um tijolo de terra crua devido ao método de fabricação, não passa por nenhum processo de queima para atingir a cura dos blocos, gerando menor agressão ao meio ambiente ao passo que não

incorpora um vergalhão aos vazados dos blocos estruturais preenchidos com groute (argamassa com alta resistência mecânica) em pontos específicos da edificação.

¹⁰ Consiste na “mistura homogênea de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas, depois compactada na forma de tijolos, blocos ou paredes monolíticas. Desde que bem executado, o componente apresenta boa durabilidade e resistência à compressão. (Revista Técnica, ed. 85, 2004)

necessita de nenhum tipo de combustível e, portanto, não gera resíduos e gases responsáveis pelo efeito estufa e poluição do ar. Além disso, é um processo que não demanda mão-de-obra especializada, podendo ser fabricado no próprio canteiro de obras.

Nas unidades geminadas do conjunto foram utilizados os blocos de encaixe representados na *Figura 5*.

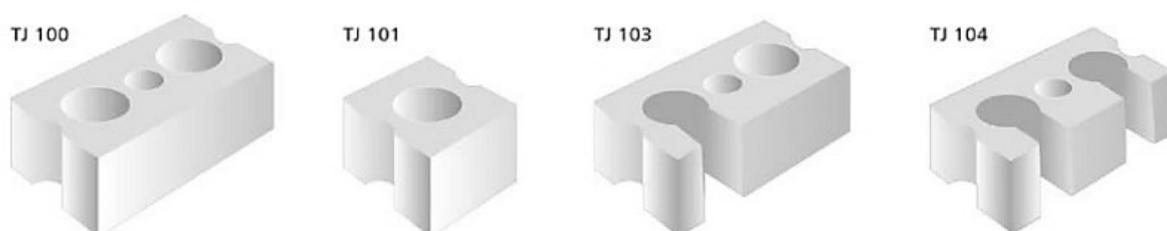


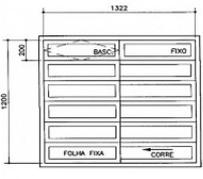
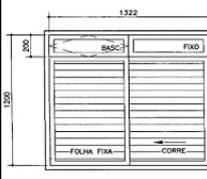
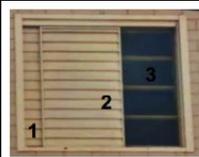
Figura 5 - Tipologias dos blocos de solo-cimento das edificações do conjunto Granja de Freitas III

Fonte: Coleção Habitare, 2007

O sistema de cobertura das unidades habitacionais é composto por telhado aparente em telha cerâmica com engradamento em madeira, salvo as coberturas utilizadas em construções feitas a posteriori pela própria população residente no conjunto.

A *Tabela 1* ilustra os tipos de portas e janelas utilizadas nas edificações. Apesar das intervenções sofridas desde sua inauguração, a maioria das unidades permanece com os elementos originais, complementados com dispositivos de segurança e de proteção solar, como cortinas em alguns casos.

Tabela 1 - Identificação das esquadrias adotadas no conjunto Granja de Freitas III

Conjunto Granja de Freitas III - Identificação das Esquadrias			
Esquadrias	Janelas		Portas
Nomeclatura	J4	J3	P1
Localização	Localizadas no estar das unidades (primeiro pavimento)	Localizadas no quarto das unidades (segundo pavimento)	Localizadas no primeiro pavimento das unidades: porta de acesso
Tipologia	Duas folhas de vidro - 1 fixa, 1 de correr e 1 basculante superior. Caixilharia metálica: marcos em chapa 18, folhas em chapa 22 e vidro comum tipo fantasia com espessura de 4mm.	1 basculante superior, 2 folhas de veneziana - 1 fixa, 1 de correr externas, 1 folha de vidro de correr interna. Caixilharia metálica: marcos em chapa 18, folhas em chapa 22 e vidro comum tipo fantasia com espessura de 4mm.	1 folha de abrir. Caixilharia metálica: marcos em chapa 18 e folha em chapa 22.
Representação gráfica (cotas em mm)	 <p>Fonte: URBEL, MAIO 2016</p>	 <p>Fonte: URBEL, MAIO 2016</p>	 <p>Fonte: URBEL, MAIO 2016</p>
Foto	 <p>1. parte fixa 2. parte móvel (correr) 3. basculante Fonte: Google Maps, 2016</p>	 <p>1. parte fixa 2. parte móvel veneziana (correr) 3. parte móvel interna (correr) Fonte: Google Maps, 2016</p>	 <p>Fonte: Google Maps, 2016</p>

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

A Figura 6, ilustra as condições do entorno próximo às edificações a serem avaliadas nesta pesquisa, que permaneceu, desde a inauguração em 2001, sem alterações significativas, salvo aquelas de infraestrutura previstas pela municipalidade, como se pode notar pela Foto 1. De acordo com estudo divulgado pela Coleção Habitare em 2007, a obra, que teve

custo total de R\$ 3.456.969,03 incluiu as despesas com terreno, elaboração de projetos, serviços de infra-estrutura e construção das unidades habitacionais. Foi adotado o modelo de gestão pública, tendo, portanto, passado pelo processo de licitação do projeto e da obra, (COLEÇÃO HABITARE, 2007, p 539).



Foto 1 - Vista panorâmica do conjunto Granja de Freitas III. Foto: Wander Brás, 2001

Fonte: Coleção Habitarê, 2007

As vagas de estacionamento estão distribuídas ao longo dos espaços descobertos de uso comum. De acordo com a planta de implantação¹¹ disponibilizada pela URBEL, foram previstas 100 vagas, sendo que 35 destas estão dispostas nos bolsões E1 e E2, 13 estão nos limites do cul-de-sac e 52 alocadas ao longo da rua interna, (Figura 6).

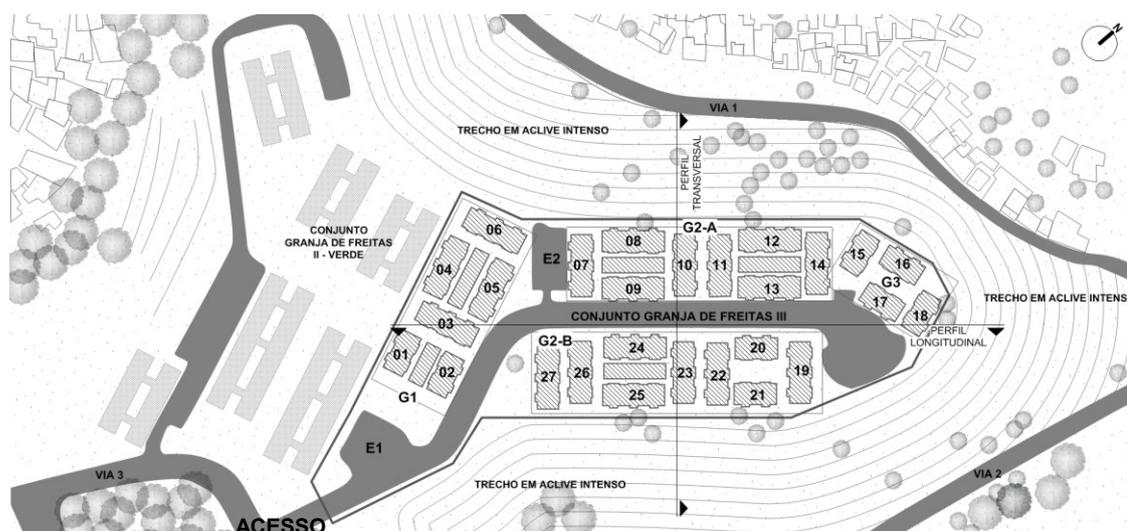


Figura 6 - Implantação geral conjunto Granja de Freitas III

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL e Google Maps

¹¹ ANEXO A – IMPLANTAÇÃO GERAL CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III

Os elementos hachurados da *Figura 6*, dentro do limite estabelecido, correspondem aos blocos das unidades habitacionais que acomodam de 04 (quatro) a 06 (seis) unidades cada um. Dividiu-se os blocos em 03 (três) grupos com características semelhantes, as quais serão apresentadas no capítulo seguinte: G1 – grupo 1, G2 – grupo 2, dividido em A e B e, por fim, G3 – grupo 3.

A maior cota altimétrica do conjunto se encontra próxima ao acesso (N = 838,66), enquanto o ponto mais baixo se encontra na porção oposta onde se tem implantado o agrupamento G3 (N = 823,35). A declividade média total do conjunto, portanto, é da ordem de 6%, ilustrada pelas *Figuras 7 e 8*.



Figura 7 - Perfil transversal do terreno sem movimentação de terra (sem escala)

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL



Figura 8 - Perfil longitudinal do terreno sem movimentação de terra (sem escala)

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

2.2.3 Levantamento fotográfico

A fim de ilustrar e referenciar de forma mais clara o estudo de caso, foram registradas no presente tópico imagens de pontos e edificações estratégicas do conjunto Granja de Freitas III.

A *Foto 2* permite identificar o conjunto através dos blocos de unidades habitacionais. À esquerda, tem-se o bloco de unidades identificado como G1 no tópico anterior.



Foto 2 - Conjunto Granja de Freitas III: acesso

Fonte: Acervo pessoal

A *Foto 3* ilustrada pelos grupos habitacionais G2-A à esquerda, G2-B à direita e G3 ao fundo, apresenta o sistema de cobertura em telha cerâmica aparente presente em todas as unidades. Através da imagem é ainda possível perceber a aridez do local provocada pela ausência de árvores na rua interna e a distribuição das vagas de estacionamento ao longo da mesma.



Foto 3 - Conjunto Granja de Freitas III: coberturas e blocos habitacionais

Fonte: Acervo pessoal

A *Foto 4* ilustra os tipos de esquadrias e acabamento externo utilizados nas unidades habitacionais. É importante salientar que as grades de proteção foram colocadas pelos próprios moradores. No grupo G2-B, à direita, nota-se que a maioria das janelas encontram-se fechadas e, em alguns casos, apresentam dispositivos de proteção solar em função da insolação direta que recebem durante toda a parte da tarde.



Foto 4 - Conjunto Granja de Freitas III - esquadrias e acabamento externo

Fonte: Acervo pessoal

A *Foto 5* ilustra as modificações feitas pelos próprios moradores ao longo dos anos. À esquerda, próximo ao acesso do conjunto habitacional, nota-se duas precárias coberturas construídas pelos próprios moradores para servir de abrigo aos carros estacionados (E1). À direita, percebe-se a adição de um cômodo à uma unidade tipo II (dois quartos) culminando na ampliação da unidade inicial prevista em projeto. Além da janela voltada à via interna do conjunto, há a presença de uma porta de acesso.



Foto 5 - Conjunto Granja de Freitas III – intervenções

Fonte: Acervo pessoal

3 METODOLOGIA APLICADA

A fim de verificar as condições de conforto térmico das habitações de interesse social investigadas no presente trabalho e identificar patologias que comprometam o bem-estar do usuário, adotou-se, como principal instrumento de coleta de dados e análise, o método de Avaliação Pós-ocupação Investigativa (ORNSTEIN, 1992), que consiste, basicamente, em visitas ao ambiente estudado, aplicação de questionários e entrevistas com os moradores/usuários das habitações para, posteriormente, gerar gráficos com valores percentuais dos índices de conforto térmico coletados. Esses dados percentuais servirão de base para gerar diretrizes e indicação de intervenções capazes de auxiliar na melhoria e/ou manutenção do conforto ambiental dos usuários.

Foram necessárias cinco etapas para desenvolvimento da APO, correspondendo, respectivamente, a:

- A. Coleta de dados para descrição do estudo de caso: tendo o objeto já definido, essa etapa é importante para que se levante o contexto histórico no qual o mesmo está inserido, bem como suas características técnico construtivas. Foram feitas pesquisas na web e junto à URBEL, a fim de levantar os dados pertinentes.
- B. Preparação de dados para desenvolvimento da APO: nessa etapa são analisados os dados obtidos na primeira etapa buscando identificar características do conjunto pertinentes à pesquisa como aquelas oriundas da solução de implantação e o número de moradores do conjunto, a fim de gerar uma amostra representativa de entrevistados para aplicação da avaliação. Cabe ainda nessa etapa, visitas *in loco* para análise técnica visual, elaboração e aplicação de questionários teste em parcela menor, de população representativa e, posteriormente, do questionário final em parcela integral nos entrevistados do Conjunto, o qual será responsável pela extração de dados sobre o conforto térmico das habitações.
- C. Análise e cruzamento de dados coletados: nessa etapa, os dados obtidos junto aos moradores através da APO são avaliados e interpretados.

- D. Produção de gráficos sintético-ilustrativos da situação atual: os dados obtidos na Etapa B (*preparação de dados para desenvolvimento da APO*), nessa etapa, são estruturados em forma de gráficos para facilitar a leitura dos mesmos e gerar dados quantitativos.
- E. Produção de diretrizes capazes de conferir melhorias à habitação referentes ao conforto térmico: na quinta e última etapa, após análise dos dados técnicos construtivos, percepções dos usuários coletados e verificação da NBR 15220:2005, é feita uma avaliação global da situação atual das habitações do Conjunto Granja de Freitas III a fim de identificar possíveis alternativas para melhoria do conforto térmico das mesmas.

O *Fluxograma 1*, ilustra os passos que levaram a construção da Avaliação de Pós-ocupação do objeto de estudo e, conseqüentemente das análises posteriores.



Fluxograma 1 - Construção do processo adotado para análise com APO

Fonte: Elaboração própria

Além das etapas apresentadas, fez-se necessário, para análise do estudo de caso, análises técnicas do entorno, insolação, sombreamento e ventilação do conjunto habitacional Granja de Freitas III. De início foi elaborada análise do entorno próximo ao Conjunto para definição de grupos de análise a serem investigados.

3.1 Avaliação pós-ocupação (APO)

A técnica de APO¹² tem sido utilizada correntemente para avaliar o ambiente construído (Ornstein, 1992, p 12) devido a sua característica investigativa que permite atrelar diferentes tipos de pesquisa como entrevistas, dinâmicas, análises técnico-construtivas e econômico-financeiras e aplicá-las junto à população, aos idealizadores da proposta, aos órgãos reguladores e financiadores.

Com foco não só nos aspectos técnico-construtivos da edificação, a técnica dá condições de avaliar as questões que envolvem a própria ocupação do edifício e sua manutenção, tendo como principal condicionante de avaliação o ponto de vista dos usuários, que, inclusive, contribui significativamente na detecção de patologias de projeto que podem ser corrigidas e evitadas em elaborações futuras. Considerando que no Brasil ainda tem-se “poucas pesquisas voltadas para a fase de uso, operação e manutenção” (ORNSTEIN, 1992, p 19) do edifício, avaliar edificações já consolidadas é uma alternativa capaz de gerar subsídios de pesquisa que prolonguem a vida útil das mesmas, adequando-as do ponto de vista técnico-construtivo e, de forma precisa e equivalente, à evolução das necessidades do homem como ator no processo de produção do ambiente construído.

Nesse contexto, a APO passa a ser ainda mais relevante no caso de programas de interesse social,

nos quais, no caso brasileiro, nas últimas décadas, têm-se adotado soluções urbanísticas, arquitetônicas e construtivas repetitivas em larga escala, para atender uma população, via de regra, muito heterogênea, cujo repertório cultural, hábitos, atitudes e crenças são bastante distintos já no próprio conjunto, e mais ainda em relação aos projetistas. (Coleção Habitare - Avaliação Pós-Ocupação - Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social, 2003, p 27)

Assim, as metas de uma APO, segundo Ornstein, são:

¹² Com suas primeiras aplicações em estudos relativos ao ambiente construído e comportamento datados de 1947 com a fundação do Midwest Psychological Field Station, a APO “surgiu como um método que pudesse inserir a incógnita ‘ambiente’ na equação indivíduo + comportamento, fornecendo principalmente insumos para o ramo da psicologia denominado ‘ecopsicologia’”. (ORNSTEIN, 1992, p.33)

- Promover a ação (ou a intervenção) que propicie a melhoria da qualidade de vida daqueles que usam um dado ambiente;
- Produzir informações na forma de banco de dados, gerar conhecimento sistematizado sobre o ambiente e as relações ambiente-comportamento. (ORNSTEIN, 1992, p.12)

3.1.1 Levantamento de dados

Na *Tabela 2*, foram indicados de forma sucinta os dados mais relevantes para elaboração das etapas da APO do objeto de estudo, já listadas.

Tabela 2 - Conjunto Granja de Freitas III: dados gerais

Localização	Bairro Granja de Freitas, Belo Horizonte – MG (porção leste da capital / divisa com o município de Sabará-MG)				
Área total (m ²)	Área total da projeção das edificações (m ²)	Densidade de ocupação (%)			
14.061,86	4.404,63	31,32			
Número de famílias	146 famílias oriundas de 26 núcleos do Movimento dos Sem-Casa de Belo Horizonte				
Unidades habitacionais	Tipologias	Área (m ²)	Repetições (un.)	Total (m ²)	
	Tipo I (03 quartos)	56	54	3024,00	
	Tipo II (02quartos)	49	92	4508,00	
	Materiais construtivos e de acabamento				
	Pisos	Vedações	Tetos	Coberturas	Esquadrias
	Concreto desempenado grosso com e = 0,05m no primeiro pavimento e laje de concreto com recapeamento de e = 0,08m no segundo pavimento.	Alvenaria autoportante em tijolito com e = 0,12m. Paredes internas: tijolito aparente em ambientes secos; barra impermeabilizante até h = 1,50m na área de chuveiro e 0,40m sobre a bancada da cozinha, lavatório e tanque. Paredes externas: Pintura com tinta acrílica vedaplast e calafetação de juntas com massa de calefetar.	Laje de 0,08m entre os pavimentos e cobertura em telha cerâmica aparente no segundo pavimento.	Todas as unidades possuem cobertura em telha cerâmica tipo colonial plana aparente com engradamento em madeira. Não há presença de forro ou laje sob a cobertura.	Janelas e portas externas em perfis e chapas metálicas com vedação em vidro comum 4mm no caso das janelas. Portas internas em madeira tipo prancheta.

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

3.1.2 Preparação da Amostragem

Quando se trata de conforto térmico ou, de forma mais abrangente, de conforto ambiental, as características do entorno somadas às condições apresentadas pelas edificações formam um conjunto de condicionantes que podem elevar ou diminuir drasticamente os níveis de conforto dos moradores ou usuários. Nesse sentido, analisar o entorno próximo às unidades do Conjunto é de extrema importância para que se consiga avaliar as considerações dos usuários quando entrevistados e

determinar indicações de alternativas para melhoria do conforto térmico das habitações.

Para identificação das influências do entorno sobre as edificações investigadas, foram considerados três grupos distintos que apresentam características semelhantes quanto às influências causadas pelo entorno próximo, como presença de barreiras físicas e de vegetação, indicado na *Figura 9*.

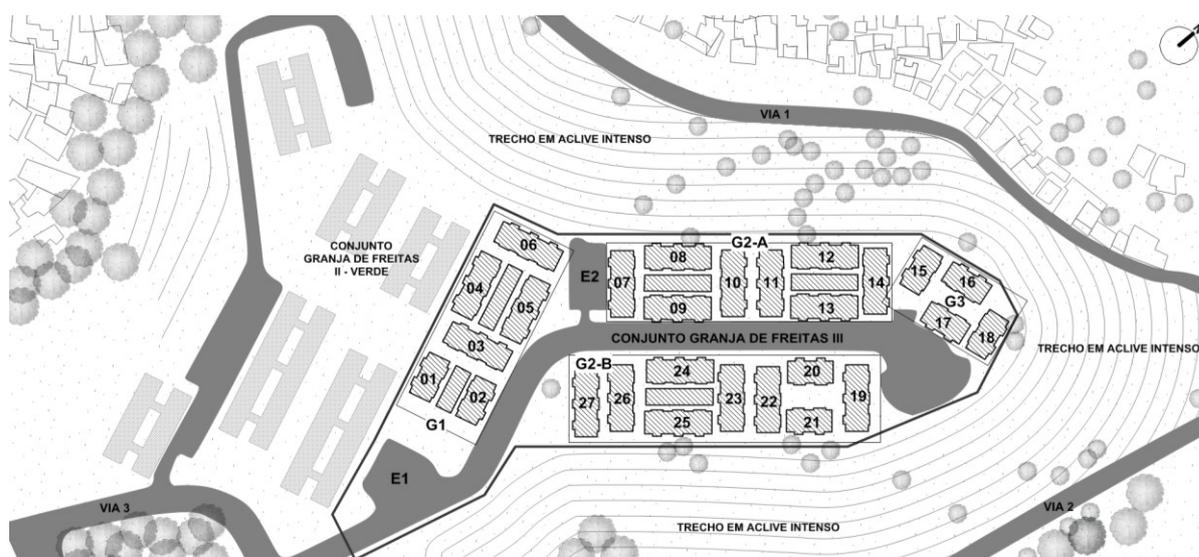


Figura 9 - Conjunto Granja de Freitas III: grupos de análise

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

O Grupo 1 (G1), possui edificações que fazem divisa com outro conjunto habitacional (Conjunto Granja de Freitas II – verde) e com a via de acesso interna do próprio Conjunto. O Grupo 2 (G2 A e B), possui edificações voltadas para via interna do conjunto e para áreas não edificadas com presença de vegetação de pouca densidade e, por fim, o Grupo 3 (G3), possui edificações que fazem divisa com o grupo 2, com cul-de-sac interno do Conjunto e com área não edificada.

A fim de verificar as implicações da solução de implantação dada ao Conjunto, foram analisados também os aspectos relativos às condições de sombreamento, orientação solar e direção dos ventos dominantes a serem apresentadas.

Desta forma, é possível justificar de forma técnica os motivos que levam a satisfação ou não dos moradores quanto à condição de conforto térmico das habitações e auxiliar na definição das unidades a serem investigadas na APO.

Considerando o número total de famílias residente no Conjunto (146), faz-se necessário a definição de uma amostra representativa de moradores a serem entrevistados para análise das condições de conforto térmico das unidades habitacionais. Para um limite de confiança de 95,5%, considerando uma margem de erro de 10%, o tamanho da amostra a ser investigada será de 60¹³ famílias, sendo que pelo menos um membro de cada família deve responder ao questionário.

Para aplicação do questionário, de forma a diluir a amostra representativa no conjunto Granja de Freitas III evitando, portanto, que a investigação fique concentrada em alguns pontos do mesmo, utilizou-se do agrupamento determinado em função das condições do entorno imediato (*Figura 9*). Considerando também as duas tipologias de unidades implantadas, bem como o número de vezes que cada uma se repete, estabeleceu-se o número de unidades, tipologias e blocos a serem investigados como indicado na *Tabela 3*.

¹³ Valor pré-definido em função de fórmulas aritméticas e extraído da Tabela 4 – *Tabela de Amostras Casuais Simples para Níveis de Confiança de 95,5%* (ORNSTEIN, 1992, p.80).

Tabela 3 - Conjunto Granja de Freitas III: definição de grupos, tipologias e amostras

BLOCO	GRUPO	Nº DE UNIDADES	TIPOLOGIA		Nº DE UNIDADES INVESTIGADAS	
1	G1	4	I		Tipo I: 2	
2	G1	4	I		Tipo I: 2	
3	G1	6	II		Tipo II: 3	
4	G1	6	I		Tipo I: 2	
5	G1	6	I		Tipo I: 2	
6	G1	6	II		Tipo II: 2	
Total Parcial		32	Tipo I: 20	Tipo II: 12	Tipo I: 08	Tipo II: 05
7	G2-A	6	II		Tipo II: 3	
8	G2-A	6	I		Tipo I: 2	
9	G2-A	6	I		Tipo I: 2	
10	G2-A	6	II		Tipo II: 2	
11	G2-A	6	II		Tipo II: 3	
12	G2-A	5	I		Tipo I: 2	
		1	II		Tipo II: 1	
13	G2-A	5	I		Tipo I: 2	
		1	II		Tipo II: 1	
14	G2-A	6	II		Tipo II: 3	
Total Parcial		48	Tipo I: 22	Tipo II: 26	Tipo I: 08	Tipo II: 13
15	G3	4	II		Tipo II: 2	
16	G3	4	II		Tipo II: 2	
17	G3	4	II		Tipo II: 2	
18	G3	4	II		Tipo II: 1	
Total Parcial		16	Tipo I: 0	Tipo II: 16	Tipo I: 0	Tipo II: 07
19	G2-B	6	II		Tipo II: 3	
20	G2-B	4	II		Tipo II: 2	
21	G2-B	4	II		Tipo II: 2	
22	G2-B	6	II		Tipo II: 2	
23	G2-B	6	II		Tipo II: 2	
24	G2-B	6	I		Tipo I: 2	
25	G2-B	6	I		Tipo I: 2	
26	G2-B	6	II		Tipo II: 2	
27	G2-B	6	II		Tipo II: 2	
Total Parcial		50	Tipo I: 12	Tipo II: 38	Tipo I: 4	Tipo II: 15
TOTAL		146	Tipo I: 54	Tipo II: 92	Tipo I: 20	Tipo II: 40
LEGENDA						
G1	grupo 1	Tipologia I	Tipologia II			
G2-A	grupo 2 - A	unidades habitacionais 03	unidades habitacionais 02			
G2-B	grupo 2 - B	(três) quartos	(dois) quartos			
G3	grupo 3					

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

3.2 Preparação dos questionários

Após a definição do tamanho da amostra e distinção dos grupos, definiu-se a escala de valores a ser adotada na investigação das unidades habitacionais. Considerando o objetivo da pesquisa em avaliar o conforto térmico, adotou-se a escala

apresentada na *Figura 10*, sendo que os adjetivos atribuídos aos valores numéricos estão diretamente ligados às sensações dos moradores no interior da edificação.



Figura 10 - Escala de valores para avaliação do conforto térmico

Fonte: Elaboração própria

Antes da aplicação do questionário final, elaborou-se um questionário teste (ver *Figura 11*) para ser aplicado a pessoas de mesma condição social a fim de identificar possíveis inconsistências na elaboração do questionário final, aprimorando-o e, assim, evitando resultados com baixo índice de confiabilidade que possam interferir na qualidade da pesquisa.

Abordou-se a questão de conforto térmico considerando quatro vertentes que se mostraram importantes na investigação do conforto das unidades habitacionais:

- A – sensações de frio e calor dentro da edificação nos períodos de verão e inverno;
- B – entrada de raios solares (insolação) nos períodos de verão e inverno;
- C – ventilação natural, considerando o tamanho das aberturas e o fluxo de ar no interior da edificação;
- D – Iluminação natural nos períodos de verão e inverno.

Com influência direta sobre as sensações de conforto do usuário/morador quando no interior da edificação, as características do entorno e os períodos e cômodos de maior permanência devem ser levados em conta e são parte integrante do questionário. A correlação destes dados com as respostas obtidas nos levará a

conclusões mais assertivas e à elaboração de diretrizes mais coerentes com a situação global do conjunto em análise.

Questionário aplicado aos moradores/usuários do conjunto habitacional Granja de Freitas III, localizado na porção leste de Belo Horizonte, visando a análise de conforto ambiental das unidades habitacionais nele implantadas.	
Identificação da unidade habitacional analisada (para uso exclusivo do avaliador)	
Grupo	<input type="radio"/> G1 <input type="radio"/> G2 <input type="radio"/> G3 Unidade habitacional nº
Identificação do morador / usuário	
Sexo	<input type="radio"/> feminino <input type="radio"/> masculino Faixa Etária <input type="radio"/> 10 - 20 anos <input type="radio"/> 20 - 40 anos <input type="radio"/> 40 - 60 anos <input type="radio"/> 60 anos ou mais
Há quanto anos é morador/usuário do conjunto?	<input type="radio"/> mais de 20 anos <input type="radio"/> 10 anos ou menos <input type="radio"/> 5 anos ou menos
Quantas pessoas moram na casa?	Em geral, você se sente confortável em casa? <input type="radio"/> sim <input type="radio"/> não
Faixa etária média	Por quê?
Qual dos períodos mais permanece em casa?	<input type="radio"/> manhã (até 11hrs) <input type="radio"/> tarde (11hrs - 18:00hrs) <input type="radio"/> noite (18hrs - 00hrs)
Qual o cômodo de sua maior permanência?	<input type="radio"/> quarto <input type="radio"/> sala <input type="radio"/> cozinha <input type="radio"/> área externa <input type="radio"/> outros
Como você avalia as condições de conforto térmico e lumínico quando está no interior da edificação:	
A - quanto às sensações de calor e frio	B - quanto a entrada de raios solares
Verão	Verão
<input type="radio"/> 1 = MUITO QUENTE	<input type="radio"/> 1 = MUITA ENTRADA (SEM PROTEÇÃO)
<input type="radio"/> 2 = QUENTE	<input type="radio"/> 2 = ENTRADA RAZOÁVEL
<input type="radio"/> 3 = UM POUCO QUENTE	<input type="radio"/> 3 = POUCA ENTRADA
<input type="radio"/> 4 = POUCO FRESCO	<input type="radio"/> 4 = ENTRADA COM PROTEÇÃO
<input type="radio"/> 5 = FRESCO	<input type="radio"/> 5 = ENTRADA EM ALGUMAS HORAS DO DIA
Inverno	Inverno
<input type="radio"/> 1 = MUITO FRIO	<input type="radio"/> 1 = NÃO HÁ ENTRADA EM NENHUM CÔMODO
<input type="radio"/> 2 = FRIO	<input type="radio"/> 2 = ENTRADA EM POUCAS HORAS DO DIA
<input type="radio"/> 3 = UM POUCO FRIO	<input type="radio"/> 3 = ENTRADA RAZOÁVEL
<input type="radio"/> 4 = NEM FRIO, NEM QUENTE	<input type="radio"/> 4 = ENTRADA NA MAIOR PARTE DO DIA
<input type="radio"/> 5 = AGRADÁVEL	<input type="radio"/> 5 = HÁ ENTRADA ADEQUADA
C - quanto à ventilação natural	D - quanto à iluminação natural
Tamanho de janelas e portas	Entrada de luz no verão
<input type="radio"/> 1 = INSUFICIENTE EM TODA CASA	<input type="radio"/> 1 = MUITA ENTRADA (SEM PROTEÇÃO)
<input type="radio"/> 2 = INSUFICIENTE EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA	<input type="radio"/> 2 = MUITA ENTRADA EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA
<input type="radio"/> 3 = SUFICIENTE EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA	<input type="radio"/> 3 = MUITA ENTRADA EM ALGUNS CÔMODOS
<input type="radio"/> 4 = SUFICIENTE NA MAIORIA DOS CÔMODOS	<input type="radio"/> 4 = ENTRADA SUFICIENTE EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA
<input type="radio"/> 5 = SUFICIENTE PARA TODA CASA	<input type="radio"/> 5 = ENTRADA SUFICIENTE EM TODA A CASA
Entrada de vento	Entrada de luz no inverno
<input type="radio"/> 1 = NÃO HÁ ENTRADA DE VENTO	<input type="radio"/> 1 = NÃO HÁ ENTRADA EM NENHUM CÔMODO
<input type="radio"/> 2 = ENTRADA DE VENTO EM EXCESSO EM TODA A CASA	<input type="radio"/> 2 = POUCA ENTRADA EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA
<input type="radio"/> 3 = ENTRADA EM EXCESSO EM ALGUNS CÔMODOS	<input type="radio"/> 3 = POUCA ENTRADA EM ALGUNS CÔMODOS
<input type="radio"/> 4 = SUFICIENTE EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA	<input type="radio"/> 4 = ENTRADA SUFICIENTE EM CÔMODOS DE MAIOR PERMANÊNCIA
<input type="radio"/> 5 = SUFICIENTE PARA TODA CASA	<input type="radio"/> 5 = ENTRADA SUFICIENTE EM TODA A CASA

Figura 11 - Questionário teste: APO - conjunto Granja de Freitas III

Fonte: Elaboração própria

Após aplicação do questionário teste, observou-se a necessidade de substituição de alguns termos e de se relacionar as respostas relativas ao conforto térmico à escala de valores determinada em função da relativização do conforto para cada morador/usuário, considerando que nem sempre o que foi considerado pela

pesquisa como muito confortável, por exemplo, se mostrou de fato muito confortável para os mesmos.

A partir dos ajustes mencionados, foi possível elaborar o questionário final¹⁴ a ser aplicado na amostra integral (60 famílias) do conjunto habitacional Granja de Freitas III, objeto de análise.

3.3 Questionário Aplicado

Foi aplicado à amostra de usuários-chave um questionário onde o avaliador deveria identificar a unidade habitacional pertencente ao entrevistado, bem como o grupo onde esta está inserida a fim de dar suporte às análises futuras, para então identificar o morador.

Feita a identificação pelo avaliador da unidade habitacional, o morador, ao responder o questionário, deve indicar o número de moradores que residem na unidade avaliada e quais os períodos do dia e cômodos de maior permanência. Estas indagações se fazem importantes considerando o momento em que será feita análise dos dados obtidos, mas, e principalmente, quando for elaborada diretrizes corretivas e/ou adaptativas das unidades avaliadas e projetos futuros para a mesma zona bioclimática.

Após o preenchimento destes dados, o morador deve responder às questões colocadas a respeito das sensações de conforto térmico e lumínico apresentados pela edificação, com variações para os períodos de verão e inverno quando considerado o conforto térmico, a insolação e iluminação natural e, no caso da ventilação natural, a variação quanto à presença de dispositivos que permitam a ventilação e a intensidade do fluxo de ar permitida por eles. A *Figura 12* ilustra os questionamentos colocados acima.

¹⁴ Item 3.3 – *Questionário aplicado*, p. 45

Questionário aplicado aos moradores/usuários do conjunto habitacional Granja de Freitas III, localizado na porção leste de Belo Horizonte, visando a análise de conforto ambiental das unidades habitacionais nele implantadas.					
Identificação da unidade habitacional analisada (para uso exclusivo do avaliador)					
Grupo	G1	G2	G3	Tipologia I	Tipologia II
Identificação do morador / usuário					
Sexo	femino	masculino	Faixa Etária	até 20 anos	20 - 60 anos
				60 anos ou mais	
Há quanto anos é morador/usuário do conjunto?				até 1 ano	1 - 20 anos
				mais de 20 anos	
Quantas pessoas moram na casa?					
Em qual dos períodos permanece me casa?			manhã (até 12h)	tarde (12h - 18:00h)	noite (18hrs - 06h)
Qual o cômodo de sua maior permanência?			quartos	sala	cozinha
				área externa	
Como você avalia as condições de conforto* quando está na casa:					
A - quanto às sensações de calor e frio			C - quanto a proteção das janelas		
Verão			Foi preciso colocar alguma proteção nas janelas e/ou portas por conta da entrada do sol? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não		
<input type="radio"/> QUENTE	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL				
<input type="radio"/> POUCO QUENTE	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL		Que tipo de proteção?		
<input type="radio"/> NEM FRIO, NEM QUENTE	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL				
<input type="radio"/> POUCO FRIO	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL		D - quanto a entrada de raios solares		
<input type="radio"/> FRIO	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL		Verão		
			<input type="radio"/> EXCESSO DE SOL	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL	
			<input type="radio"/> MUITO SOL	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL	
Inverno			<input type="radio"/> ADEQUADO	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> QUENTE	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL		<input type="radio"/> POUCO SOL	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> POUCO QUENTE	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL		<input type="radio"/> SEM SOL	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> NEM FRIO, NEM QUENTE	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL		Inverno		
<input type="radio"/> POUCO FRIO	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL		<input type="radio"/> EXCESSO DE SOL	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> FRIO	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL		<input type="radio"/> MUITO SOL	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL	
B - quanto à ventilação natural			<input type="radio"/> ADEQUADO	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL	
Tamanho de janelas e portas			<input type="radio"/> POUCO SOL	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> MUITO GRANDE	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL		<input type="radio"/> SEM SOL	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> GRANDE	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL		E - quanto à iluminação natural		
<input type="radio"/> ADEQUADA	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL		Entrada de luz no verão		
<input type="radio"/> PEQUENA	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL		<input type="radio"/> EXCESSO DE LUZ	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> MUITO PEQUENA	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL		<input type="radio"/> MUITA LUZ	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL	
Entrada de vento			<input type="radio"/> ADEQUADO	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> MUITO FORTE	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL		<input type="radio"/> POCA LUZ	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> FORTE	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL		<input type="radio"/> SEM LUZ	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> ADEQUADA	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL		Entrada de luz no inverno		
<input type="radio"/> FRACO	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL		<input type="radio"/> EXCESSO DE LUZ	<input type="radio"/> MUITO DESCONFORTÁVEL	
<input type="radio"/> MUITO FRACO	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL		<input type="radio"/> MUITA LUZ	<input type="radio"/> DESCONFORTÁVEL	
Sugestões:			<input type="radio"/> ADEQUADO	<input type="radio"/> POUCO DESCONFORTÁVEL	
			<input type="radio"/> POCA LUZ	<input type="radio"/> POUCO CONFORTÁVEL	
			<input type="radio"/> SEM LUZ	<input type="radio"/> CONFORTÁVEL	

* relativo ao conforto térmico e lumínico

Figura 12 - Questionário final: APO - conjunto Granja de Freitas III

Fonte: Elaboração própria

3.4 Normas aplicáveis a habitações de interesse social, relacionadas ao conforto térmico

Diante da atual preocupação com as mudanças climáticas do planeta, estudos e metodologias capazes de melhorar a qualidade do ambiente construído e seu entorno vem ganhando força e destaque entre pesquisadores e técnicos de diversas áreas do conhecimento, a fim de encontrar alternativas que viabilizem a elaboração de estudos para melhorar o aproveitamento do ambiente construído e priorizar o uso de energias renováveis, de técnicas, materiais e componentes construtivos com menor potencial poluidor e gerador de soluções capazes de condicionar adequado conforto ambiental às edificações.

Ao encontro destas alternativas, têm-se a elaboração de normas técnicas construídas a partir do levantamento de dados quantitativos, qualitativos e características espaciais, construtivas e técnicas, capazes de orientar o desenvolvimento de projetos de edificações com condições básicas de conforto, segurança e durabilidade, além de orientar os produtores/fornecedores de componentes construtivos quanto à adequação de seus produtos conforme, por exemplo, as características das zonas bioclimáticas brasileiras e condições mínimas para garantir a saúde e bem-estar do usuário, como coloca o engenheiro Fabio Villas Bôas, coordenador da Comissão de Estudos de Revisão da ABNT NBR 15575, sobre a NBR 15575:2013:

Uma mesma parede de alvenaria que pode ser confortável na região sul, talvez não seja adequada para o nordeste, por esquentar demais o ambiente. As questões mínimas para atender o bem-estar do usuário foram pensadas a partir de estudos realizados pela área da saúde, como o nível de ruído adequado para se ter uma boa noite de sono. Essas análises

geraram uma série de parâmetros que foram transformados em requisitos a serem alcançados pelas construções.¹⁵

Nesse contexto, as Normas Técnicas 15575:2013 e 15220:2005, a segunda aplicável a habitações de interesse social, são importantes instrumentos balizadores para elaboração de projetos adequados ao zoneamento bioclimático brasileiro, sobretudo para a elaboração de projetos de habitações de interesse social. A fim de complementar o presente estudo, a Norma 15220:2005 será utilizada como referência e diretriz comparativa com os dados obtidos na APO, com intuito de gerar diretrizes mais assertivas de melhoria e/ou adequação das unidades habitacionais do Conjunto em análise, porém, é importante salientar que, tanto a Norma 15575:2013 quanto a Norma 15220:2005 foram fixadas após a construção das edificações que compõe o objeto de estudo do presente trabalho acadêmico.

3.4.1 Avaliação das propriedades térmicas dos materiais segundo a ABNT NBR 15220:2005, parte 2

Dividida em 05 partes, a Norma brasileira que trata do desempenho térmico das edificações, em vigor desde 2003, vem ao encontro da necessidade de adequar os projetos e edificações já construídas voltadas ao interesse social, às características bioclimáticas do país, considerando a grande variação de características climáticas ao longo do território brasileiro.

Nesse sentido, a Norma apresenta métodos de cálculos na Parte 2 capazes de avaliar as partes que compõem a edificação segundo suas condições de:

- A. **Resistência Térmica (R)**¹⁶ para componentes de camadas homogêneas e heterogêneas. A Norma disponibiliza uma tabela¹⁷ contendo valores das

¹⁵ Trecho extraído da matéria “*Em vigor há 2 anos, NBR 15575 gera avanços para o setor*” – revista digital AECweb. Disponível em > http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/em-vigor-ha-2-anos-nbr-15575-gera-avancos-para-o-setor_11986_0_1<. Acessado em 05 de março de 2016.

propriedades térmicas (densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico) de diversos materiais, porém, para os cálculos referentes a averiguação do desempenho térmico dos materiais utilizados no estudo de caso, buscou-se na literatura valores¹⁸ referentes ao solo cimento (não consta na tabela da Norma), material utilizado para a produção do Tijolito.

- B. **Transmitância Térmica (U)**¹⁹ de componentes, de ambiente a ambiente.
- C. **Capacidade Térmica (CT)**²⁰ dos componentes homogêneos e não homogêneos. O calor específico e a densidade de massa do material, características utilizadas para o cálculo de capacidade térmica dos componentes, são apresentados na mesma tabela onde encontram-se os índices para resistência térmica do material, especificados na própria NBR 15220.
- D. **Atraso Térmico (φ)**²¹ para componentes homogêneos e não homogêneos, considerando um período de 24h e um regime térmico variável e senoidal.
- E. **Ganho de Calor Solar (FS₀)**²² para componentes opacos.

¹⁶ Resistência Térmica de elementos e componentes: Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário. ABNT (2005) NBR 15220.

¹⁷ ABNT (2005) NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Anexo A. Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais. Pp. 9-10.

¹⁸ *Tabela 9 - Dados gerais para cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar das vedações externas*, Apêndice I - vedação externa: memória de cálculo para transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. P. 92.

¹⁹ Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transferência de Calor: inverso da resistência térmica total, considerando como resistência térmica total o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa. ABNT (2005) NBR 15220.

²⁰ Capacidade térmica: quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. ABNT (2005) NBR 15220.

²¹ Atraso térmico: tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. Depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas. ABNT (2005) NBR 15220

F. **Ganho de Calor Solar** (FS_t) para componentes transparentes ou translúcidos.

A Norma também apresenta cálculos e índices para componentes com câmaras de ar ventiladas e não ventiladas, considerando as condições apresentadas para o verão, inverno e a própria capacidade de ventilação do componente. A *Tabela 4* ilustra as condições determinadas pela Norma.

Tabela 4 Condições de ventilação para câmaras de ar

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/A \geq 30$

Onde:

S é a área total de abertura de ventilação, em cm^2 ;

L é o comprimento da parede, em m;

A é a área da cobertura.

Fonte: ABNT NBR 15220:2005,2016

Quando houver ganho de calor, ou seja, o componente estiver exposto às condições do verão, deve-se considerar os mesmos índices de câmaras de ar não ventiladas apresentados na *Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura*²³, também disponibilizada pela Norma.

Quando o componente estiver exposto às condições do inverno, ou seja, quando houver perda de calor, para câmaras de ar pouco ventiladas devem-se adotar os mesmos índices das câmaras de ar não ventiladas. Para câmaras de ar muito ventiladas, adota-se a equação $R_t = 2.R_{si} + R_t$, onde:

R_t = resistência térmica da camada interna do componente construtivo. No caso de coberturas, é a resistência térmica do componente localizado entre a câmara de ar e o ambiente interno – forro

²² Ganho de calor solar para elementos opacos: quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

²³ ABNT (2005) NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Anexo A. Tabela B.1 Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura. P. 8.

R_{si} = resistência superficial interna²⁴

Quanto à **ventilação de áticos**²⁵, a Norma NBR 15220 recomenda sua adoção para regiões quentes, porém alerta que quando em regiões frias, a ventilação do ático provoca perdas de calor pela cobertura.

É importante salientar que, para que se consiga desenvolver os cálculos das condições citadas, é imprescindível que se conheça a natureza dos materiais construtivos de análise, bem como a sua distribuição na edificação. Os resultados devem ser comparados com os requisitos mínimos apresentados pela Norma e, quando houver necessidade de adequação, deve-se seguir os parâmetros mínimos exigidos para atender aos índices de desempenho colocados pela mesma.

Concomitantemente a estas definições, a NBR 15220:2005 apresenta requisitos construtivos mínimos para vedações, coberturas, aberturas e para estratégias ao adequado condicionamento térmico das edificações de interesse social, considerando o zoneamento bioclimático brasileiro, como demonstra o tópico a seguir, Parte 3 da Norma, que trata do *Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. As Partes 4 - *Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida* e 5 - *Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico*, não serão consideradas, pois, não haverá análise laboratorial a partir de corpos de prova das unidades habitacionais em avaliação.

²⁴ ABNT (2005) NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Anexo A. Tabela A.1 - Resistência térmica superficial interna e externa. P. 7.

²⁵ Câmara de ar existente entre o telhado e o forro. ABNT (2005) NBR 15220.

3.4.2 Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social segundo a ABNT NBR 15220:2005

A NBR 15220:2005 apresenta o zoneamento bioclimático²⁶ brasileiro de 330 cidades, desenvolvido a partir da análise das variações climáticas ao longo de todo território nacional, viabilizando, pois, a elaboração de diretrizes técnico construtivas capazes de aperfeiçoar o desempenho térmico das edificações de interesse social conforme sua localização geográfica.

Nesse contexto, conforme a *Figura 13*, extraída da Norma, foram determinadas oito zonas bioclimáticas com características distintas.

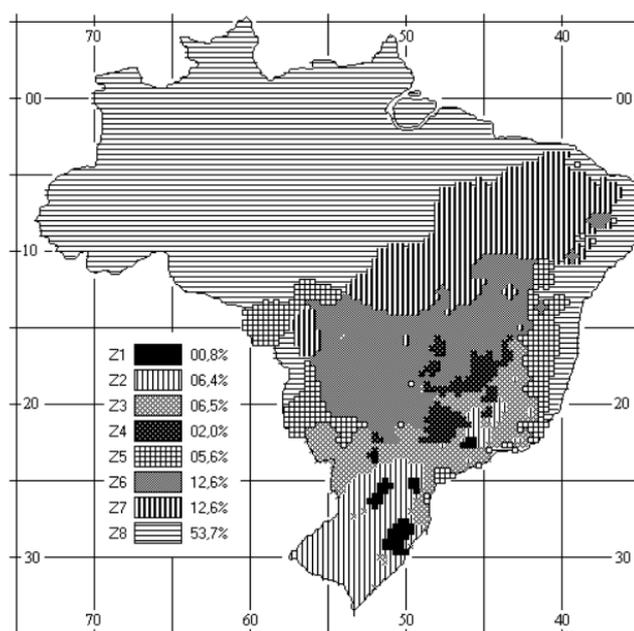


Figura 13 - Zoneamento bioclimático brasileiro

Fonte: ABNT (2003) NBR 15220, 2016

²⁶ Zona bioclimática: região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. ABNT (2003) NBR 15220.

A cidade de Belo Horizonte/MG, onde está implantado o objeto de estudo, situa-se na zona bioclimática 03, conforme classificação da NBR 15220, e apresenta as seguintes diretrizes técnico construtivas:

- A. As aberturas para ventilação devem ser médias e o sombreamento das mesmas deve permitir sol durante o inverno. *A Tabela 5 ilustra o percentual de abertura a ser adotado.*

Tabela 5 - Abertura para ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: ABNT (2003) NBR 15220:2005, 2016

- B. As vedações externas devem ser compostas por paredes leves, refletoras e coberturas leves, isoladas, de acordo com as classificações apresentadas na *Tabela 6.*

Tabela 6 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - φ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

NOTAS

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

2 Aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Fonte: ABNT (2003) 15220:2003,2016

- C. Considerando o condicionamento térmico passivo, no verão, deve haver possibilidade de ventilação cruzada e, no inverno, aquecimento solar da edificação juntamente com uso de vedações internas pesadas para proporcionar adequada inércia térmica.

Os índices de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de alguns materiais e componentes de paredes e coberturas são apresentados pela Norma a fim de facilitar a especificação e cálculo das referidas características dos componentes das edificações analisadas sobre esse processo.

4 TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Considerando os dados obtidos e já declarados em capítulo anterior, temos um total de 146 famílias residindo no conjunto e uma amostra casual a ser investigada da ordem de 60 famílias, considerando um limite de confiança de 95,5% e uma margem de erro de 10%. Nesse sentido, é importante que pelo menos um membro da família responda à pesquisa.

Das 60 famílias a serem investigadas:

- 13 famílias pertencem ao G1, sendo que 08 delas residem em unidades tipo I (03 quartos) e 05 em unidades tipo II (02 quartos);
- 21 famílias pertencem ao G2-A, sendo que 08 delas residem em unidades tipo I e 13 em unidades tipo II;
- 07 famílias pertencem ao G3, todas residindo em unidades tipo II;
- 19 famílias pertencem ao G2-B, sendo que 04 delas residem em unidades tipo I e 15 em unidades tipo II.

A partir dos dados coletados através da aplicação de questionários que visam, primordialmente, a percepção do morador sobre as unidades habitacionais em que residem, foi possível elaborar diagnósticos parciais da situação de conforto térmico atual das edificações do Conjunto, apresentadas através de gráficos nos tópicos seguintes.

Das 60 famílias selecionadas como amostra representativa para realização da APO, 44 responderam ao questionário investigativo, dentre eles:

- 08 moradores do G1: 05 residem em unidades tipo I e 03 em unidades tipo II;
- 15 moradores do G2-A: 06 residem em unidades tipo I e 09 residem em unidades tipo II;
- 16 moradores do G2-B: 02 residem em unidades tipo I e 14 em unidades tipo II;
- 05 moradores do G3: todos residindo em unidades tipo II.

Deste total, 28 são mulheres e 16 são homens com idades entre 20 e 60 anos, a maioria deles morador do conjunto há, no mínimo, 03 anos e com preferência de permanência no ambiente sala das habitações.

A defasagem no número de entrevistados resultou numa amostra casual com margem de erro de 22% para o mesmo limite de confiança (95,5%), porém conseguiu-se obter resultados consistentes com a aplicação do questionário final e elaboração de análises técnicas das condições gerais de conforto térmico do conjunto e análises comparativas com a norma ABNT NBR 15.220:2005.

Nos tópicos seguintes, serão descritos e analisados os dados obtidos junto à população entrevistada do Conjunto para as questões de conforto térmico, ventilação natural, insolação e iluminação natural, bem como análises técnicas e propostas para melhoria da condição geral de conforto térmico identificado nas habitações, além de recomendações para trabalhos futuros que venham a complementar os dados já coletados com a APO investigativa proposta no presente trabalho.

4.1 Percepção dos usuários quanto ao conforto térmico

Para análise do conforto térmico da edificação junto aos moradores, considerou-se os períodos do dia e do ano, os cômodos de maior permanência e as sensações de frio e calor que se sente. Não foi considerada, nesta análise, a presença de dispositivos de proteção solar e/ou atenuadores da propagação de calor na edificação, como isolantes térmicos.

Nos *Gráficos 1 e 2* está compilado para os períodos de verão e inverno, respectivamente, a resposta de cada morador que se prontificou a responder à pesquisa, totalizando em 44 entrevistados, dentre eles 28 mulheres e 16 homens, com idades que variam de 20 a 60 anos.

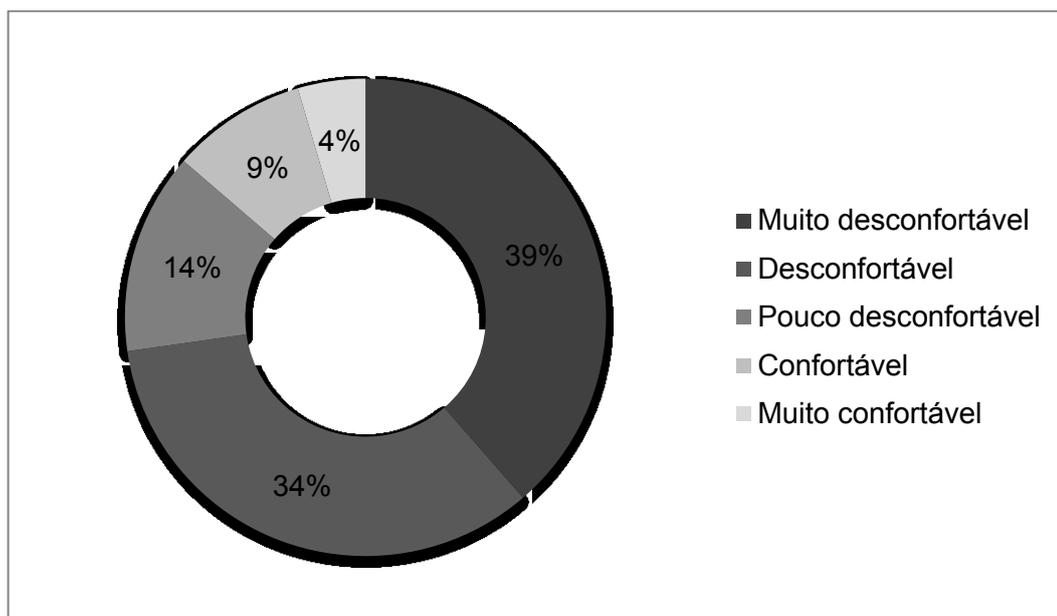


Gráfico 1 - Sensações de conforto para os períodos de verão considerando o conforto térmico

Fonte: Elaboração própria

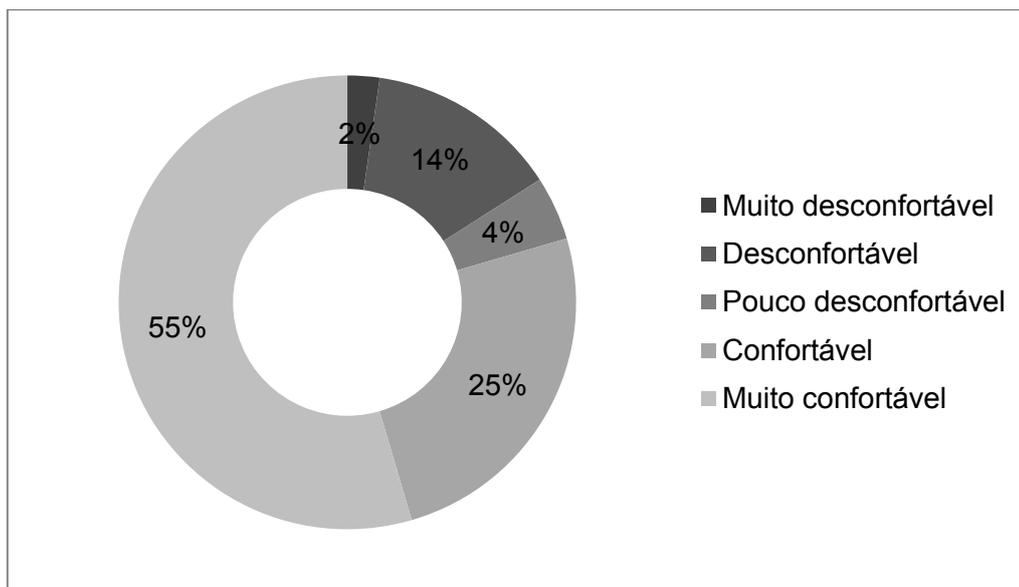


Gráfico 2 - Sensações de conforto para os períodos de inverno considerando o conforto térmico

Fonte: Elaboração própria

Quando questionados sobre as sensações de calor e frio que sentiam nos períodos do verão e inverno, os moradores, de um modo geral, consideraram as unidades

habitacionais muito desconfortáveis no verão (38,5%) e confortáveis no inverno (54,48%).

As variáveis para as sensações de calor e frio no período do verão apresentadas na escala de valores indicada em tópico anterior, denominadas por desconfortável, pouco desconfortável, confortável e muito confortável, apresentaram índices de 34%, 13,62%, 9,08%, 4,54%, respectivamente. Para os períodos do inverno, as variáveis muito desconfortável, desconfortável, pouco desconfortável e muito confortável apresentaram índices de 2,27%, 13,62%, 4,54% e 24,97%, respectivamente.

A fim de facilitar a compreensão dos percentuais obtidos, elaborou-se um gráfico síntese compilando as condições para o verão e inverno obtidas através da aplicação dos questionários (ver *Gráfico 3*).

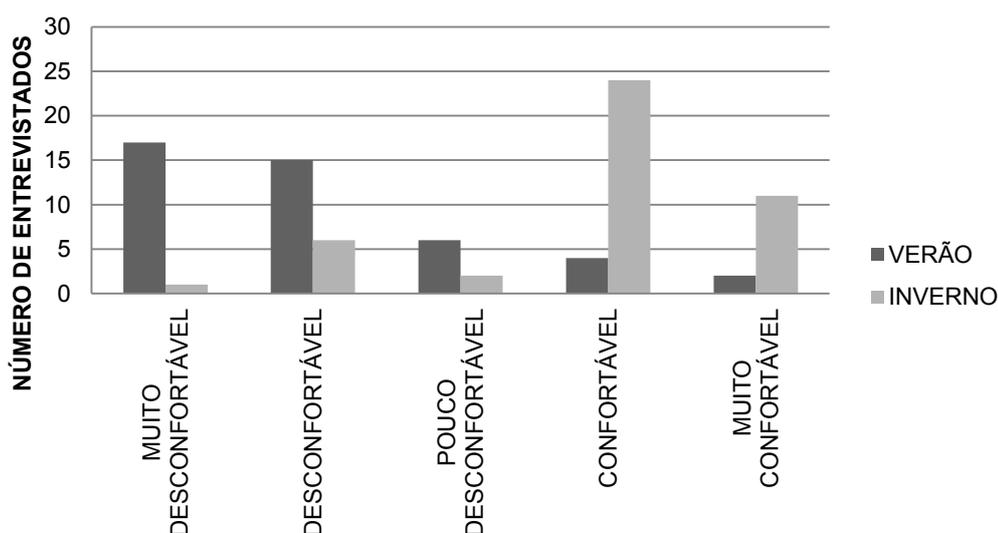


Gráfico 3 - Síntese conforto térmico

Fonte: Elaboração própria

A maioria dos entrevistados atribuiu o desconforto no verão à falta de árvores e ao posicionamento das aberturas que não permitem a circulação do ar no interior das edificações, além disso, pelo fato de muitas habitações receberem insolação direta nos períodos da tarde, grande parte das janelas permanecem fechadas, contribuindo para a má manutenção da temperatura interna das unidades habitacionais.

4.2 Percepção dos usuários quanto à insolação

Considerou-se, para análise da insolação junto aos moradores, os períodos do dia e do ano de maior permanência, os cômodos de maior permanência e a condição da entrada de raios solares na habitação.

Nos *Gráficos 4 e 5* está compilado para os períodos de verão e inverno, respectivamente, a resposta de cada morador que se prontificou a responder à pesquisa, totalizando em 44 entrevistados, dentre eles 28 mulheres e 16 homens, com idades que variam de 20 a 60 anos.

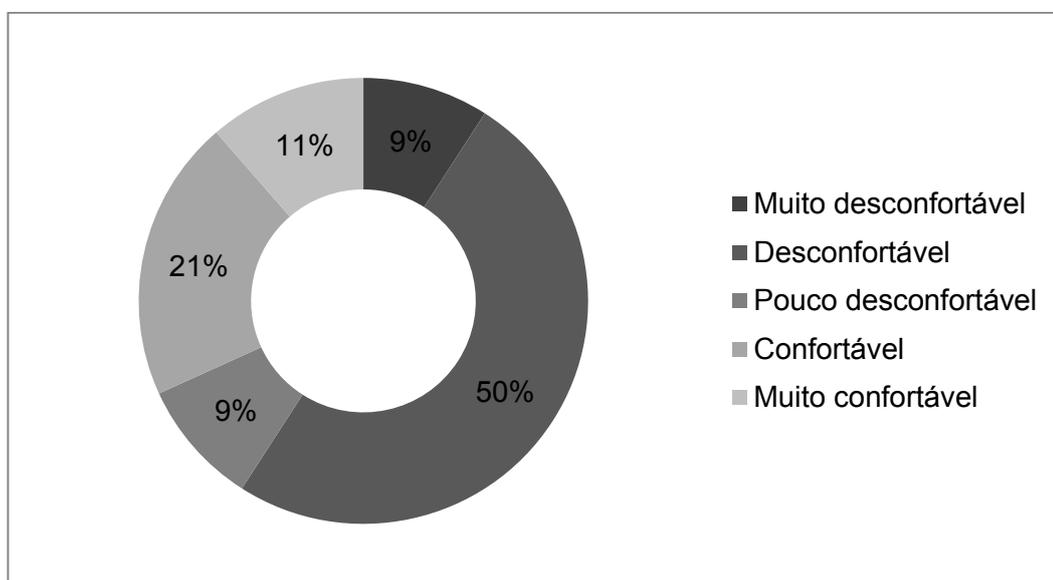


Gráfico 4 - Sensações de conforto para os períodos de verão considerando a insolação

Fonte: Elaboração própria

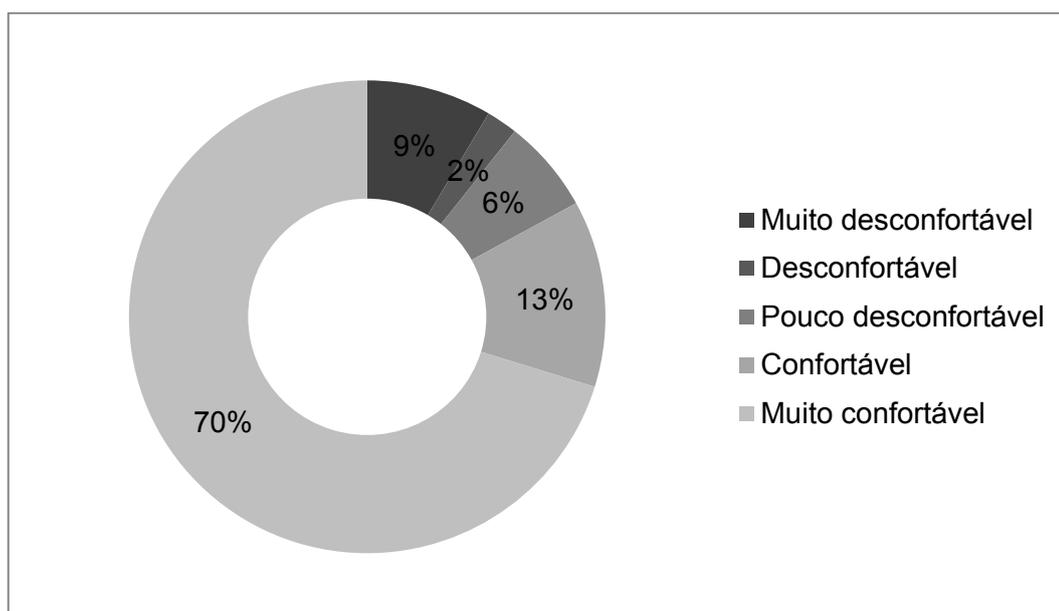


Gráfico 5 – Sensações de conforto para os períodos de inverno considerando a insolação

Fonte: Elaboração própria

Antes de serem questionados sobre as condições no verão e inverno da entrada de raios solares nas habitações, os moradores foram questionados sobre a necessidade ou não da colocação de dispositivos de proteção contra essa insolação incidente nas aberturas. Dos 44 moradores entrevistados, 28 (63,68%) alegaram terem tido necessidade de inserir proteção nas janelas do primeiro pavimento com cortinas, persianas ou algum tipo de improvisação, enquanto 16 dos entrevistados (36,32%) alegaram não terem sentido necessidade.

Quando questionados sobre a entrada de raios solares nas habitações no período do verão, a maioria dos moradores considerou desconfortável (49,94%) a insolação incidente, enquanto, no período do inverno, a maioria (75,01%) considerou confortável a entrada dos raios solares.

Para as variáveis, muito desconfortável, pouco desconfortável, confortável e muito confortável no período do verão, os índices foram de 9,08%, 9,08%, 20,43% e 11,34%, respectivamente, enquanto que, para as variáveis, muito desconfortável, desconfortável, pouco desconfortável e muito confortável no período de inverno, os índices foram de 2,29%, 2,27%, 6,81% e 13,62%, respectivamente.

Compilados no *Gráfico 6*, estão os índices encontrados para as variáveis de conforto nos períodos do verão e inverno. Nota-se, com mais clareza, que as habitações são muito mais confortáveis no inverno que no verão.

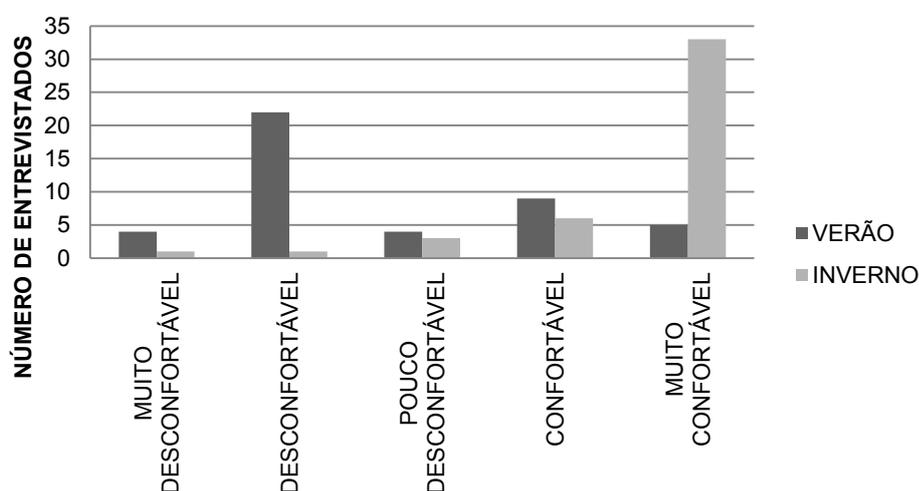


Gráfico 6 - Síntese Insolação

Fonte: Elaboração própria

A falta de vegetação e de interferências do entorno próximo capazes de gerar sombreamento nos blocos habitacionais condiciona uma situação em que a maioria das unidades recebe insolação direta no período da tarde e tendem a permanecer com as janelas fechadas nos dois pavimentos. Além disso, os moradores foram questionados sobre o período em que mais permanecem em casa e a maioria deles confirmou ser entre 12h e 18h, período do dia em que a maioria das habitações recebe insolação crítica. Essa condição gera grande incômodo aos moradores ao passo que se torna fator determinante para o controle da temperatura interna dos ambientes.

4.3 Percepção dos usuários quanto à ventilação natural

Considerou-se, para análise junto aos moradores, a existência de dispositivos que permitam entrada de ar (janelas e portas) e a intensidade como que esse fluxo de ventilação natural penetra na edificação.

Nos *Gráficos 7 e 8* está compilado a resposta de cada morador que se prontificou a responder à pesquisa para o tamanho das aberturas e entrada da ventilação natural, respectivamente, totalizando em 44 entrevistados, dentre eles 28 mulheres e 16 homens, com idades que variam de 20 a 60 anos.

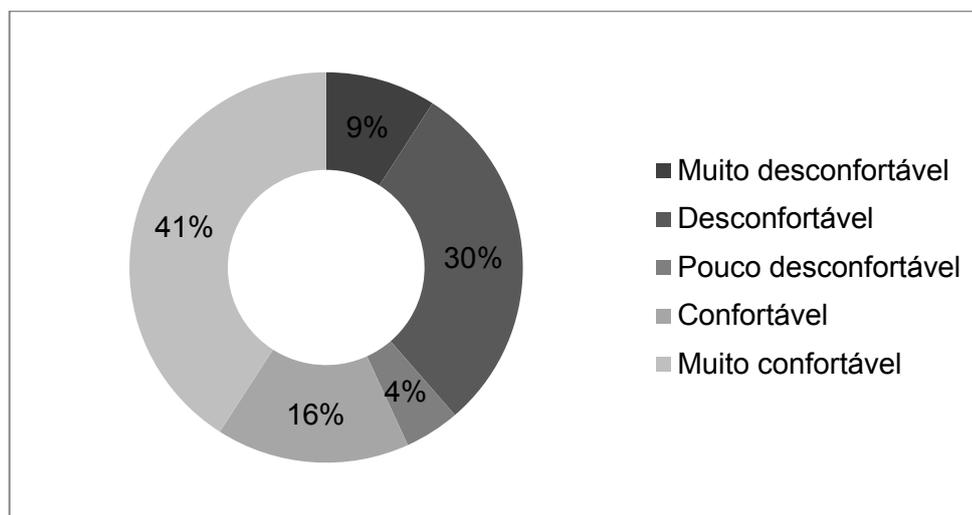


Gráfico 7 – Sensações de conforto considerando o tamanho das aberturas de janelas e portas

Fonte: Elaboração própria

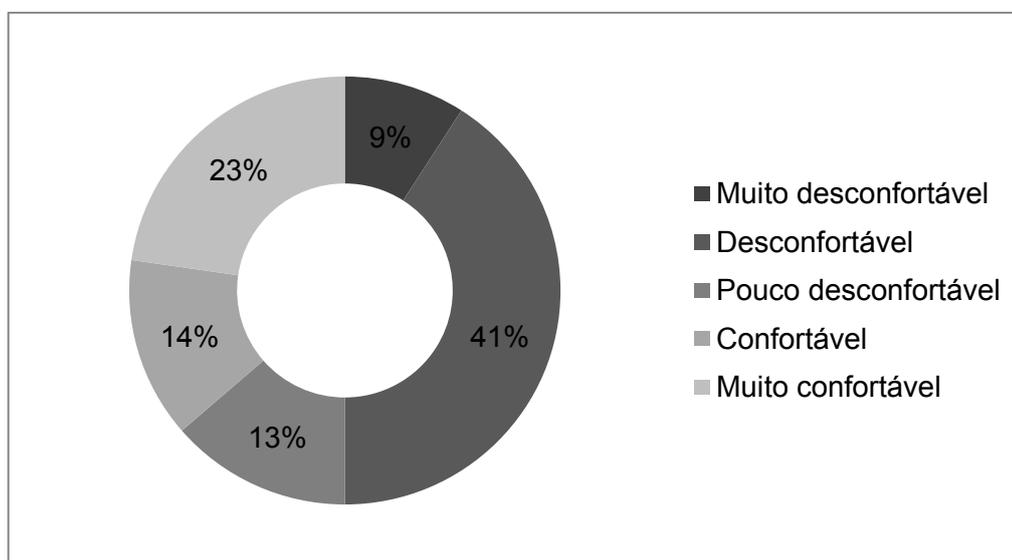


Gráfico 8 – Sensações de conforto considerando a ventilação natural nas edificações

Fonte: Elaboração própria

Para análise da ventilação natural das edificações do conjunto Granja de Freitas III, abordou-se como principais condicionantes o tamanho das esquadrias (janelas e portas) e o fluxo de vento que passa por elas. Nesse contexto, a maioria dos entrevistados considera o tamanho das esquadrias confortável (40,86%) se comparado ao tamanho das habitações, porém a maioria considera desconfortável (40,86%) o fluxo de ar que adentra nas mesmas.

As variáveis atribuídas ao tamanho das esquadrias, denominadas por muito desconfortável, desconfortável, pouco desconfortável e muito confortável, apresentaram índices de 13,62%, 9,08%, 4,54% e 15,89%, respectivamente. As variáveis atribuídas a entrada de vento nas edificações e denominadas por muito desconfortável, pouco desconfortável, confortável e muito confortável apresentaram índices de 9,08%, 13,62%, 13,62% e 22,70% respectivamente.

O *Gráfico 9* ilustra as condições para o tamanho das aberturas e o fluxo de ar que adentra nas habitações obtidas através da aplicação dos questionários.

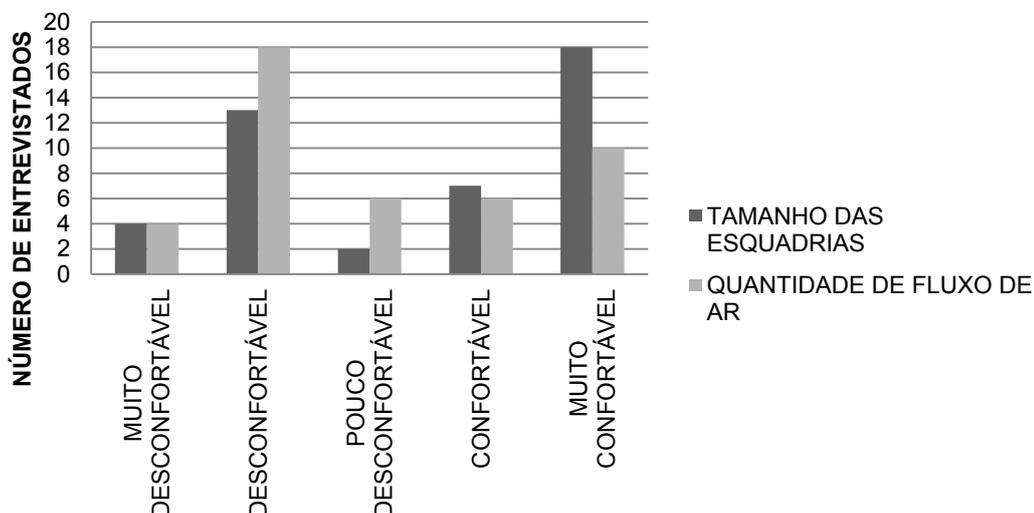


Gráfico 9 - Síntese ventilação natural

Fonte: Elaboração própria

Considerando a topografia local e a solução de distribuição em platôs de diferentes níveis dos blocos habitacionais na gleba para melhor aproveitamento do terreno, a maioria das edificações recebe um intenso fluxo de ar, culminando para a resposta

dos moradores quando questionados sobre o conforto atribuído à ventilação natural local.

4.4 Percepção dos usuários quanto à iluminação natural

Com base nas sensações do corpo humano através de estímulos visuais externos, considerou-se importante analisar a presença de iluminação natural no interior das edificações, visto que ambientes bem iluminados remetem a sensação de aconchego, calor, conforto.

Nesse sentido, para análise junto aos usuários, questionou-se a intensidade, propagação e controle da luz natural no interior da edificação, a fim de correlacionar à escala de valores adotada. Além disso, ambientes que recebem luz natural em quantidades adequadas, dispensam o uso da iluminação artificial em determinadas horas do dia, contribuindo para um menor ganho de calor dissipado pelas lâmpadas.

Nos *Gráficos 10 e 11* está compilado para os períodos de verão e inverno, respectivamente, a resposta de cada morador que se prontificou a responder à pesquisa, totalizando em 44 entrevistados, dentre eles 28 mulheres e 16 homens, com idades que variam de 20 a 60 anos.

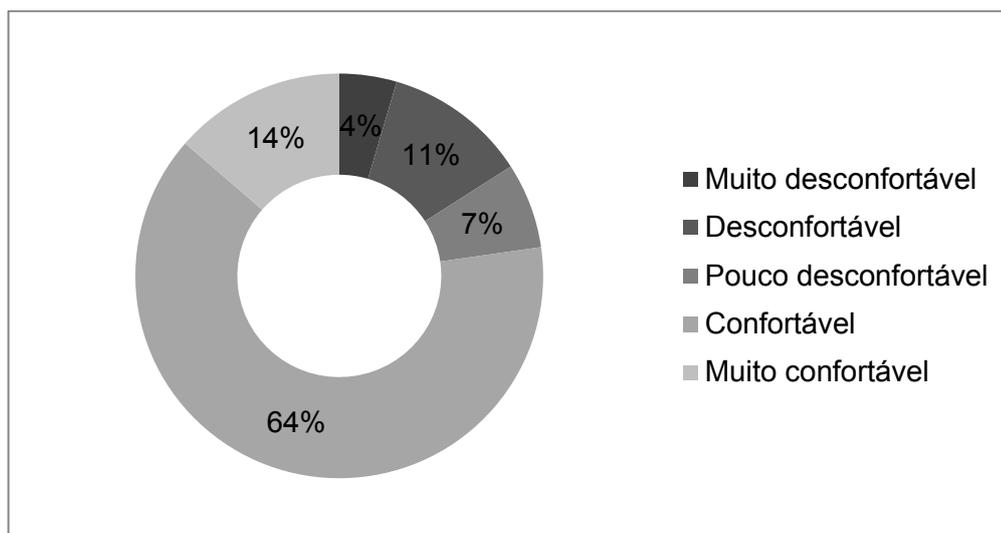


Gráfico 10 – Sensações de conforto para os períodos de verão considerando a iluminação natural

Fonte: Elaboração própria

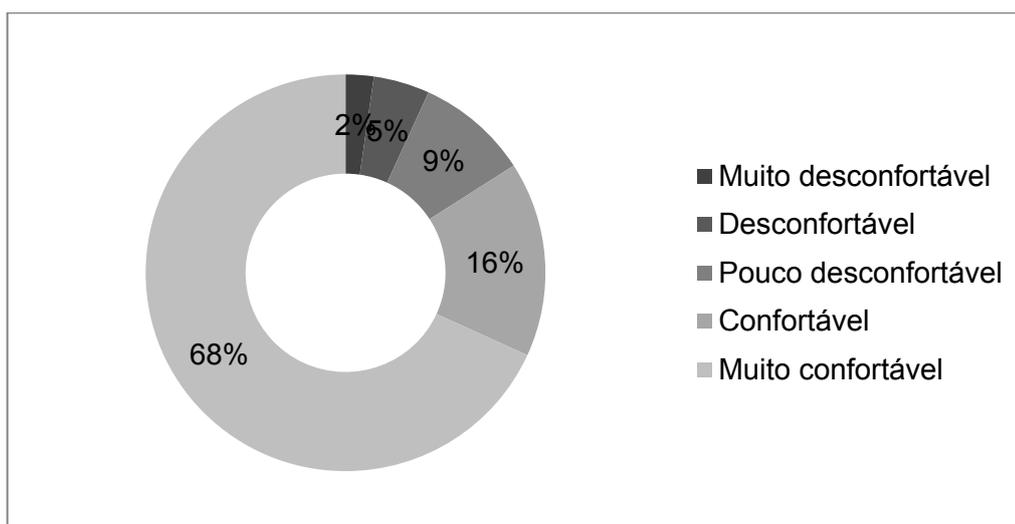


Gráfico 11 - Sensações de conforto para os períodos de inverno considerando a iluminação natural

Fonte: Elaboração própria

Dos cinco questionamentos feitos aos moradores do conjunto, o que se refere à iluminação natural apresentou índices mais satisfatórios do ponto de vista de conforto. 63,56% dos moradores consideraram confortável a entrada de luz do verão, enquanto 73,22% consideraram confortável a entrada de luz natural no inverno.

As variáveis, muito desconfortável, desconfortável, pouco desconfortável e muito confortável para o período do verão apresentaram índices que correspondem a 4,54%, 11,35%, 6,87% e 13,62%, respectivamente. As variáveis, muito desconfortável, desconfortável, pouco desconfortável e muito confortável, para os períodos do inverno apresentaram índices que correspondem a 2,27%, 4,54%, 4,08% e 15,89 respectivamente.

O *Gráfico 12* ilustra os percentuais obtidos para os índices de conforto adotados. Pode-se notar que a condição de iluminação natural tanto para o verão quanto para o inverno se assemelha, porém, ainda sim, as unidades se apresentam mais confortáveis no inverno.

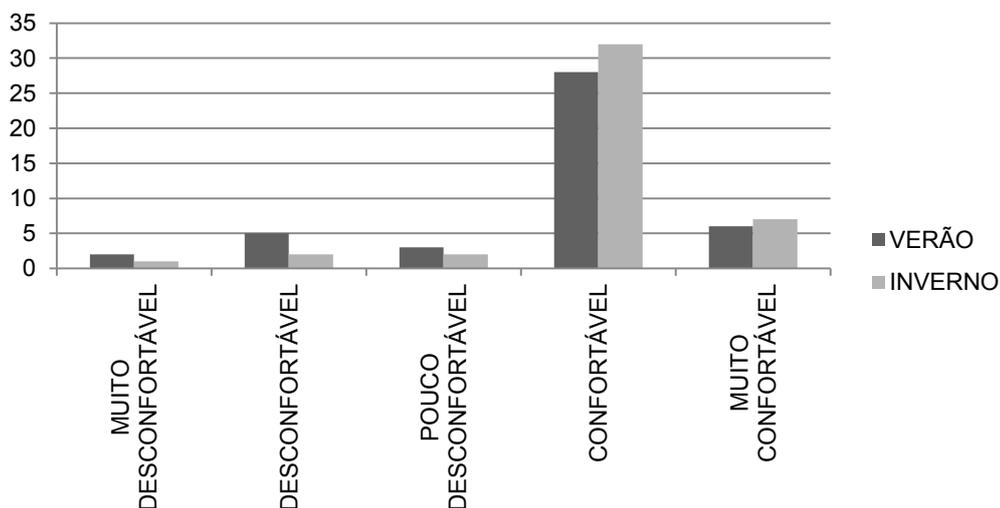


Gráfico 12 - Síntese iluminação natural

Fonte: Elaboração própria

O resultado obtido é em virtude da solução de implantação e condições apresentadas pelo entorno que, em grande parte, não gera interferências na iluminação natural das unidades habitacionais do objeto de estudo.

4.5 Análises técnicas do Conjunto Habitacional Granja de Freitas III

A fim de complementar as informações coletadas com a Avaliação Pós-ocupação realizada no Conjunto, elaborou-se análises técnicas e comparativos com a Norma 15.220:2005.

4.5.1 Orientação solar e sombreamento das edificações

Buscando evidenciar a relação do ambiente construído com a Avaliação de Pós-Ocupação, agrupou-se as unidades habitacionais que contém características semelhantes em função de sua implantação. É importante ressaltar que uma das características mais marcantes de conjuntos habitacionais de interesse social é o aproveitamento máximo do terreno o que, em muitos casos, implica em implantações desfavoráveis para algumas unidades, seja pela influência das características físicas do terreno e seu entorno próximo, seja pela influência das outras edificações próximas.

Segundo Mascaró (1991), um edifício bem orientado, somado a forma e volumetria adequadas a essa orientação, pode consumir 46% menos energia, uma vez que o ganho de calor da edificação varia em função dessas condicionantes. A *Figura 14* ilustra, de forma concisa a questão da relação orientação solar x forma x ganho de calor.

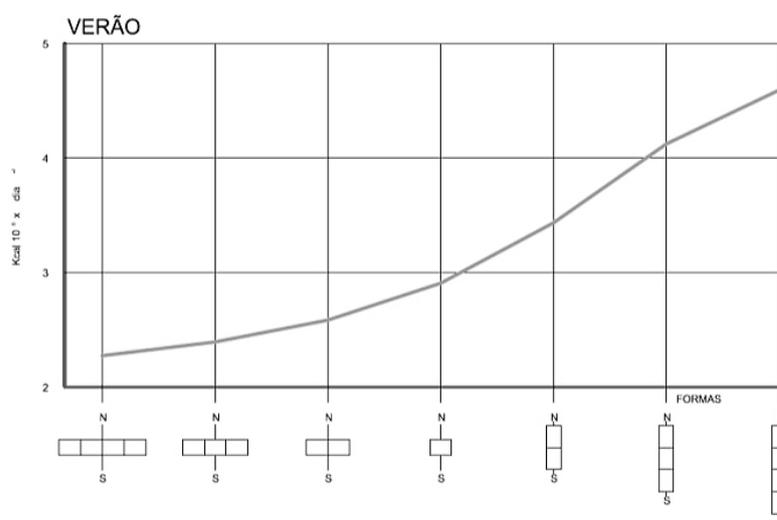


Figura 14 - Variação de carga térmica recebida por um edifício em função de sua forma

Fonte: MASCARÓ, 1991

Nesse sentido, classificar as unidades do conjunto Granja de Freitas III quanto a sua orientação, contribui para geração de diretrizes corretivas e adaptativas, num segundo momento, mais assertivas e coerentes com o ambiente construído.

Para análise de sombreamento das unidades habitacionais, foram elaborados modelos tridimensionais das unidades utilizando o software VectorWorks com base nos arquivos disponibilizados pela URBEL. Adotou-se a orientação solar do projeto e o uso de sombras a partir da simulação do Sol para gerar as projeções necessárias à análise, além disso, todos os blocos de edificações foram implantados considerando as cotas altimétricas do projeto.

Na *Figura 15* apresentam-se as simulações de sombreamento considerando o Solstício de Inverno (21 de Junho), enquanto a *Figura 16* ilustra as simulações de sombreamento para o Solstício de Verão (21 de Dezembro). Escolheu-se os horários de 09h e 15:30h, considerando como principal diretriz os horários em que é desejado sombreamento no período da tarde, horário de insolação mais crítica.



Figura 15 - Conjunto Granja de Freitas III: sombreamento das edificações – Solstício de Inverno

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL e software VectorWorks



Figura 16 - Conjunto Granja de Freitas III: sombreamento das edificações – Solstício de Verão

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL e software VectorWorks

Devido à solução de planta das unidades (ver figuras 3 e 4 do capítulo 2), durante o dia sempre haverá um quarto sombreado e outro que recebe insolação direta ora na parte da manhã, ora na parte da tarde. As áreas molhadas, compreendidas por cozinha, banheiro e área de serviço localizadas no primeiro pavimento, em sua maioria, recebem insolação entre o horário de 06h às 12h.

Visando demonstrar a influência da solução de implantação em consonância com a solução de planta dada ao Conjunto e suas habitações, elaborou-se esquemas que destacam os blocos habitacionais de mesma orientação solar, apresentados junto da carta solar de Belo Horizonte (latitude a 20° Sul) com máscaras correspondentes às orientações dos blocos em análise. É importante salientar que, para efeito de exemplificação, não se considerou o sombreamento que os blocos habitacionais fazem sobre si e sobre os blocos vizinhos.

Na *Figura 17* estão representados em destaque os blocos 01, 02, 04 e 05 do G1 e os blocos 15 e 18 do G3. Implantados sob o eixo leste-nordeste / oeste-sudoeste, os blocos habitacionais recebem insolação durante toda manhã nos períodos de verão e inverno nas faces orientadas a leste-nordeste, enquanto as faces voltadas a oeste-sudoeste recebem insolação durante a maior parte da tarde nos períodos de verão e inverno.

Nos blocos 02, 05 e 18, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta durante todo o período da manhã, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante todo o período da tarde. Nos blocos 01, 04 e 15, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta no durante quase todo o período da tarde, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante todo o período da manhã.

Em todos os blocos, no segundo pavimento, há dormitórios que recebem insolação direta apenas no período da manhã e dormitórios que recebem insolação direta apenas no período da tarde.

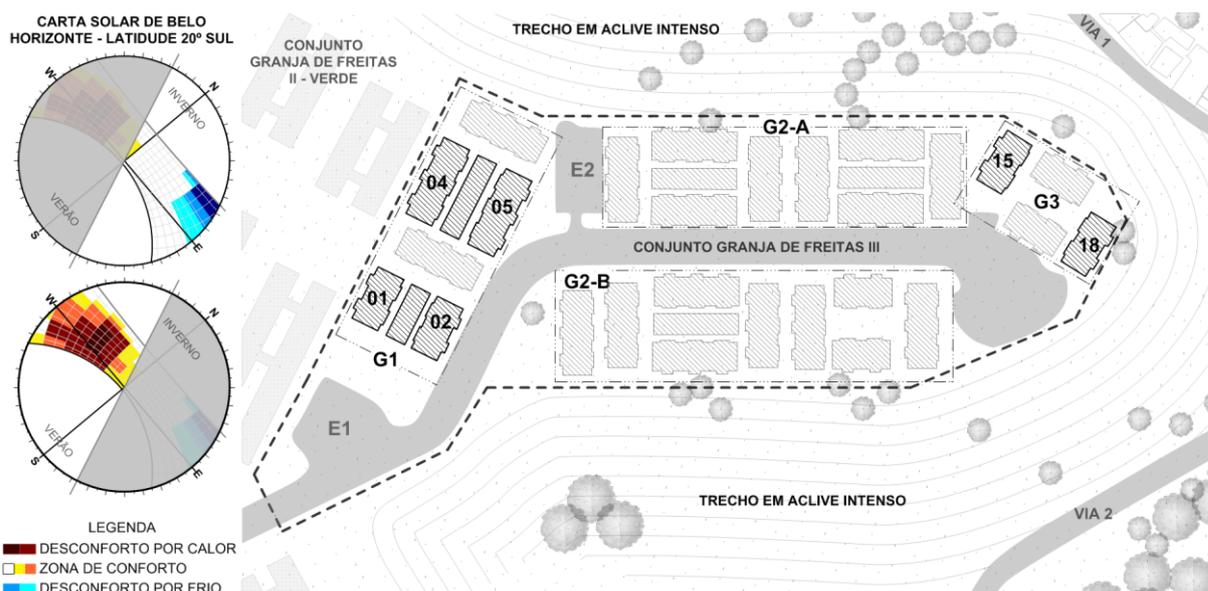


Figura 17 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar leste-nordeste / oeste-sudoeste

Fonte: Elaboração própria com base em documento disponibilizados pela URBEL

Na Figura 18 estão representados em destaque os blocos 03 e 06 do G1 e os blocos 16 e 17 do G3. Implantados sob o eixo norte-noroeste / sul-sudeste, os blocos habitacionais recebem insolação durante toda a tarde no período do verão e parte do período do inverno durante a manhã nas faces orientadas a norte-noroeste, enquanto as faces voltadas a sul-sudeste recebem insolação direta durante a parte da manhã no período do verão parte do período do inverno.

Nos blocos 03, 06 e 16, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta durante a tarde nos períodos de verão e inverno e durante a manhã nos períodos de inverno, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante a manhã no período do verão e parte do período de inverno no início da manhã. No bloco 17, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta durante a manhã no período do verão e parte do período de inverno no início da manhã, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante a tarde nos períodos de verão e inverno e durante a manhã nos períodos de inverno.

Em todos os blocos, no segundo pavimento, há dormitórios que recebem insolação direta durante a tarde nos períodos de verão e inverno e durante a manhã nos períodos de inverno e durante a manhã no período do verão e parte do período de inverno no início da manhã.

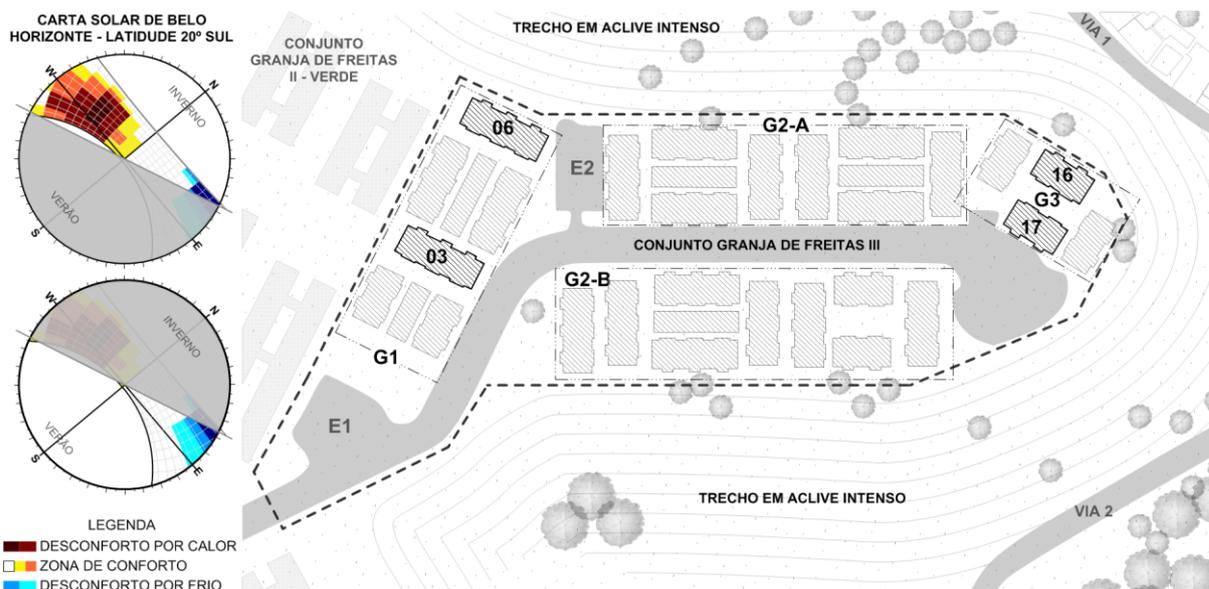


Figura 18 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar norte-noroeste / sul-sudeste

Fonte: Elaboração própria com base em documento disponibilizados pela URBEL

Na Figura 19 estão representados em destaque os blocos 07, 10, 11 e 14 do G2-A e 19, 22, 23, 26 e 27 do G2-B. Implantados sob o eixo nordeste / sudoeste, os blocos habitacionais recebem insolação direta durante toda manhã e início da tarde nos períodos de verão e inverno faces orientadas a nordeste, enquanto as faces voltadas a sudoeste recebem insolação direta durante a parte da tarde nos períodos de verão e inverno.

Nos blocos 07, 11, 22 e 26, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta durante a parte da tarde, majoritariamente no período de verão, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante toda a manhã nos períodos de verão e inverno e durante o início da tarde no período de inverno. Nos blocos 10, 14, 19, 23 e 27, no primeiro pavimento, a sala de

estar recebe insolação direta durante toda a manhã nos períodos de verão e inverno e durante o início da tarde no período de inverno, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante a parte da tarde, majoritariamente no período de verão.

Em todos os blocos, no segundo pavimento, há dormitórios que recebem insolação direta durante toda a manhã nos períodos de verão e inverno e durante o início da tarde no período de inverno, e dormitórios que recebem insolação direta durante a parte da tarde, majoritariamente no período de verão.

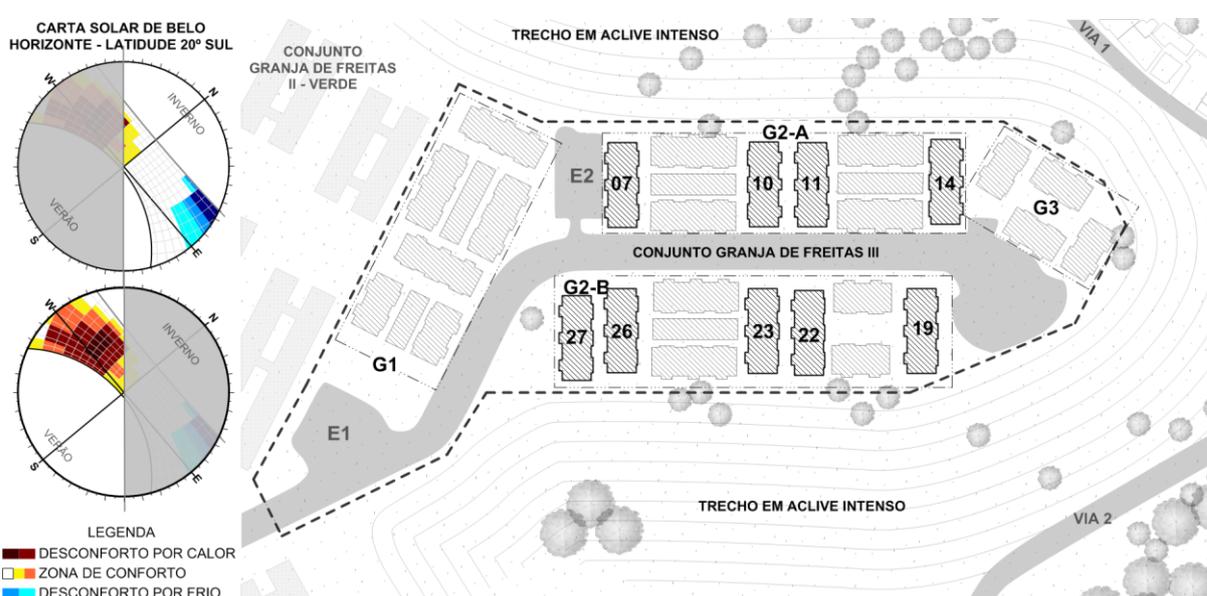


Figura 19 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar nordeste / sudoeste

Fonte: Elaboração própria com base em documento disponibilizados pela URBEL

Na *Figura 20* estão representados os blocos 08, 09, 12 e 13 do G2-A e 20, 21, 24 e 25 do G2-B. Implantados sob o eixo noroeste / sudeste, os blocos habitacionais recebem insolação direta durante toda a tarde nos períodos de verão e inverno e início da manhã no período do inverno nas faces voltadas a noroeste, enquanto as faces voltadas a sudeste recebem insolação direta durante a parte da manhã nos períodos de verão e inverno.

Nos blocos 08, 12, 20 e 24, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta durante toda a parte da tarde e final da manhã nos períodos de verão e inverno, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante toda a manhã nos períodos de verão e inverno. Nos blocos 09, 13, 21, e 25, no primeiro pavimento, a sala de estar recebe insolação direta durante toda a manhã nos períodos de verão e inverno, enquanto os ambientes molhados (banho, cozinha e área de serviço) recebem insolação direta durante toda a parte da tarde e final da manhã nos períodos de verão e inverno.

Em todos os blocos, no segundo pavimento, há dormitórios que recebem insolação direta durante toda a parte da tarde e final da manhã nos períodos de verão e inverno e dormitórios que recebem insolação direta durante a parte da manhã nos períodos de verão e inverno.

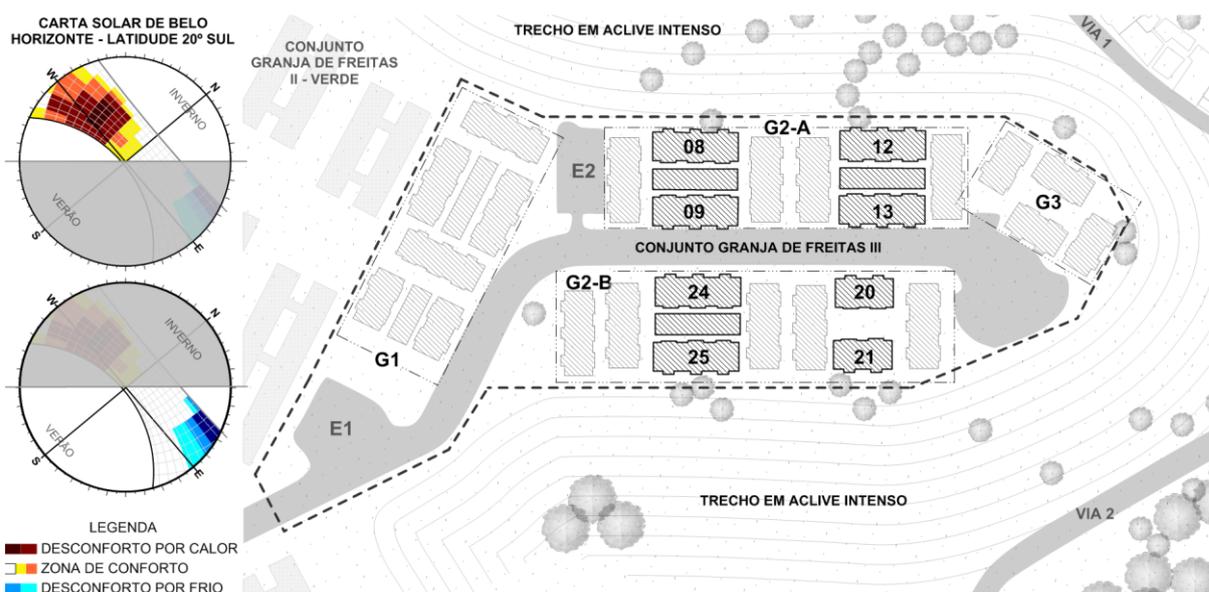


Figura 20 - Conjunto Granja de Freitas III: orientação solar noroeste / sudeste

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

4.5.2 Direção dos ventos dominantes

A forma, altimetria e distribuição das edificações, as condições do entono próximo e a densidade de ocupação influenciam diretamente na eficiência da ventilação dos espaços, condicionando o fluxo de ar e sua velocidade. Mascaró (1991), em seu livro *Energia na Edificação – estratégias para minimizar seu consumo*, pondera sobre a importância do estudo de ventilação a nível urbano nos grupamentos de edifícios e ilustra os fluxos de ar em função das escolhas de implantação apresentadas na *Figura 21*.

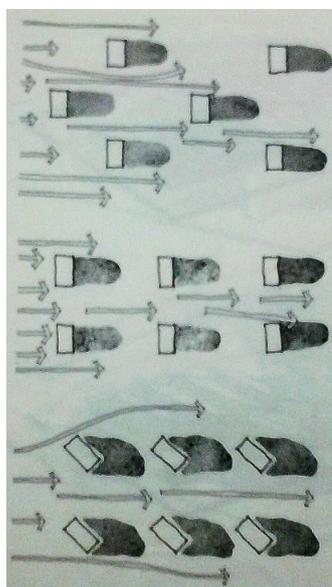


Figura 21 - Direção do vento dominante X implantação

Fonte: MASCARÓ, 1991

De acordo com dados das Normais Climatológicas do Brasil de 1961 a 1990 disponibilizados pelo INMET²⁷, a direção predominante dos ventos para a cidade de Belo Horizonte é Leste, como indicado no *Gráfico 13*²⁸.

²⁷ INMET: Instituto Nacional de Meteorologia, órgão da administração direta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

²⁸ Disponível em [ProjeteEEE >projeteee.ufsc.br<](http://projeteee.ufsc.br), Belo Horizonte(Pampulha) – Dados Climáticos

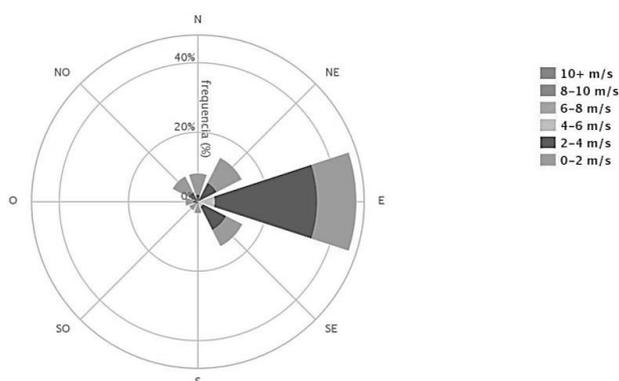


Gráfico 13 - Gráfico Rosa dos Ventos

Fonte: *ProjetEEE*, 2016

A *Figura 22* ilustra essa classificação sobre a solução de implantação adotada, porém, é importante salientar que as edificações foram postas em platôs em diferentes níveis que acompanham a inclinação da gleba, exercendo influência direta na circulação dos ventos no interior do conjunto que é garantida pela disposição dos blocos de habitações.

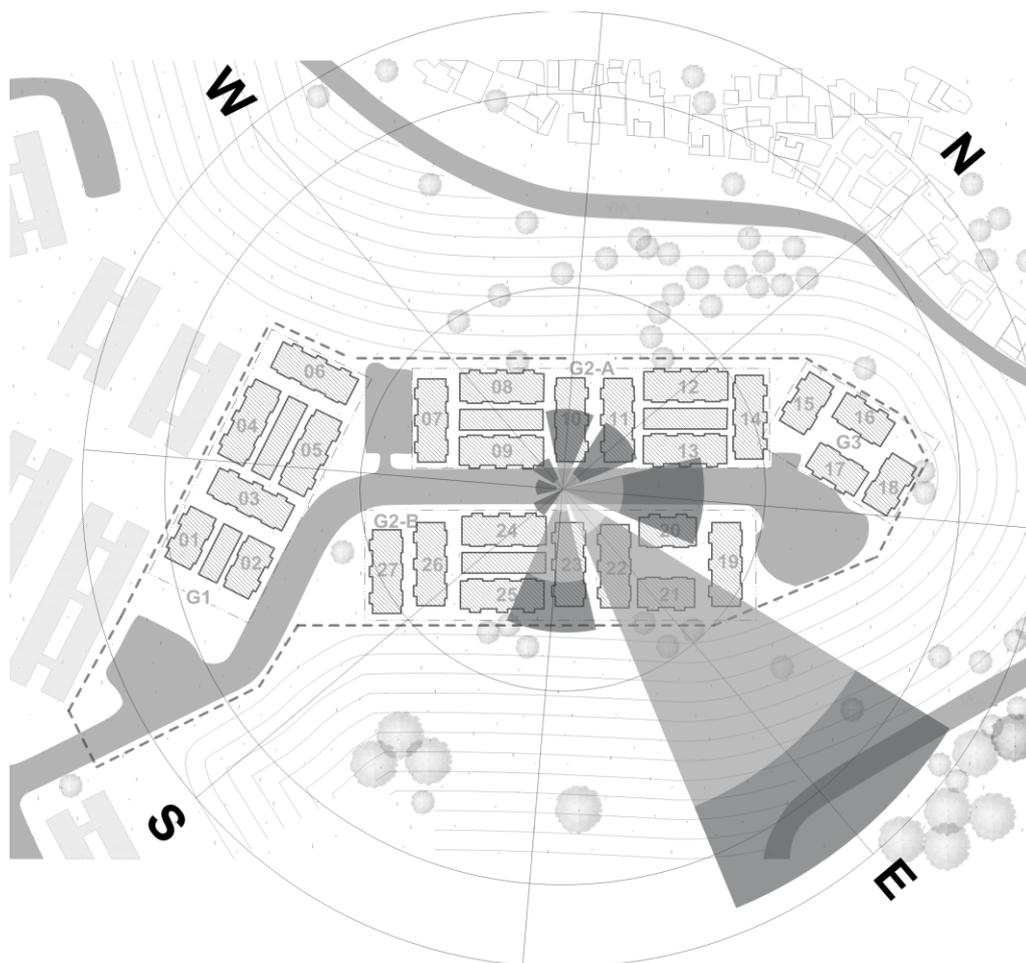


Figura 22 – Conjunto Granja de Freitas III: ventos dominantes

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

4.5.3 NBR 15220:2005 X Conforto térmico

A fim de verificar as condições de conforto térmico das habitações avaliadas, em comparativo com as diretrizes colocadas pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações elucidadas na Parte 3 da Norma ABNT NBR 15220:20035 adotou-se o método de cálculo descrito na *Parte 2 – Métodos de Cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações da mesma.*

A *Tabela 7* indica os valores de referência da Transmitância Térmica, Atraso térmico e Fator Solar para vedações externas e cobertura e os valores obtidos para as unidades habitacionais do conjunto Granja de Freitas III.

Tabela 7 - Diretrizes de conforto térmico da ABNT NBR 15220:2005 para o zoneamento 3

DIRETRIZES DE CONFORTO TÉRMICO PARA O ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO 3 (CIDADE DE BELO HORIZONTE) SEGUNDO A NORMA ABNT NBR 15220:2003			RESULTADOS PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III, OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO PRESCRITIVO DA NORMA ABNT NBR 15220:2003		
VEDAÇÕES EXTERNAS: PAREDES LEVES E REFLETORAS					
Trasmitância Térmica (U)	Atraso Térmico (ϕ)	Fator Solar (FS0)	Trasmitância Térmica (U)	Atraso Térmico (ϕ)	Fator Solar (FS0)
$\leq 3,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$\leq 4,3 \text{ Horas}$	$\leq 4\%$	$2,642 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	9,94 Horas	Pintura branca 2,13% Pintura amarela 3,17%
COBERTURA: LEVE E ISOLADA					
Trasmitância Térmica (U)	Atraso Térmico (ϕ)	Fator Solar (FS0)	Trasmitância Térmica (U)	Atraso Térmico para o verão (ϕ)	Fator Solar (FS0)
$\leq 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$\leq 3,3 \text{ Horas}$	$\leq 6,5\%$	$3,614 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	2,135 Horas	11,566%

Fonte: Elaboração própria com base no anexo A da Norma ABNT NBR 15220:2005

Nota-se que, no caso das vedações, com exceção da transmitância térmica e do fator solar para as cores branco e amarelo, o atraso térmico está cerca de 230% acima do valor de referência colocado pela Norma, enquanto a solução da cobertura apresenta, para transmitância térmica, valor cerca de 180% acima do valor de referência e para o fator solar, valor cerca de 177% acima dos valores de referência da Norma.

Esses resultados reforçam a insatisfação dos moradores quanto ao conforto térmico das unidades habitacionais, considerando que a maioria deles identificou a unidade em que reside como muito desconfortável para o verão, e indicam que deve haver incorporação de novas soluções para que se atinjam níveis mais satisfatórios e em consonância com as diretrizes da norma 15220:2005 para o zoneamento bioclimático da cidade de Belo Horizonte.

Contudo, é importante ressaltar que as sensações de conforto para o usuário estão atreladas a fatores que vão além do ambiente construído, como aponta FROTA e SCHIFFER, 2001, no livro Manual do Conforto Térmico, sobre um estudo realizado em 1916 pela Comissão Americana de Ventilação que tinha por objetivo determinar a influência das condições termo-higrométricas sobre o conforto térmico de operários:

Como pode ser visto nos itens relativos às exigências humanas, as condições de conforto térmico são função da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo, hábitos alimentares etc. (FROTA e SCHIFFER, 1987)

4.5.4 NBR 15220:2005 X Ventilação natural

De acordo com as diretrizes construtivas apresentadas pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações para habitações de interesse social e, considerando as características bioclimáticas de Belo Horizonte/MG (Zona Bioclimática 3), as aberturas devem proporcionar ventilação cruzada no verão e apresentar tamanhos médios, ou seja, área maior que 15% e menor que 25% da área do piso do ambiente.

Analisou-se, como ilustrado na *Tabela 8*, as diferentes esquadrias utilizadas no projeto das unidades habitacionais do conjunto Granja de Freitas III, mensurando a área de abertura para ventilação de cada uma delas e comparando com a área de piso dos ambientes relacionados.

Tabela 8 - Área de aberturas X prescrição da Norma ABNT NBR 15220:2003

AMBIENTE	ÁREA DE PISO [m ²]	NOMECLATURA DA ESQUADRIA	ÁREA DO VÃO DA ESQUADRIA [m ²]	ÁREA DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO [m ²]	EQUIVALENTE ÁREA PISO X ÁREA ABERTURA [%]	PARÂMETRO NBR15220:2003
ESTAR	12,75	J4	1,58	0,77	6,04	15% < ÁREA DO PISO < 25%
LAVABO	1,17	0,00	0,00	0,00	
BANHO	2,00	J2	0,39	0,21	10,50	
COZINHA	5,25	J1	0,79	0,53	10,10	
QUARTO 1	9,47	J3	1,58	0,77	8,13	
QUARTO 2	8,74	J3	1,58	0,77	8,81	
QUARTO 3 (UH TIPO I)	6,92	J3	1,58	0,77	11,13	

Fonte: Elaboração própria com base nos documentos disponibilizados pela URBEL

Constatou-se que nenhuma das esquadrias atende ao requisito da Norma para o tamanho das aberturas, contudo, se compararmos as condições de ventilação das unidades habitacionais com as diretrizes colocadas pelo Código de Edificações de Belo Horizonte, todos os ambientes das unidades são considerados ventilados, exceto o Estar que não atende a diretriz estabelecida no Anexo III da Lei. Na Tabela 9 estão indicadas as diretrizes segundo o Código de Obras e os resultados encontrados para as habitações.

Tabela 9 - Área de abertura x parâmetros do Código de Edificações de Belo Horizonte

ÁREA DE ABERTURAS X PARÂMETROS DO CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DE BELO HORIZONTE					
AMBIENTE	ÁREA DE PISO [m ²]	NOMECLATURA DA ESQUADRIA	ÁREA DO VÃO DA ESQUADRIA [m ²]	EQUIVALENTE ÁREA PISO X ÁREA ABERTURA [m ²]	PARÂMETRO 1 CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES/BH
ESTAR	12,75	J4	1,58	2,13	ÁREA DO VÃO DE VENTILAÇÃO ≤ 1,6 ÁREA DO PISO DO COMPARTIMENTO DE PERMANÊNCIA PROLONGADA (ESTAR E QUARTOS)
LAVABO	1,17	0,00	0,00	
BANHO	2,00	J2	0,39	0,25	
COZINHA	5,25	J1	0,79	0,66	
QUARTO 1	9,47	J3	1,58	1,58	ÁREA DO VÃO DE VENTILAÇÃO ≤ 1,8 ÁREA DO PISO DO COMPARTIMENTO (BANHO E COZINHA)
QUARTO 2	8,74	J3	1,58	1,46	
QUARTO 3 (UH TIPO I)	6,92	J3	1,58	1,15	

PARÂMETRO 2: EM TODOS OS AMBIENTES A DISTÂNCIA MÁXIMA DE QUALQUER PONTO DO COMPARTIMENTO EM RELAÇÃO AO VÃO DE ILUMINAÇÃO É MENOR QUE A RELAÇÃO 2,5 x PÉ-DIREITO, COLOCADA PELO CÓDIGO.

Fonte: Elaboração própria com base nos documentos disponibilizados pela URBEL e Código de Edificações de Belo Horizonte

A fim de verificar a adoção da diretriz sobre ventilação cruzada colocada pela Norma e exemplificar a situação atual das habitações analisadas, simulou-se a circulação do vento incidente sobre os dois tipos de unidades habitacionais que compõe o

conjunto Granja de Freitas III. Para tal, utilizou-se o software Fluxovento²⁹ que trabalha com a inserção de linhas representando as vedações e vãos representando as aberturas. Na simulação, como o software não permite inserir dados mais complexos como tipo de esquadria utilizada ou mesmo sua área de ventilação, considerou-se metade do vão das aberturas para a sala de estar e dormitórios, referente à parte móvel das esquadrias adotadas como indicado nas *Figuras 23 e 24*.

Considerou-se para simulação dois momentos distintos que ilustram de forma simplificada o movimento do ar no interior das tipologias I e II do Conjunto. O primeiro deles, ilustrado na *Figura 23*, mostra as duas tipologias com as portas fechadas e janelas abertas, demonstrando como a disposição desses elementos na planta influenciam na circulação da ventilação natural na edificação. Já no segundo momento, ilustrado pela *Figura 24*, tem-se as duas tipologias com portas e janelas abertas, demonstrando como a área de abertura para ventilação modifica o fluxo de ar nas edificações, porém não é requisito da Norma a necessidade de se manter também as portas abertas para efetivar a ventilação cruzada indicada para a zona bioclimática onde o Conjunto está inserido, buscou-se ilustrar essa situação apenas como forma de exemplificar a influência das soluções arquitetônicas adotadas para as habitações.

²⁹ Fluxovento – Programa para Estudo do Conforto em Ambientes Construídos. PUC-Rio. Laboratório de Conforto Ambiental e Tecgraf/PUC-Rio – Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica. Setembro de 2005.

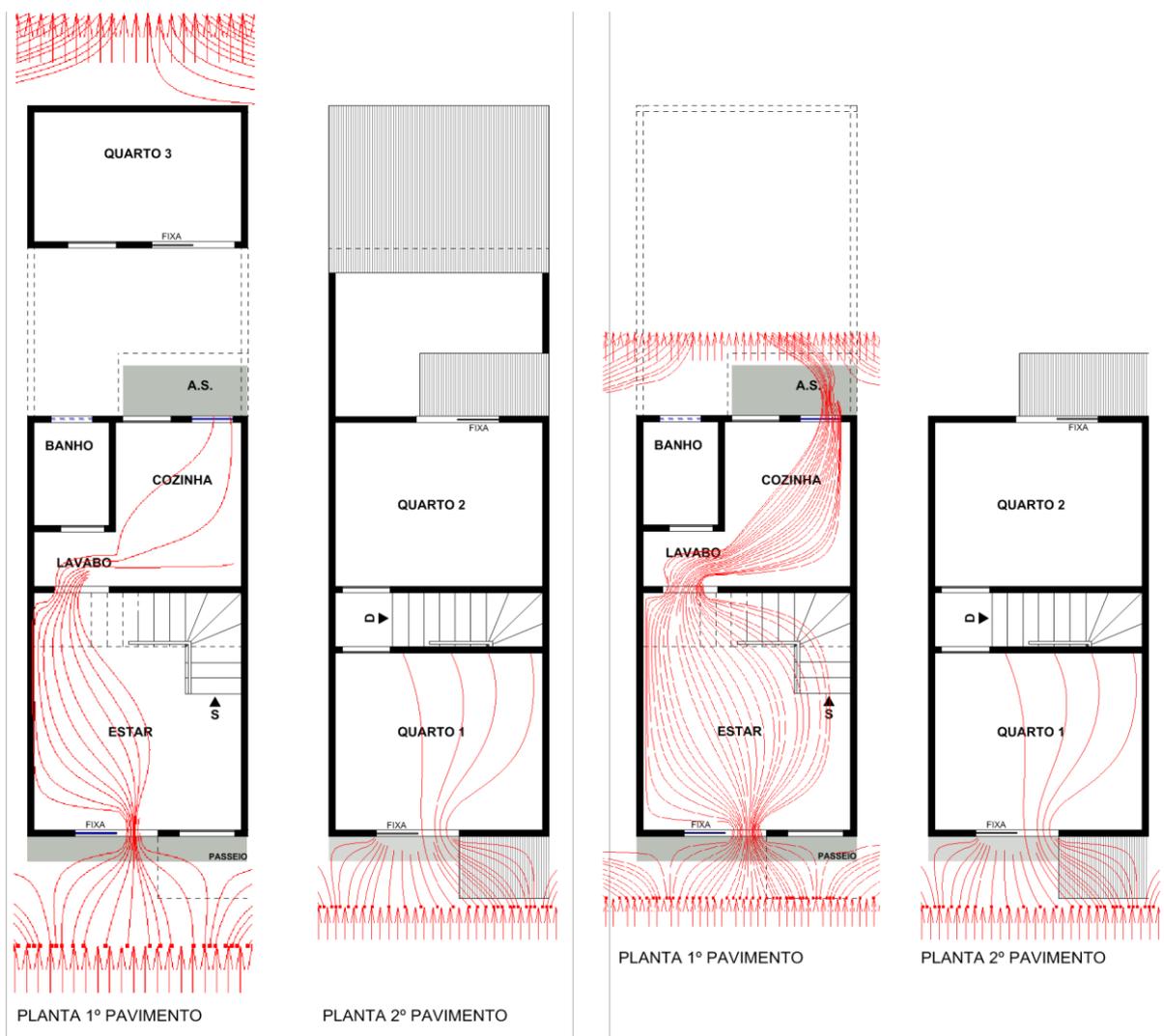


Figura 23 - Esquemas de ventilação natural para unidades habitacionais tipo I e II com portas fechadas

Fonte: Elaboração própria com base no software Fluxovento e VectorWorks

É possível notar que nas unidades tipo I, três quartos, não há efetiva ventilação cruzada nos ambientes do primeiro pavimento. A situação mais crítica ocorre nos quartos que, com uma só abertura para ventilação, não apresentam condição satisfatória de ventilação. No primeiro pavimento das unidades tipo II, dois quartos, há um aumento significativo da circulação de ar em função da ausência do cômodo que configura o terceiro quarto nas unidades tipo I, porém não há condição satisfatória para ventilação nos quartos localizados no segundo pavimento devido a existência de uma única abertura para ventilação.

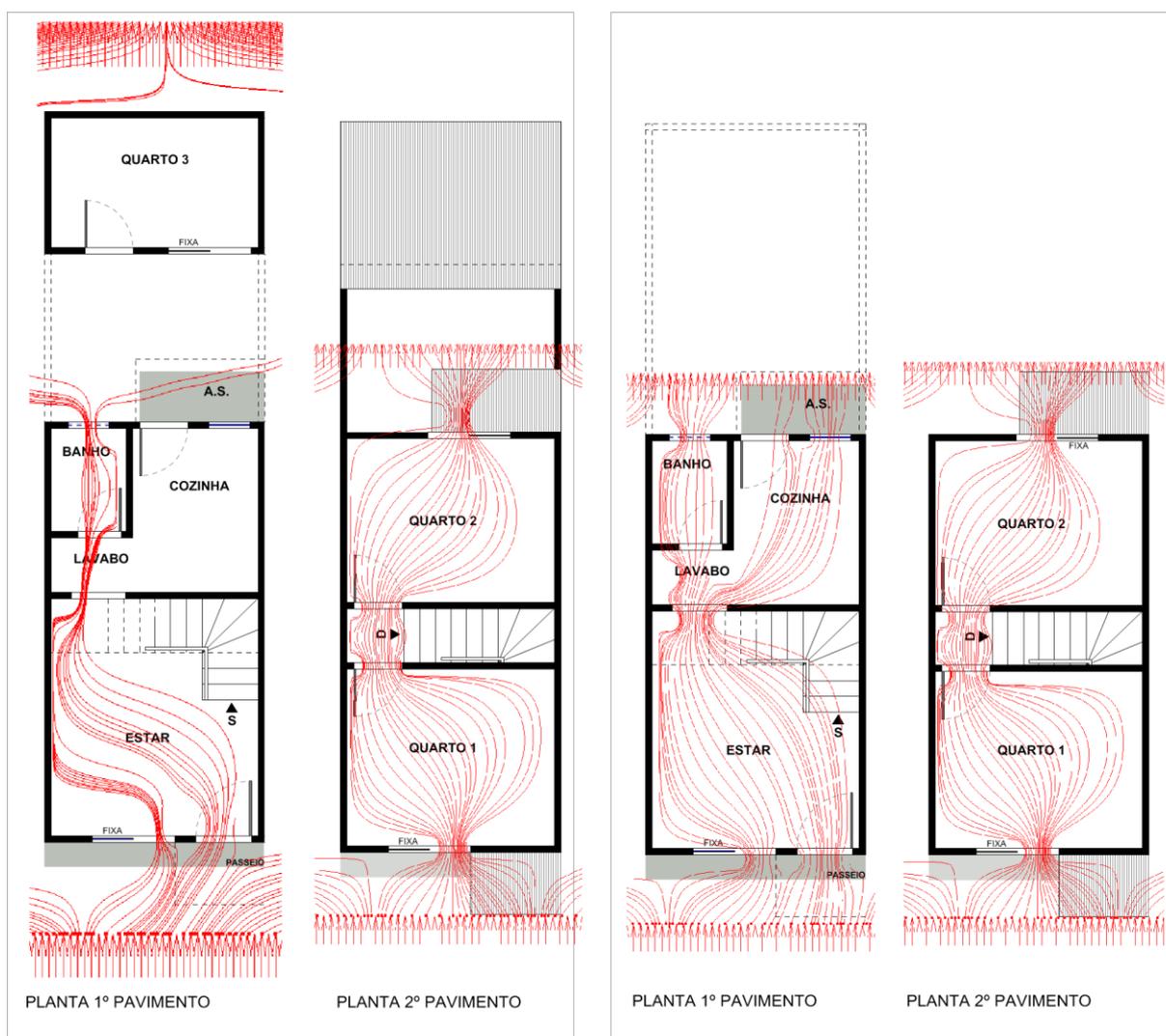


Figura 24 - Esquemas de ventilação natural para unidades habitacionais tipo I e II com portas abertas

Fonte: Elaboração própria com base no software Fluxovento e VectorWorks

Com base nas análises apresentadas, justifica-se o fato da maioria dos entrevistados se sentirem desconfortáveis com o fluxo de ar que adentra nas edificações, uma vez que a solução adotada não atende à Norma de Desempenho térmico de Edificações em nenhum dos requisitos para se atingir conforto a partir da ventilação natural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao averiguar as unidades habitacionais do conjunto habitacional Granja de Freitas III utilizando o método de APO investigativa, foi possível identificar condições críticas que levam, em muitos casos, à insatisfação dos moradores quanto ao conforto térmico das habitações.

Adotou-se como parâmetro inicial de investigação, uma amostra representativa de 60 famílias, sendo que pelo menos um membro de cada família deveria responder ao questionário, porém, devido à resistência de alguns moradores, foi possível aplicar 44 questionários. De modo geral, as habitações se mostram:

- Muito desconfortáveis no período do verão apenas na questão que abordou as sensações de calor e frio (conforto térmico);
- Confortáveis no período do inverno nas questões que abordaram as sensações de calor e frio e entrada de raios solares nas edificações, na questão que envolveu o tamanho das esquadrias para ventilação natural e nas questões relativas à iluminação natural nos períodos de verão e inverno;
- Desconfortáveis nas questões relativas à entrada de ventilação natural e quanto à entrada de raios solares no período do verão.

Analisando os gráficos síntese apresentados, constatou-se que os entrevistados consideram que as unidades habitacionais, num aspecto global, são confortáveis exceto quando questionados sobre a condição de ventilação natural das unidades.

Considerando que o principal objetivo da pesquisa é avaliar as condições de conforto térmico das habitações de interesse social do conjunto Granja de Freitas III através de uma Avaliação Pós-ocupação, pode-se concluir que, de forma satisfatória, se atingiu os resultados atrelados aos questionários aplicados aos moradores, porém, levando em consideração a característica socioeconômica da população avaliada e a dificuldade, em alguns casos, de entendimento dos questionamentos da pesquisa, sentiu-se necessidade de incorporar outros métodos de avaliação capazes de complementar as informações obtidas.

O comparativo da situação atual das edificações com as diretrizes colocadas pela Norma 15220:2005 veio ao encontro dessa complementação, reforçando as conclusões obtidas através da aplicação da APO. Para tal, foi necessário obter informações sobre os materiais construtivos empregados, suas condições de acabamento e suas propriedades térmicas, a fim de verificar através de cálculos específicos dados pela Norma as condições de conforto das edificações.

Assim, a pertinência da pesquisa é demonstrada no momento em que, através dos dados coletados e de sua análise, pôde-se gerar alternativas capazes de auxiliar na manutenção do conforto térmico das habitações, priorizando o bem-estar do morador, apresentadas no tópico que se segue.

5.1 Propostas para melhorar o conforto térmico das unidades habitacionais analisadas

Após realizar visita técnica ao local, identificando as tipologias construtivas e suas características, conversar com moradores, aplicar questionários investigativos e analisar os dados obtidos com os mesmos, notou-se deficiências que vão além do projeto arquitetônico das habitações, se relacionando também com a solução urbanística dada ao conjunto.

Nesse sentido, para melhorar as condições de conforto térmico das habitações, pensou-se em alternativas para curto, médio e longo prazos, considerando as situações mais críticas colocadas pelos moradores que são a incidência solar desfavorável para algumas unidades e a ventilação natural que, em algumas unidades é excessiva e em outras é mínima. Assim, para soluções que melhorem estas condições propõe-se:

- a. Em curto prazo: instalação de forro de PVC no segundo pavimento de todas as unidades habitacionais e incorporação de camada argamassada na parte interna das vedações, considerando que, como demonstrado na *Tabela 10*, a adoção das duas intervenções propostas tem impacto direto nos índices de

transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para vedações e cobertura. A solução visa não só a melhoria do conforto térmico nas habitações, mas também uma atualização das unidades com foco em atender aos requisitos da norma ABNT NBR 15220:2005³⁰, uma vez que as intervenções propostas, com exceção do atraso térmico para vedações que teve redução, mas continua acima do limite colocado pela Norma, colocam todos os índices dentro dos valores admitidos pela mesma.

Tabela 10 - Resultados para o conforto térmico com alterações nos sistemas de vedação externa e cobertura, com base na norma ABNT NBR 15220:2005

RESULTADOS PARA AS UNIDADES HABITACIONAIS DO CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III, APÓS MODIFICAÇÕES NOS SISTEMAS APRESENTADOS				
VEDAÇÕES EXTERNAS				
Solução adotada	Trasmitância Térmica (U)	Atraso Térmico (ϕ)	Fator Solar (FS0)	
Incorporação de reboco interno com espessura final de 2,3cm, considerando chapisco, emboço e reboco	2,15 W/m ² .K	6,27 Horas	Pintura branca	1,72%
			Pintura amarela	2,59%
COBERTURA				
Solução adotada	Trasmitância Térmica (U)	Atraso Térmico para o verão (ϕ)	Fator Solar (FS0)	
Incorporação de forro de PVC com espessura igual a 5mm	1,956 W/m ² .K	3,148 Horas	6,262%	

Fonte: Elaboração própria com base no anexo A da Norma ABNT NBR 15220:2005

A *Tabela 11*, demonstra o custo da adoção das duas soluções, bem como seu equivalente sobre o custo unitário das unidades habitacionais.

³⁰ VER APÊNDICE II – COBERTURA: MÉMORA DE CÁLCULO PARA TRÂMISMITÂNCIA TÉRMICA, CAPACIDADE TÉRMICA, ATRASO TÉRMICO E FATOR SOLAR

Tabela 11 - Custo das intervenções propostas com base nos requisitos da zona bioclimática 3 (ABNT NBR 15220:2005)

Custo das soluções propostas para intervenção	Chapisco R\$/m ²	R\$ 7,18	Custo médio de uma UH para atendimento ao Déficit Habitacional e da Demanda Demográfica, tendo como referência o custo praticado pela Prefeitura Municipal de BH, incluindo o valor do terreno, da implantação da infraestrutura externa quando for o caso, da implantação da infraestrutura interna e da construção das UH	
	Emboço R\$/m ²	R\$ 15,96		
	Reboco R\$/m ²	R\$ 12,70		
	Forro pvc R\$/m ²	R\$ 41,00		
Áreas de parede	Estar m ²	34,846	R\$ 73.600,00	
	Lavabo m ²	5,971	Unidade I (R\$/m ²)	R\$ 1.314,29
	Cozinha m ²	23,827	Unidade II (R\$/m ²)	R\$ 1.502,04
Áreas de forro	Teto m ²	18,44	Equivalente, sobre o custo das unidades, das alterações propostas	
Custo final parede	R\$ 2.316,84			
Custo final forro	R\$ 756,04			
Total	R\$ 3.072,88		Unidade 49 m ²	4,18%

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL, dados da SUDECAP e do Plano local de habitação de interesse social – Belo Horizonte

Outra solução com possibilidade de execução e incorporação em curto prazo é a adoção de dispositivos de proteção solar nas unidades com fachada que recebem incidência solar crítica e possuem ambientes de longa permanência (sala de estar no primeiro pavimento e dormitório no segundo), como indicado na *Figura 25*. No momento da seleção das unidades é importante observar aquelas que já recebem sombreamento das unidades adjacentes para que não se favoreça uma situação de desconforto lumínico por sombreamento.

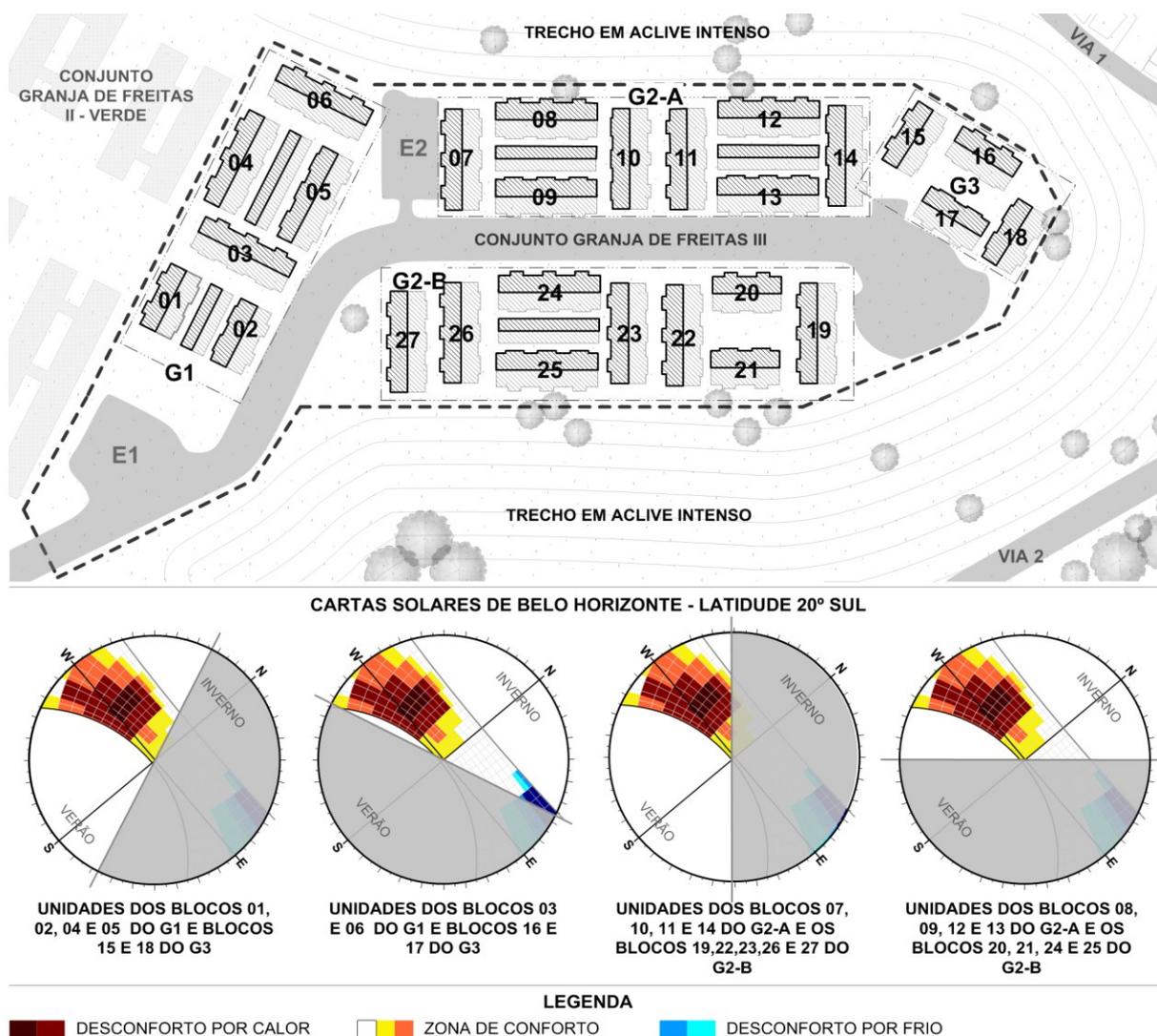


Figura 25 – Blocos habitacionais que deverão receber dispositivos de proteção solar

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

Para a questão da ventilação, a alternativa encontrada é a substituição das esquadrias existentes por esquadrias que atendam a Norma NBR 15220:2005, visto que, como demonstrando no *Item 4.5.4 do Capítulo 4* (pp. 80 a 83), as esquadrias atuais não oferecem condições de conforto para ventilação natural;

- b. Em médio prazo, a fim de melhorar a condição de conforto pela ventilação natural, propõe-se a adoção de barreiras vegetais como arbustos ou colocação de suportes para trepadeiras em pontos estratégicos, de cota mais

alta do Conjunto ou em locais onde não há presença de barreira física, a fim de minimizar e direcionar o fluxo de vento nas habitações, como indicado na *Figura 26*, esquemática para as regiões que merecem tratamento para amenizar e melhorar as condições de ventilação;

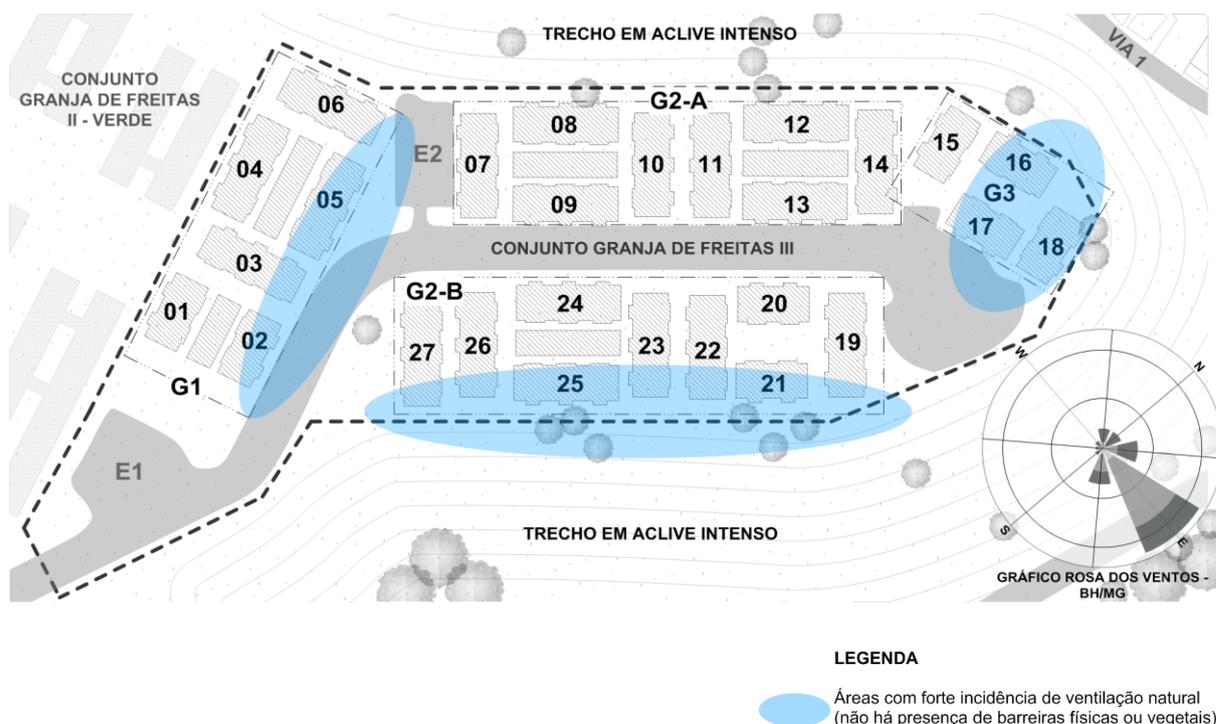


Figura 26 - Esquema demonstrativo de regiões para implantação de barreiras vegetais

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL e INMET

- c. Em longo prazo, para amenizar o desconforto causado pela insolação nas unidades habitacionais do Conjunto, propõe-se o plantio de árvores ao longo de sua via interna.

Ao analisar as condições de conforto das edificações sobre a ótica da Norma de Desempenho térmico de edificações, ABNT NBR 15220:2005, verificou-se que a solução dada às paredes de vedação externa e interna não atendem em sua totalidade às diretrizes colocadas pela mesma, o que garante que os moradores não tenham de fato conforto nas habitações como se pode notar pela análise individual dos questionamentos feitos na Avaliação Pós-ocupação descrita no *Capítulo 4*, onde, no verão, o desconforto por calor é grande.

O sistema de cobertura utilizado nas habitações também não atende aos critérios de conforto térmico colocados pela Norma, com exceção do índice de Atraso Térmico para o verão que permanece no limite colocado pela mesma.

Apesar de, nesse tipo de construção, o critério de economicidade ser fator decisivo na escolha de materiais e soluções construtivas e de implantação, a Norma de Desempenho térmico das edificações, se estabelece para que se atinjam condições satisfatórias de conforto ao morador.

Mesmo com índices enxutos, a Norma é um instrumento importantíssimo para o dimensionamento dos sistemas construtivos empregados, uma vez que é o único normativo voltado a habitações de interesse social no Brasil, e deve ser sempre utilizada como balizador na elaboração desses projetos, porém, não de forma isolada. Como mencionado no *Item 3.1.2 do Capítulo 3*, as sensações de conforto dependem da interação de diversos fatores, logo, no caso do conjunto habitacional Granja de Freitas III, a solução de implantação adotada em consonância com a escolha e posicionamento de esquadrias que não atendem à Norma e a ausência de dispositivos de proteção solar, de forro interno e vegetação, podem ter resultado no desconforto indicado pelos moradores nos períodos de verão.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

O conforto térmico do edifício está atrelado ao seu desempenho térmico que, por sua vez, depende dos materiais e técnicas construtivas utilizadas, bem como do comportamento interativo das fachadas, coberturas e pisos. Considerando que a pesquisa foi desenvolvida sobre o modelo de APO investigativa que teve como principal subsídio as percepções dos próprios moradores quanto as sensações de conforto térmico proporcionadas pelas edificações do objeto de estudo e, lembrando que a condição de conforto varia de pessoa para pessoa devido à particularidades como metabolismo corporal, tipo de atividade que exercem, preferências, saúde, dentre outros fatores, sugere-se que sejam feitas simulações computacionais com pelo menos uma unidade habitacional de cada um dos quatro grupos levantados

(G1, G2-A, G2-B e G3), a fim de verificar e validar a condição de conforto térmico proporcionada pelas habitações do conjunto habitacional Granja de Freitas III.

Elaboradas as simulações, sugere-se a comparação dos resultados com a Norma de desempenho para habitações, a NBR 15.575:2013, a fim de gerar diretrizes capazes de moldar um projeto de habitação de interesse social dentro de padrões mínimos de conforto e desempenho térmico frente às necessidades climáticas da cidade de Belo Horizonte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220 - 2: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220 - 3: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSIS, E. S.; PEREIRA, E. M. D.; SOUZA, R. V. G. de; DINIZ, A. S. A. C. Habitação social e eficiência energética: um protótipo para o clima de Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, II, Anais... Vitória: ABEE, 2007. 7 p.

ASSIS, João Batista Santos. Avaliação da compressão excêntrica em paredes construídas com blocos intertravados de solo-cimento - tijolito®. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, Jun/Dez. 2012.

BAPTISTA, Pedro Schultz Fonseca. A Privatização dos Espaços Comuns nas Habitações de Interesse Social: o caso do bairro Granja de Freitas, em Belo Horizonte. 2011. 166f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UFMG, Belo Horizonte, 2011.

BELO HORIZONTE. Lei nº 9725, DE 15 DE JULHO DE 2009. NSTITUI O CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Disponível em > <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg> < Acessado em 01 de Outubro de 2016.

CBCS. Lições Aprendidas: Soluções para Sustentabilidade em Habitação de Interesse Social com a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo. São Paulo: UNEP, 2010.

FIQUEROLA, Valentina. Revista Técnica. Alvenaria de solo cimento. Ed. 85. 2004. Disponível em > <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>< Acessado em 14 de Maio de 2016.

Fundação João Pinheiro e Ministério das Cidades divulgam os resultados do Déficit Habitacional Municipal no Brasil. 2013. Disponível em ><http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/noticias-em-destaque/2680-fundacao-joao-pinheiro-e-ministerio-das-cidades-divulgam-os-resultados-do-deficit-habitacional-municipal-no-brasil>< Acessado em 06 de Abril de 2016.

FROTA, Anésia Barros; CHIFFER, Sueli Ramos. Manual de Conforto Térmico. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GUIMARÃES, Berenice Martins. Favelas em Belo Horizonte: tendências e desafios. Análise e conjuntura, Belo Horizonte, v. 7, n. 2;3, pp. 3-6, maio/dez. 1992.

LEITE, Claudius; SCALON, Andrea; FONSECA, Maria. Programa Vila Viva: Intervenção em assentamentos precários. Belo Horizonte, 2007. Disponível em >portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/contents.do?evento=conteudo&idConteudo=22546&chPlc=22546&&pldPlc=&app=salanoticias< Acessado em 06 de Abril de 2016

MARQUES, W; CASTRO, R; ISAAC, M. Desempenho térmico de alvenaria de solo-cimento e sua Adequação ao zoneamento bioclimático brasileiro. In: X ENCAC - Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído. Anais... Natal: ENCAC, 2009.

MARICATO, Ermínia. Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana. 3 ed. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2008.

MASCARÓ, Lúcia R. Energia na Edificação: Estratégia para Minimizar seu Consumo. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda., 2ª Edição, 1991.

MIRSHAWAKA, Victor. Entrosando-se com a qualidade. São Paulo, Nobel, 1988.

OLIVEIRA, Éder Aguiar Mendes de. A imigração italiana e a organização operária em Belo Horizonte nas primeiras décadas do século XX. 2004. 93f. Monografia

(Especialização em História) – Faculdades Integradas de Pedro Leopoldo, Centro de Pós Graduação, Pedro Leopoldo, 2004. p.34-35

OLIVEIRA, Patrícia; CASTRO, José; GODINHO, Maria Helena. Coleção HABITARE ANTAC. Cap 16 - Orçamento Participativo da Habitação em Belo Horizonte – o caso do Conjunto Granja de Freitas III. Porto Alegre, 2007 pp 538-550. Ilustrado.

ORNSTEIN, Sheila. Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído / Sheila Ornstein, Marcelo Roméro (colaborador). São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

Plano Local de Habitação de Interesse Social. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2010. P 103.

Revista digital AECweb: Em vigor há 2 anos, NBR 15575 gera avanços para o setor. Disponível em > http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/em-vigor-ha-2-anos-nbr-15575-gera-avancos-para-o-setor_11986_0_1<. Acessado em 05 de Março de 2016.

RODRIGUES, Arlete Moysés. Moradia nas cidades brasileiras. 2ª ed. São Paulo, Contexto, 1989.

ROMERO, Marcelo; ORNSTEIN, Sheila. Coleção Habitare ANTAC. Porto Alegre, 2003. 294p. Ilustrado.

Tabela mensal de preço serviços de construção maio/2016 (com desoneração) – SUDECAP. Disponível em > <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&app=pbh&tax=53761&pg=5120&taxp=0&> <. Acessado em 16 de Outubro de 2016.

URBEL – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte.

APÊNDICE I – VEDAÇÃO EXTERNA: MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, CAPACIDADE TÉRMICA, ATRASO TÉRMICO E FATOR SOLAR

A seguir será apresentada a memória de cálculo para determinação da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar do material adotado como vedação externa nas unidades habitacionais do conjunto habitacional Granja de Freitas III.

Como parâmetros básicos, buscou-se na literatura³¹ as propriedades térmicas do material empregado no Tijolito, solo-cimento, uma vez que o mesmo não se encontra na tabela dada pela Norma, referente a estas características. Dados menos específicos como resistência superficial externa e interna, emissividade de cores, resistência térmica de câmaras de ar e absorvância relativa às cores externas do material empregado na vedação, foram extraídos da norma ABNT NBR 15220:2005, em consonância com as particularidades apresentadas pela a zona bioclimática 3 onde está inserida a cidade de Belo Horizonte, berço do Conjunto Habitacional. A *Tabela 10* ilustra esses parâmetros.

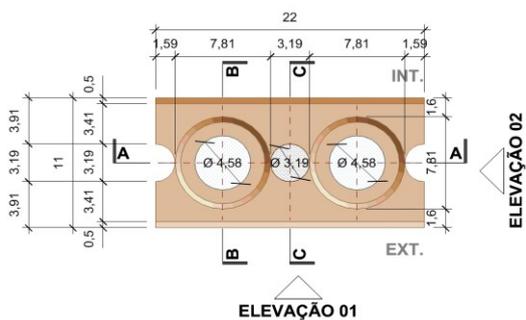
³¹ Marques, Castro e Isaac (2009)

Tabela 12 - Dados gerais para cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar das vedações externa

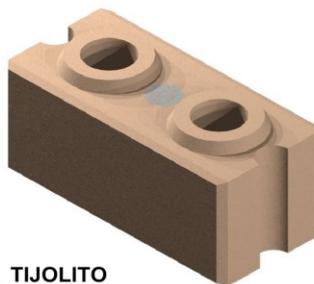
	TIJOLITO		
	SOLO-CIMENTO	ARGAMASSA COMUM	
V E D A Ç Ã O E X T E R N A	Espeçsura Camada Externa (e)	varia (ver Figura 27 - Tijolito)	-----
	Densidade de Massa Aparente (ρ)	1890 Kg/m ³	1900 Kg/m ³
	Condutividade Térmica (λ)	0,38 W/(m.K)	1,15 W/(m.K)
	Calor Específico (c)	1,30 kJ/(Kg.K)	1,00 kJ/(Kg.K)
	Resistência Superficial Externa (Rse)	0,04	
	Resistência Superficial Interna (Rsi)	0,13	
	Emissividade (ϵ) para as cores branca, amarela e verde clara	0,90	
	Resistência térmica de câmara de ar não ventiladas para superfície de alta emissividade ($\epsilon > 0,8$)	0,16	
	Absortância (α)	Cor branca: 0,20	
		Cor amarela: 0,30	

Fonte: Elaboração própria com base na Norma ABNT NBR 15220:2005 e referências na literatura

A Figura 27 apresenta os materiais e dimensões do bloco de vedação utilizado, adotados como parâmetro para todos os cálculos (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, e fator solar).



ELEVAÇÃO 01
TIJOLITO - VISTA SUPERIOR
 Scale: 1:5



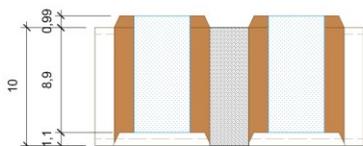
TIJOLITO
 SISTEMA DE ENCAIXE MACHO E FÊMEA



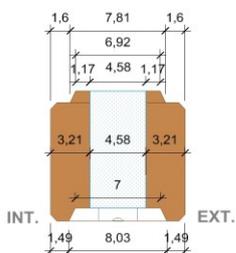
TIJOLITO - VISTA LATERAL 1
 Scale: 1:5



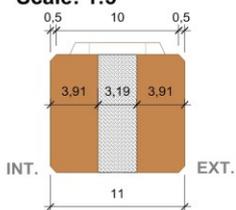
TIJOLITO - VISTA LATERAL 1
 Scale: 1:5



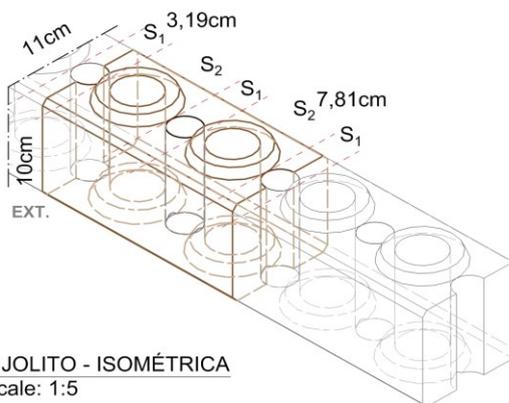
TIJOLITO - CORTE AA
 Scale: 1:5



TIJOLITO - CORTE BB
 Scale: 1:5



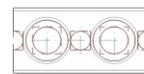
TIJOLITO - CORTE CC
 Scale: 1:5



TIJOLITO - ISOMÉTRICA
 Scale: 1:5

LEGENDAS E OBSERVAÇÕES

- SOLO-CIMENTO
- CÂMARA DE AR
- ARGAMASSA



PARA EFEITO DE CÁLCULO, OS RECORTES CIRCULARES DO TIJOLITO FORAM TRANSFORMADOS EM QUADRADOS DE MESMA ÁREA E MESMO CENTRO, COMO MANDA A NORMA TÉCNICA DA ABNT, NBR 15220.

Figura 27 – Tijolito

Fonte: Elaboração própria com base no artigo da Revista Construindo

1. Resistência térmica:

$R = e/\lambda$, onde:

R = resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$)

e = espessura da camada - $kJ/(kg.K)$

λ = condutividade térmica do material - $W/(m.K)$

- Seção 1 (solo-cimento + argamassa comum + solo cimento)

$$A_1 = 0,0319 \times 0,1 = 0,00319 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{0,0391}{0,38} + \frac{0,0319}{1,15} + \frac{0,0391}{0,38} = 0,102 + 0,027 + 0,102 = 0,233 \text{ (m}^2.K)/W$$

- Seção 2 (solo-cimento + câmara de ar + solo cimento)

$$A_2 = 0,0781 \times 0,1 = 0,00781 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{0,032}{0,38} + \frac{0,045}{0,312} + \frac{0,032}{0,38} = 0,084 + 0,146 + 0,084 = 0,315 \text{ (m}^2.K)/W$$

Para componentes com camadas homogêneas e não homogêneas:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}, \text{ onde:}$$

$R_a + R_b + \dots + R_n$ = resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n)

$A_a + A_b + \dots + A_n$ = áreas de cada seção

$$R_t = \frac{(3 \cdot 0,00319) + (2 \cdot 0,00781)}{\frac{(3 \cdot 0,00319)}{0,233} + \frac{(2 \cdot 0,00781)}{0,315}} = \frac{0,00957 + 0,0156}{\frac{0,00957}{0,233} + \frac{0,0156}{0,315}} = \frac{0,025}{0,040 + 0,079} = \frac{0,025}{0,120}$$

$$R_t = 0,208 \text{ (m}^2.K)/W$$

$R_t = R_{se} + R_t + R_{si}$, onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície

R_{se} e R_{si} = resistências superficiais externa e interna, respectivamente

$$R_t = 0,13 + 0,208 + 0,04 = 0,378 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

2. Transmitância térmica:

$U = 1/R_t$, onde:

U = transmitância térmica de um componente – $W/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

R_t = resistência térmica total do componente

$$U = 1/0,378 = 2,642 \text{ W/(\text{m}^2\cdot\text{K})}$$

3. Capacidade Térmica

Para componentes homogêneos: $CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$, onde:

λ_i = condutividade térmica do material da camada

R_i = resistência térmica da camada

e_i = espessura da camada

c_i = calor específico do material da camada

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada

- Seção 1 (solo-cimento + argamassa comum + solo-cimento)

$$A_1 = 0,00319 \text{ m}^2$$

$$CT_{(\text{solocimento})} = 0,0391 \cdot 1,3 \cdot 1890 = 96,068 \text{ kJ/(\text{m}^2\cdot\text{K})}$$

$$CT_{(\text{argamassa})} = 0,0319 \cdot 1,00 \cdot 1900 = 60,61 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 96,068 + 60,61 + 96,068 = 252,747 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- Seção 2 (solo-cimento + câmara de ar + solo-cimento)

$$A_2 = 0,00781 \text{ m}^2$$

$$CT_{(\text{solocimento})} = 0,0321 \cdot 1,3 \cdot 1890 = 78,869 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 78,869 + 0 + 78,869 = 157,739 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Para componentes homogêneos e não homogêneos: $C_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_a} + \frac{A_b}{C_b} + \dots + \frac{A_n}{C_n}}$, onde:

$C_a + C_b + \dots + C_n$ = capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n)

$A_a + A_b + \dots + A_n$ = áreas de cada seção

$$C_t = \frac{(3 \cdot 0,00319) + (2 \cdot 0,00781)}{\frac{(3 \cdot 0,00319)}{252,747} + \frac{(2 \cdot 0,00781)}{157,739}} = \frac{0,00957 + 0,0156}{\frac{0,00957}{252,747} + \frac{0,0156}{157,739}} = \frac{0,025}{3,786E^{-05} + 9,902E^{-05}}$$

$$C_t = \frac{0,025}{0,0001368} = 184,019 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

4. Atraso térmico para elemento heterogêneo

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}, \text{ onde:}$$

R_t = resistência térmica de superfície a superfície do componente

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}, \text{ onde:}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}, \text{ onde:}$$

C_T = capacidade térmica do componente

$C_{T_{ext}}$ = capacidade térmica da camada externa do componente

$$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right] \cdot \left[R_{t_{ext}} - \frac{R_t - R_{t_{ext}}}{10} \right], \text{ onde:}$$

λ = condutividade térmica do material

ρ = densidade de massa aparente do material

C = calor específico

R_{ext} = resistência térmica da camada externa do componente

$$B_0 = 184,019 - 78,869 = 105,149$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{105,149}{0,084} = 0,226 \cdot 1244,759 = 281,316$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(0,38 \cdot 1890 \cdot 1,3)_{\text{ext}}}{0,084} \right] \cdot \left[0,084 - \frac{0,378 - 0,084}{10} \right] = 0,205 \cdot \left(\frac{933,66}{0,084} \right) \cdot \left(0,066 - \frac{0,302}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 11052,7 \cdot (0,066 - 0,0302) = 2265,80 \cdot 0,0357 = 80,996$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,378 \cdot \sqrt{281,316 + 80,996} = 0,522 \cdot \sqrt{362,612} = 0,522 \cdot 19,034 = 9,94 \text{ horas}$$

5. Fator solar para elementos opacos (verão)

$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$, onde

FS_o = fator solar de elementos opacos em percentagem

U = transmitância térmica do componente

α = absorptância à radiação solar em função da cor

- Para pintura branca: $FS_o = 4 \cdot 2,642 \cdot 0,2 = 2,113\%$

- Para pintura amarela: $FS_o = 4 \cdot 2,642 \cdot 0,3 = 3,170\%$

Memória de cálculo considerando adoção de camada argamassada na parte interna das vedações

1. Resistência térmica:

$R = e/\lambda$, onde:

R = resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$)

e = espessura da camada - $kJ/(kg.K)$

λ = condutividade térmica do material - $W/(m.K)$

- Seção 1 (solo-cimento + argamassa comum + solo cimento + argamassa comum)

$$A_1 = (0,0319 \times 0,1) + (0,023 \times 0,1) = 0,00549 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{0,0391}{0,38} + \frac{0,0319}{1,15} + \frac{0,0391}{0,38} + \frac{0,023}{1,15} = 0,102 + 0,027 + 0,102 + 0,02$$

$$R_1 = 0,253 \text{ (m}^2.K)/W$$

- Seção 2 (solo-cimento + câmara de ar + solo cimento + argamassa comum)

$$A_2 = (0,0781 \times 0,1) + (0,023 \times 0,1) = 0,01011 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{0,032}{0,38} + \frac{0,045}{0,312} + \frac{0,032}{0,38} + \frac{0,023}{1,15} = 0,084 + 0,146 + 0,084 + 0,02$$

$$R_2 = 0,335 \text{ (m}^2.K)/W$$

Para componentes com camadas homogêneas e não homogêneas:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}, \text{ onde:}$$

$R_a + R_b + \dots + R_n$ = resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n)

$A_a + A_b + \dots + A_n$ = áreas de cada seção

$$R_t = \frac{(3 \cdot 0,00549) + (2 \cdot 0,01011)}{\frac{3 \cdot 0,00549}{0,253} + \frac{2 \cdot 0,01011}{0,335}} = \frac{0,0164 + 0,02022}{\frac{0,0164}{0,253} + \frac{0,02022}{0,335}} = \frac{0,036}{0,064 + 0,060} = \frac{0,036}{0,125}$$

$$R_t = 0,292 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$R_t = R_{se} + R_t + R_{si}$, onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície

R_{se} e R_{si} = resistências superficiais externa e interna, respectivamente

$$R_t = 0,13 + 0,292 + 0,04 = 0,462 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

2. Transmitância térmica:

$U = 1/R_t$, onde:

U = transmitância térmica de um componente – $W/(m^2 \cdot K)$

R_t = resistência térmica total do componente

$$U = 1/0,462 = 2,159 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

3. Capacidade Térmica

Para componentes homogêneos: $C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$, onde:

λ_i = condutividade térmica do material da camada

R_i = resistência térmica da camada

e_i = espessura da camada

c_i = calor específico do material da camada

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada

- Seção 1 (solo-cimento + argamassa comum + solo cimento + argamassa comum)

$$A_1 = (0,0319 \times 0,1) + (0,023 \times 0,1) = 0,00549 \text{ m}^2$$

$$CT_{(\text{solocimento})} = 0,0391 \cdot 1,3 \cdot 1890 = 96,068 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT_{(\text{argamassa})} = 0,0319 \cdot 1,00 \cdot 1900 = 60,61 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 96,068 + 60,61 + 96,068 + 60,61 = 313,357 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- Seção 2 (solo-cimento + câmara de ar + solo cimento + argamassa comum)

$$A_2 = (0,0781 \times 0,1) + (0,023 \times 0,1) = 0,01011 \text{ m}^2$$

$$CT_{(\text{solocimento})} = 0,0321 \cdot 1,3 \cdot 1890 = 78,869 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT_{(\text{argamassa})} = 0,0319 \cdot 1,00 \cdot 1900 = 60,61 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 78,869 + 0 + 78,869 + 60,61 = 218,349 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Para componentes homogêneos e não homogêneos: $C_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_a} + \frac{A_b}{C_b} + \dots + \frac{A_n}{C_n}}$, onde:

$C_a + C_b + \dots + C_n$ = capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n)

$A_a + A_b + \dots + A_n$ = áreas de cada seção

$$C_t = \frac{(3 \cdot 0,00549) + (2 \cdot 0,01011)}{\frac{(3 \cdot 0,00549)}{313,357} + \frac{(2 \cdot 0,01011)}{218,349}} = \frac{0,0164 + 0,02022}{\frac{0,0164}{313,357} + \frac{0,02022}{218,349}} = \frac{0,036}{5,233E^{-05} + 9,260E^{-05}}$$

$$C_t = \frac{0,036}{0,000144} = 253,13 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

4. Atraso térmico para elemento heterogêneo

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}, \text{ onde:}$$

R_t = resistência térmica de superfície a superfície do componente

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}, \text{ onde:}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}, \text{ onde:}$$

C_T = capacidade térmica do componente

$C_{T_{ext}}$ = capacidade térmica da camada externa do componente

$$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right] \cdot \left[R_{text} - \frac{R_t - R_{text}}{10} \right], \text{ onde:}$$

λ = condutividade térmica do material

ρ = densidade de massa aparente do material

C = calor específico

R_{text} = resistência térmica da camada externa do componente

$$B_0 = 236,577 - 78,869 = 157,707$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{157,707}{0,462} = 0,226 \cdot 341,357 = 76,983$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(0,38 \cdot 1890 \cdot 1,3)_{ext}}{0,462} \right] \cdot \left[0,084 - \frac{0,462 - 0,084}{10} \right] = 0,205 \cdot \left(\frac{2016,628}{0,462} \right) \cdot \left(0,084 - \frac{0,378}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 4364,99 \cdot (0,084 - 0,0378) = 894,822 \cdot 0,0462 = 19,274$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,462 \cdot \sqrt{76,983 + 19,274} = 0,639 \cdot \sqrt{96,258} = 0,639 \cdot 9,811 = 6,277 \text{ horas}$$

5. Fator solar para elementos opacos (verão)

$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$, onde

FS_o = fator solar de elementos opacos em percentagem

U = transmitância térmica do componente

α = absortância à radiação solar em função da cor

- Para pintura branca: $FS_o = 4 \cdot 2,159 \cdot 0,2 = 1,727\%$

- Para pintura amarela: $FS_o = 4 \cdot 2,159 \cdot 0,3 = 2,591\%$

APÊNDICE II – COBERTURA: MÉMORA DE CÁLCULO PARA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, CAPACIDADE TÉRMICA, ATRASO TÉRMICO E FATOR SOLAR

A seguir será apresentada a memória de cálculo para determinação da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar do sistema adotado como cobertura nas unidades habitacionais do conjunto habitacional Granja de Freitas III.

Como parâmetros básicos, buscou-se na Norma ABNT NBR 15220:2005, os limites indicados para cada uma das características térmicas dos componentes que compõe o sistema empregado, em consonância com as particularidades apresentadas pela a zona bioclimática 3 onde está inserida a cidade de Belo Horizonte, berço do Conjunto Habitacional. A *Tabela 11* ilustra esses parâmetros.

Tabela 13 - Dados gerais para cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar da cobertura

C O B E R T U R A		TELHA CERÂMICA	FORRO DE PVC*
	Espessura Camada Externa (e)	0,07 m	0,005 m
	Densidade de Massa Aparente (ρ)	2000 Kg/m ³	1200 Kg/m ³
	Condutividade Térmica (λ)	1,05 W/(m.K)	0,20 W/(m.K)
	Calor Específico (c)	0,92 kJ/(Kg.K)	-----
	Resistência Superficial Externa (Rse)		0,04
	Resistência Superficial Interna (Rsi)		0,17
	Emissividade (ϵ) para telha de barro		0,90
Absortância (α)		0,80	

* Forro de pvc proposto pela autora a fim de melhorar o condicionamento térmico da edificação

Fonte: Elaboração própria com base no Anexo A da Norma ABNT NBR 15220:2005

A *Figura 28* apresenta os materiais e dimensões do sistema utilizado, adotados como parâmetro para todos os cálculos (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, e fator solar).

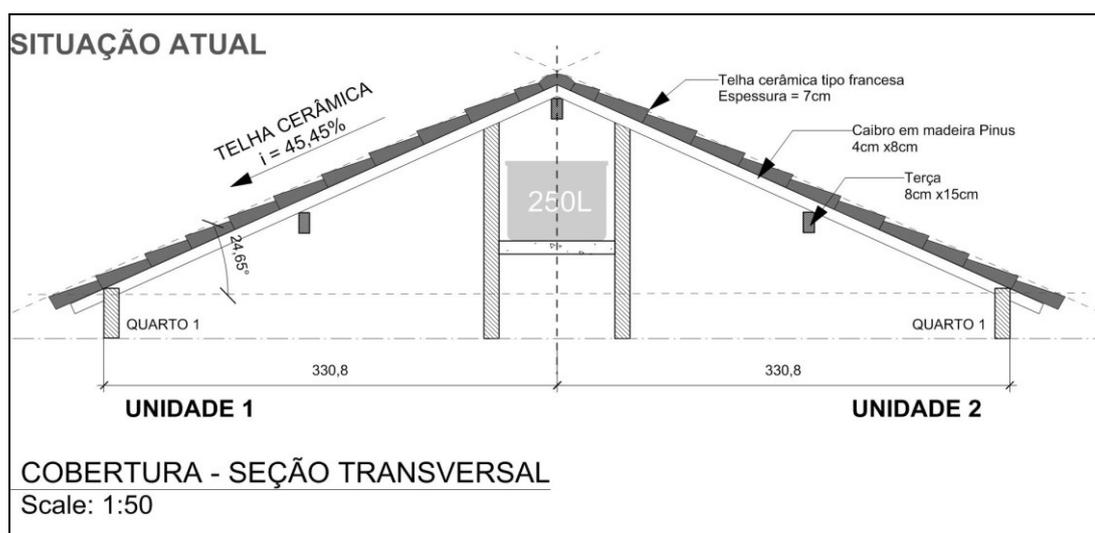


Figura 28 - Sistema de cobertura atual

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

1. Resistência térmica:

$R = e/\lambda$, onde:

R = resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$)

e = espessura da camada - $KJ/(kg.K)$

λ = condutividade térmica do material - $W/(m.K)$

$$R = \frac{0,07}{1,05} = 0,066(m^2.K)/W$$

$RT = R_{se} + R_t + R_{si}$, onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície

R_{se} e R_{si} = resistências superficiais externa e interna, respectivamente

$$R_t = 0,04 + 0,066 + 0,17 = 0,276 (m^2.K)/K \text{ para o verão}$$

2. Transmitância térmica:

$U=1/RT$, onde:

U = transmitância térmica de um componente – $W/(m^2.K)$

R_T = resistência térmica total do componente

$$U = 1/0,276 = 3,614 \text{ W}/(m^2.K)$$

3. Capacidade Térmica

Para componentes homogêneos: $C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$, onde:

λ_i = condutividade térmica do material da camada

R_i = resistência térmica da camada

e_i = espessura da camada

c_i = calor específico do material da camada

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada

$$C_T = (0,07 \cdot 0,92 \cdot 2000) = 128,80 \text{ kJ}/(m^2.K)$$

4 Atraso térmico para elemento homogêneo (verão)

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}}, \text{ onde:}$$

e = espessura

ρ = densidade de massa aparente

C = calor específico

λ = condutividade térmica do material

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,07 \cdot \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,92}{3,6 \cdot 1,05}} = 0,0967 \cdot \sqrt{\frac{1840}{3,78}} = 0,0967 \cdot \sqrt{487,772} = 0,0967 \cdot 22,085$$

$$\varphi = 2,135 \text{ horas}$$

5 Fator solar para elementos opacos (verão)

$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$, onde

FS_o = fator solar de elementos opacos em percentagem

U = transmitância térmica do componente

α = absorptância à radiação solar em função da cor

$$FS_o = 4 \cdot 3,614 \cdot 0,80 = 11,566\%$$

Memória de cálculo considerando adoção de forro de PVC no segundo pavimento das unidades habitacionais

SITUAÇÃO MODIFICADA (INCLUSÃO DE FORRO DE PVC 5mm)

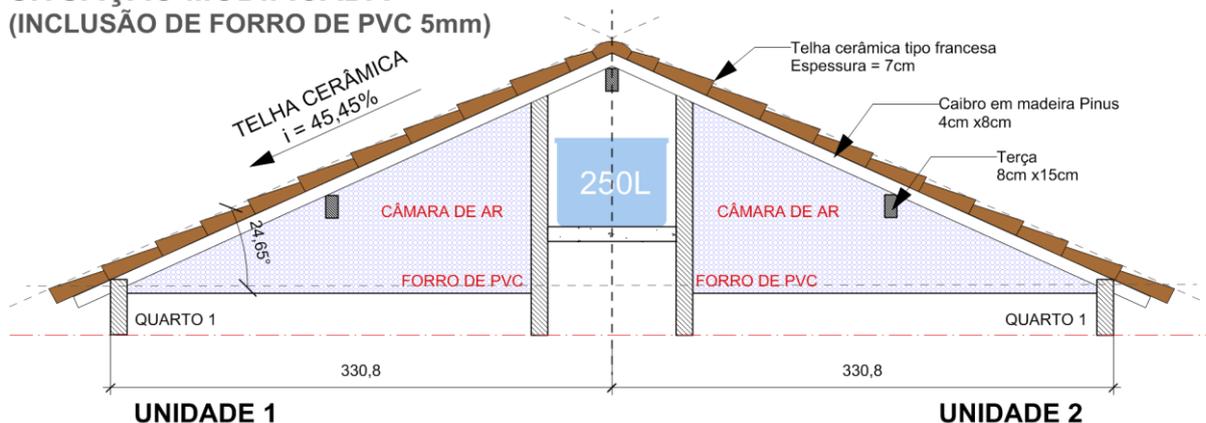


Figura 29 - Sistema de cobertura modificado

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

4. Resistência térmica:

$R = e/\lambda$, onde:

R = resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$)

e = espessura da camada - $kJ/(kg.K)$

λ = condutividade térmica do material - $W/(m.K)$

$$R = \frac{0,07}{1,05} + \frac{0,005}{0,20} = 0,066 + 0,025 = 0,0916(m^2.K)/W$$

$RT = R_{se} + R_{telha} + R_{ar} + R_{forro} + R_{si}$, onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície

R_{se} e R_{si} = resistências superficiais externa e interna, respectivamente

$$R_t = 0,04 + 0,066 + 0,21^* + 0,025 + 0,17 = 0,511 (m^2.K)/K \text{ para o verão}$$

* R_{ar} correspondente a câmaras de ar não ventiladas com $e > 5cm$ e sob superfície de alta emissividade.

5. Transmitância térmica:

$U=1/R_T$, onde:

U = transmitância térmica de um componente – $W/(m^2.K)$

R_T = resistência térmica total do componente

$$U = 1/0,511 = 1,956 \text{ W}/(m^2.K)$$

6. Capacidade Térmica

Para componentes homogêneos: $C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$, onde:

λ_i = condutividade térmica do material da camada

R_i = resistência térmica da camada

e_i = espessura da camada

c_i = calor específico do material da camada

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada

$$C_T = (0,07 \cdot 0,92 \cdot 2000) + (0,005 \cdot 1200) = 128,80 + 6 = 134,80 \text{ kJ}/(m^2.K)$$

6 Atraso térmico para elemento heterogêneo (verão)

$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$, onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície do componente

$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}$, onde:

$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}$, onde:

C_T = capacidade térmica do componente

$C_{T_{ext}}$ = capacidade térmica da camada externa do componente

$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right] \cdot \left[R_{t_{ext}} - \frac{R_t - R_{t_{ext}}}{10} \right]$, onde:

λ = condutividade térmica do material

ρ = densidade de massa aparente do material

C = calor específico

R_{ext} = resistência térmica da camada externa do componente

$$B_0 = 134,80 - 128,80 = 6$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{6}{0,511} = 0,226 \cdot 11,741 = 2,653$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left[\frac{(1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92)_{\text{ext}}}{0,511} \right] \cdot \left[0,066 - \frac{0,511 - 0,066}{10} \right] = 0,205 \cdot \left(\frac{1932}{0,511} \right) \cdot \left(0,066 - \frac{0,444}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 3780,821 \cdot (0,066 - 0,044) = 775,068 \cdot 0,022 = 17,232$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,511 \cdot \sqrt{2,653 + 17,232} = 0,706 \cdot \sqrt{19,885} = 0,706 \cdot 4,459 = 3,148 \text{ horas}$$

7 Fator solar para elementos opacos (verão)

$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$, onde

FS_o = fator solar de elementos opacos em percentagem

U = transmitância térmica do componente

α = absorptância à radiação solar em função da cor

$$FS_o = 4 \cdot 1,956 \cdot 0,80 = 6,262\%$$

ANEXO A – IMPLANTAÇÃO GERAL CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III



Figura 30 - Implantação geral conjunto Granja de Freitas III

Fonte: URBEL, 2016

ANEXO B – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III: ESPECIFICAÇÕES DE ACABAMENTO (TIPOLOGIAS I E II)

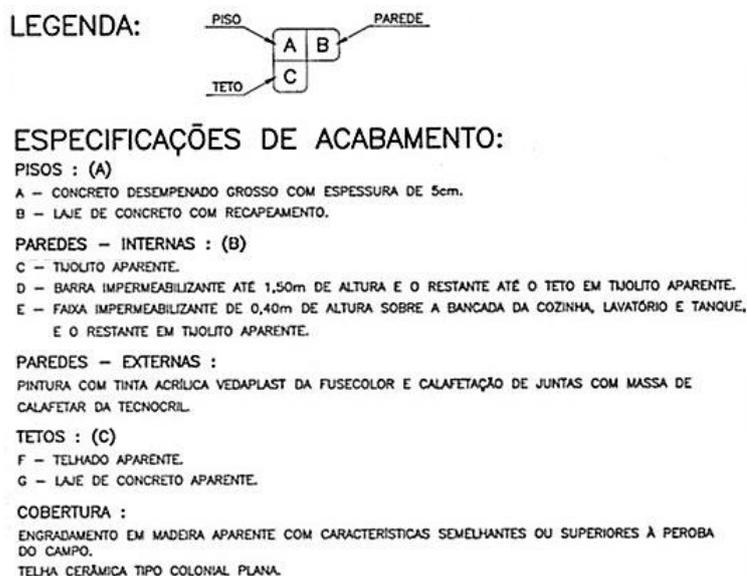


Figura 31 - Conjunto Granja de Freitas III: especificações de acabamento tipologia

Fonte: URBEL, 2016

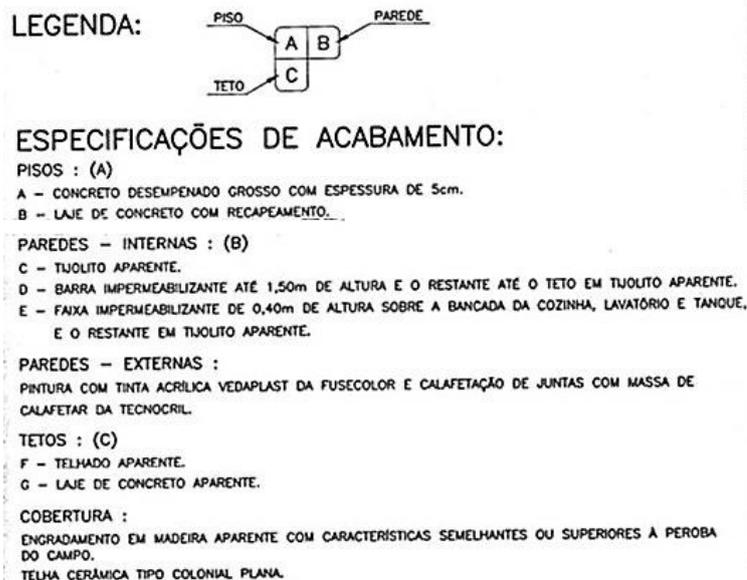


Figura 32 - Conjunto Granja de Freitas III: especificações de acabamento tipologia II

Fonte: URBEL, 2016

**ANEXO C – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS:
DIAGRAMA DE COBERTURA (TIPOLOGIA I)**

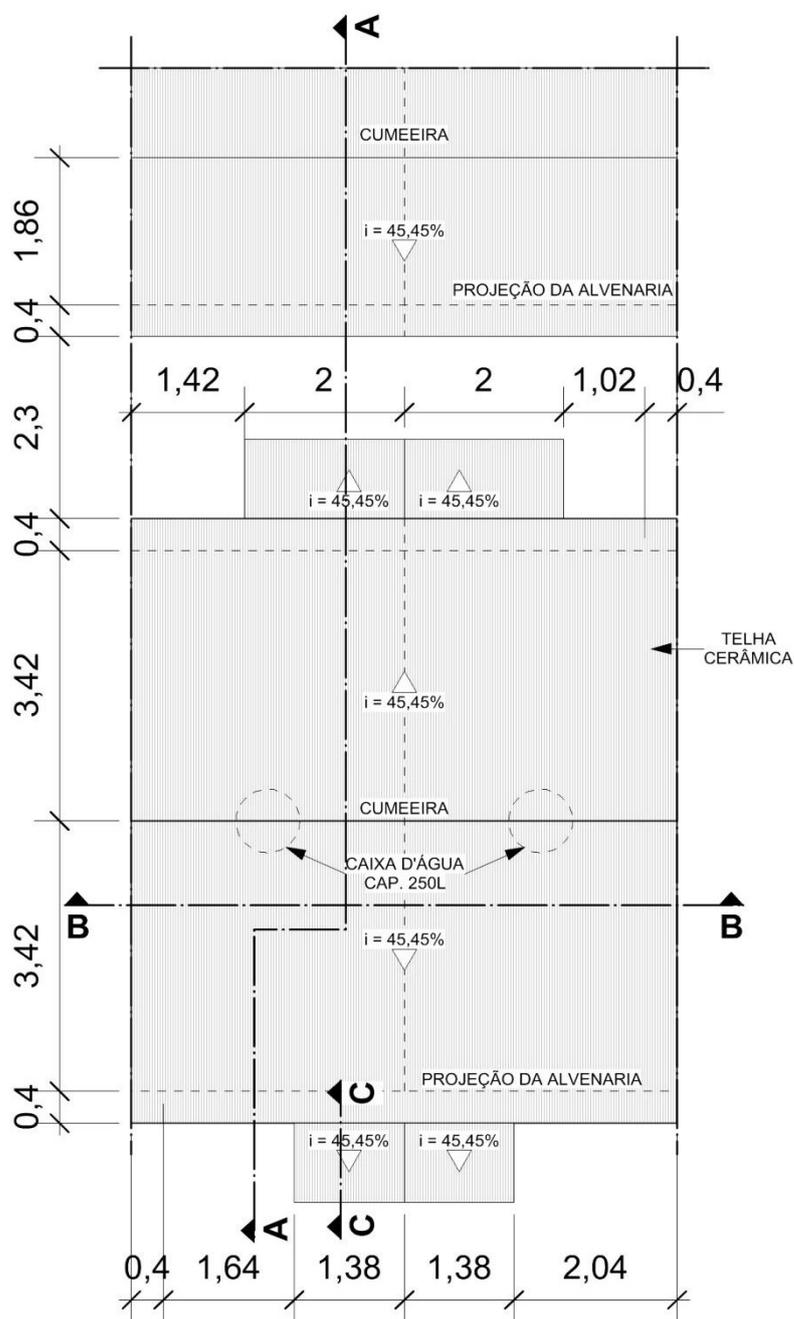


DIAGRAMA DE COBERTURA - TIPOLOGIA I

Scale: 1:100

Figura 33 - Conjunto Granja de Freitas: diagrama de cobertura tipologia I

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

**ANEXO D – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS:
DIAGRAMA DE COBERTURA (TIPOLOGIA II)**

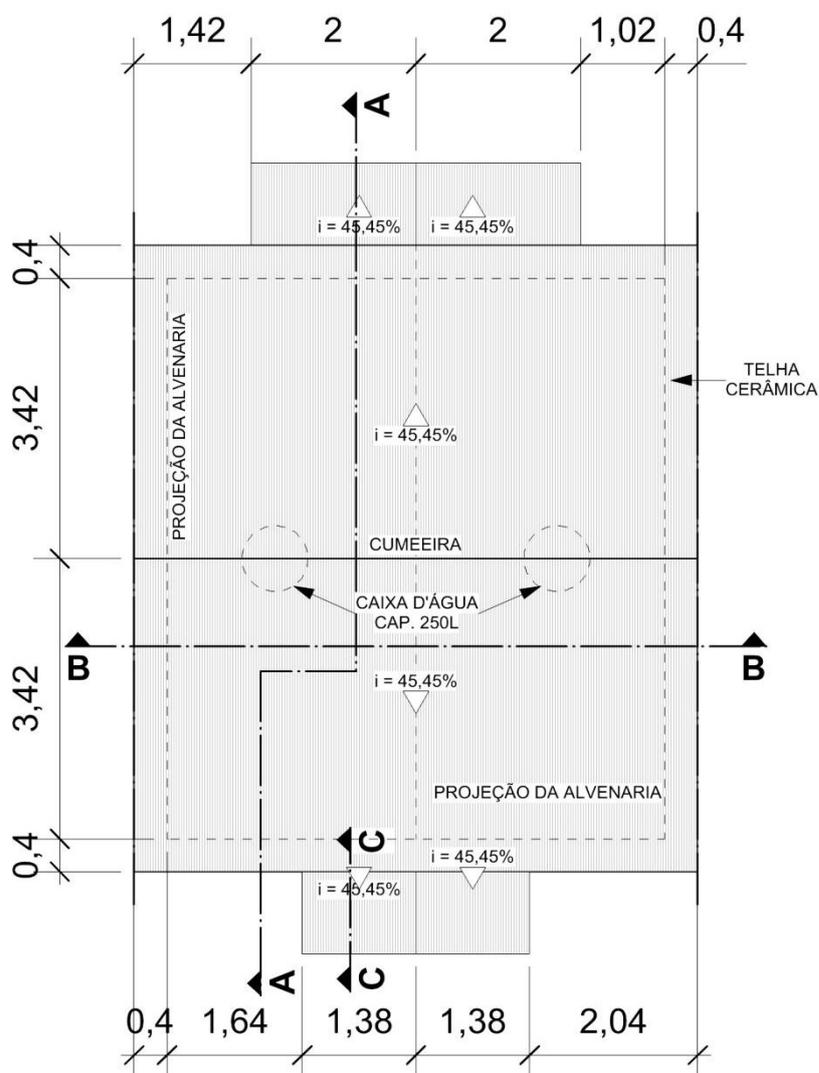


DIAGRAMA DE COBERTURA - TIPOLOGIA II

Scale: 1:100

Figura 34 - Conjunto Granja de Freitas: diagrama de cobertura tipologia II

Fonte: Elaboração própria com base em documentos disponibilizados pela URBEL

ANEXO E – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS: CORTES E FACHADAS (TIPOLOGIA I)

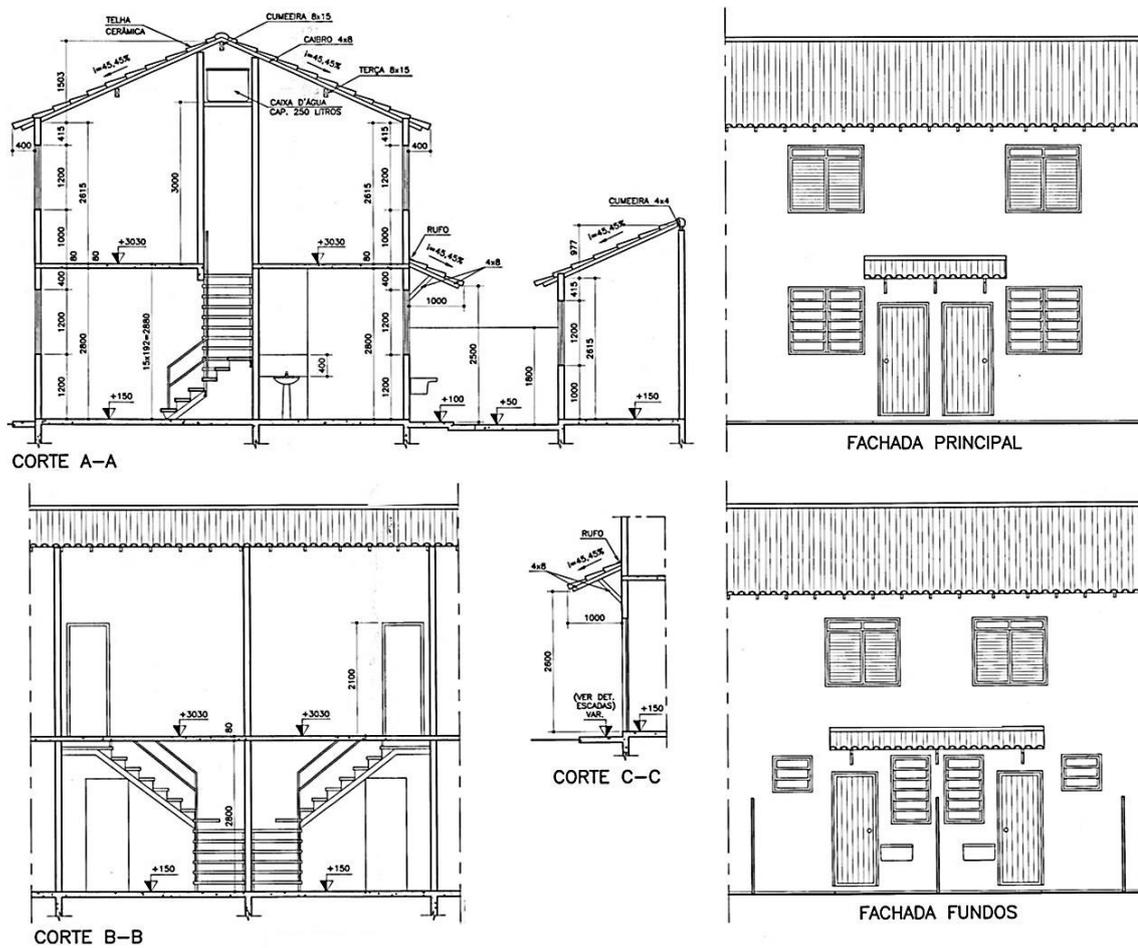


Figura 35 - Conjunto Granja de Freitas III: cortes e fachadas tipologia I

Fonte: URBEL, 2016

ANEXO E – CONJUNTO GRANJA DE FREITAS III - CASAS GEMINADAS: CORTE E FACHADAS (TIPOLOGIA II)

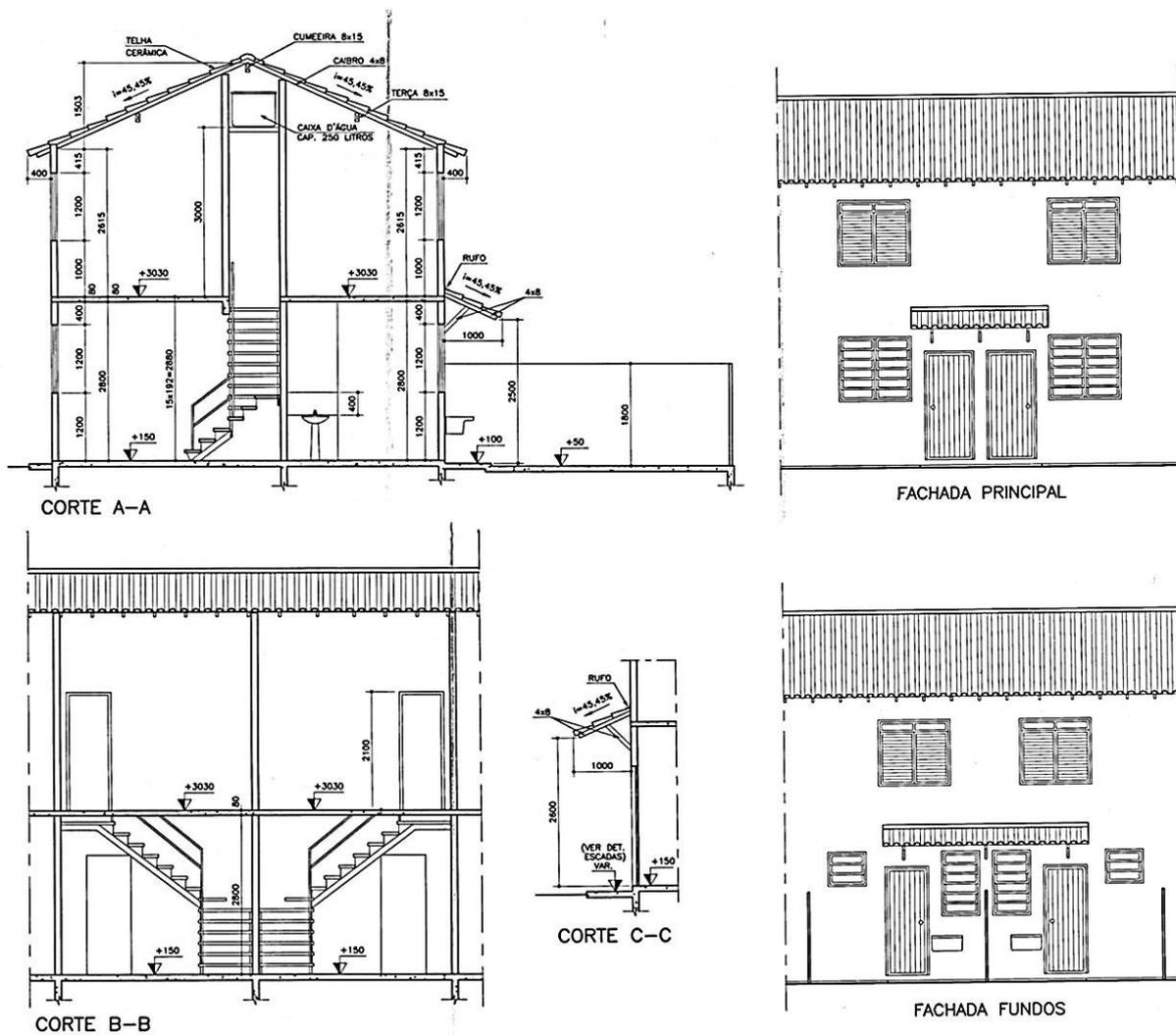


Figura 36 - Conjunto Granja de Freitas III: cortes e fachadas tipologia II

Fonte: URBEL, 2016